

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

# ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ-КОНКУРС МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

19-21 апреля 2017 г.

*Сборник научных трудов  
Часть II*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2017

УДК 00 (55+62+66+33+50+54)

ББК 2 (26+33+60+66)

П493

В сборнике помещены труды молодых исследователей, участников Международного форума-конкурса «Проблемы недропользования» (19-21 апреля 2017 г.). Материалы сборника представляют интерес для широкого круга исследователей, ученых, педагогов, специалистов, руководителей промышленных предприятий и предпринимателей, работающих в области поиска, разведки, добычи и переработки полезных ископаемых.

The Volume contains works of young researchers-participants of International Forum of Young Researchers «Topical Issues of Subsoil Usage», which was held at the St. Petersburg Mining University from the 19<sup>th</sup> to 21<sup>st</sup> April 2017. The Volume can be of great interest for a wide range of researchers, scientists, university lecturers, specialists and managers of industrial enterprises and organisations as well as for businesspeople involved in exploration, prospecting, development and processing of minerals.

Редакционная коллегия: *В.Л.Трушко* (председатель), *Л.С.Синьков*, *Ю.М.Сищук*, *Е.И.Степук*.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ</i> .....	4
<i>ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ</i> .....	41
<i>ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ</i> .....	128
<i>МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ-КОНКУРСА СТУДЕНТОВ ВЫПУСКНОГО КУРСА</i> .....	158

# **ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ**

**IDERSUREN BATKHUU, AMARSANAA BOR**

*Business Administration Department of University of Finance and Economics, Ulaanbaatar city, Mongolia*

## **ECONOMIC ROLES OF THE STRATEGIC ALLIANCE STABILITY: THE MODERATING EFFECTS OF INTER-ORGANIZATIONAL TRUST**

In a current dynamic environment, an interfirm alliance as a strategic option has tremendously increased for decades as it becomes essential for survival and growth of firms (Gulati & Singh, 1998; Lee et al., 2013). Prior studies have broadly recognized that there are various motivations of alliance formations (Kogut, 1988; Parkhe, 1993). This means that a strategic alliance allows firms to invest in cutting-edge areas with lower risk and cost than expected. Despite of such benefits to be enjoyed and an ongoing interest, a number of alliances is frequently found to be terminated immediately after their creation. Literature stresses that more than half of the formatted alliances experience a fail in an alliance over the past decades (Das & Teng, 2000). According to previous studies, for instance, the failure rate of alliances is more than 60% (e.g., Das & Teng, 2000). Researchers have sought to identify what factors leads the alliance to failure. Wittmann (2007, 3) suggested that alliance failure is considered when “one expectations are set and no value is created, and performance expectations are set and not met”.

In an effort to understand such a failure in alliances, studies have focused on the concept of alliance stability, which can provide all participants with long-term benefits (Dhanaraj & Beamish, 2004). It appears that the construct is characterized as dynamic in nature (Jinag & Gao, 2008). The extent of stability is vital to alliance success and long-term growth, and it may be a precondition for a mutual goal achievement in an alliance (Gomes et al., 2014). By exploring the role of the stability in interfirm alliances to be played and its predictors, it is expected that firms can raise the likelihood of making their alliances ‘truly strategic’. With an exception of just a few studies (Yan & Zeng, 1999), notwithstanding, to our knowledge, research into antecedents of alliance stability remains under-examined. The present study therefore aims to investigate a set of factors, which affect the alliance stability. This research also seeks to explore the moderating effect of trust in interfirm alliances.

Stability in alliances is given increased attention as a good proxy of alliance success in a strategic management research (Beamish & Inkpen, 1995). Prior studies have focused on the issue of instability and stability (Inkpen & Beamish, 1997). Originally addressed by Franko (1971), the concept of instability was given relatively more attention. However, a recent focus in the field tends to seek to explore the role of stability in alliances (Yan & Zeng, 1999). Alliance stability is defined as a degree of alliance development based on partners’ satisfaction, engagement, and effective collaboration with the alliance. The construct is characterized as dynamic and process-based (Jinag & Gao, 2008). It is also recognized that the stability contributes to building a long-term alliance by generating several benefits. Satisfaction with alliances is often taken into account as one of the key proxies to assess stability that leads to continuous alliances. In this sense, satisfactory alliance activities can make partners less prone to exit from their alliances.

Stability always implies the adoption of long-term orientation towards alliances. It goes beyond a simple, positive evaluation of the other party based on considerations of current benefits and costs associated with alliances (Lai & Yeng, 2005). In particular, high transaction costs occur as the outcome of the co-existence of opportunism and asset specificity, which are extensively used to explore strategic alliance outcomes (Wang & Yang, 2013). For instance, using alliances will be favored through firms when transaction costs are greater than administrative costs. A reduction in transaction costs is also used as a measure of alliance outcomes such as stability and survival (Franko, 1971).

Although firms have different interests in an alliance, one or more partners may be less satisfied with it than expected. In many cases, this dissatisfaction with the alliance is one of the major reasons that are regarded as the failure of alliances (Li & Murphy, 2013). According to a transaction cost perspective, consideration into partners’ opportunistic behaviors and investment in asset specificity must be taken for a successful alliance. The opportunistic behaviors essentially prevent firms from building trust, thereby leading to a failure of the alliance (Wang & Yang, 2013). Prior studies provide support for the view that opportunism occurred by alliance participants must be monitored and managed with caution on a continuous basis (Kale & Puranam, 2004). In contrast, the level of asset specificity appears to contribute to the long-term collaboration by helping to protect the value on the transfer of assets and to strengthen the partnership (Williamson, 1985). For this reason, if one or more partners are less committed to a specific investment in an alliance than expected by partners, the alliance may be terminated (Gulati, 1995). In this respect, a high level of asset specificity may lock partner firms into an alliance with other partners if they devote specific assets to it (Geyskens et al., 2006). Not only this positive effect, but also can the investment in specific assets be taken into account as a loyalty for the alliance. This is likely to help to ensure a continuous relation-

ship with partners by boosting satisfaction with the co-operation. From these lines of reasoning, it is assumed that asset specificity affect partner's satisfaction with an alliance.

Strategic orientation is always acknowledged to be important during alliance process (Chao, 2011), with consideration of which an alliance is created through different firms with different strategic goals of pursuing different strategic interests and motives regarding the alliance's conduct. Strategic fit is one of the most common and rational explanations for the way in which alliances enhance its steady development and future viability (Sousa & Tan, 2015). It refers to the efficiency with which organizational resources and capabilities are aligned with the complementary resources and capabilities that an alliance brings (Xu et al., 2006). Alliances are by nature collaborative efforts in which partners should find a way of effectively working with others in order to enjoy benefits and satisfaction over the long term (Zaheer & Venkatraman, 1995). The effective collaboration in an alliance may be taken into account as feedback on a fit between partners. More importantly, a poor strategic fit is a signal for which an existing alliance's strategy proves to be unsuccessful in markets; it is much likely that partners make a quick decision to exit from the alliance. In contrast, strategic expedience is referred to as the capability to make rapid, high-quality decisions within a simplified framework (Bierly III & Gallagher, 2007). A firm is in general based on its own decision-making process and policies to make a prompt response to market. In a strategic alliance area, however, decision that participants make is strongly related to each other and information flows between them tend to increase capabilities of decision-making speed of firms (Gomes et al., 2014).

According to alliance development process (Das & Teng, 1999), effective and accurate decisions for alliance are seemingly relevant future consideration. In some cases, however, alliance participants appear to be struggling in improving strategic expedience because their hierarchical structure occurs constrains to develop timely policies and procedures (Chao, 2011). Although firms seek to make right, quick decision, decision makers' ability is often limited (Perlow et al., 2002). In this respective, information sharing and constructive feedback in an alliance may help firms learn gain and analyze information relevant to decision-making (Shepherd & Rudd, 2014), thereby helping improve confidence and satisfaction with alliance activities (Bierly III & Gallagher, 2007).

Inter-organizational trust may be central to successful alliances as it encourages partners to behave in a reliable manner (Smith & Barclay, 1999). It seems that the trust between firms is of most economic value when it is based on non-contractual mechanisms (Dyer & Chu, 2003) and helps to compensate for the inherent incompleteness of contracts (Williamson, 1985). Previous studies suggest that its particular influence is to minimize transaction costs, helping reducing opportunistic behaviors and complementing asset specificity (Dyer & Chu, 2003). This result may lead to a higher satisfaction of alliance participants. Further more , it is expected that the inter-organizational trust also can effectively complement strategic orientation during existing alliances. Since taking an understating of the strategic consideration of partners is important for alliance success, they may enjoy strategic flexibility to a great extent with a high degree of trust (Young-Ybarra & Wiersema, 1999). In this stance, the inter-organizational trust may play an influential role in increasing the confidence of strategic decision-making of how to effectively operate and therefore existing high-quality trust can help have firms satisfied with appropriate strategic orientation (Bierly III & Gallagher, 2007).

The present research has sought to provide implications. The results show that firms involving the cooperation can be satisfied each other when recognizing lower-than-expected opportunistic behavior and higher-than-expected asset specificity. It may be that an excessive degree of asset specificity in an alliance may occur a moral hazard, thereby putting a firm at risk. It is a notable finding however that an alliance goes beneficial and successful for participants when seeking to pay greater attention to the alliance with a high degree of asset specificity as a clear signal for commitment to the alliance.

This study also sought to explore the role of the trust in the relationship between predictors and satisfaction with an alliance by focusing on alliance satisfaction as a precondition of its success. The findings found that inter-organizational trust played a moderating role in the relationship. This result stresses that alliance participants become satisfied with the alliance by boosting the degree of trust. This implies that alliance participants should make efforts to build trust in the process of forming a strategic alliance, thereby helping them go satisfied through alliance activities. However, the results were also found to be insignificant in the association between asset specificity and the outcome variable. This denotes that commitment to asset specificity in an alliance might be less related to satisfaction than other factors such as opportunistic behaviors.

Drawing on theoretical underpinnings such as transaction cost and strategic orientation, the present research sought to develop and test an integrated framework regarding strategic behaviors of firms in alliances. In this respect, this study makes a contribution to moving forward our understanding of what factors should be managed as a significant predictor for creating a mutually beneficial alliance and why further attention must be paid to building an inter-organizational trust when forging a partnership with other firms.

## THE POTENTIAL FOR RHODIUM RECYCLING

**Keywords:** rhodium, recycling, system dynamics modeling, platinum-group metals.

### **Introduction. Criticality and application of rhodium**

Rhodium along with platinum, palladium, ruthenium, iridium and osmium form a group of metals known as the platinum-group metals (PGM). The majority of production of PGM is located in The Republic of South Africa, the minority – in Russia, Canada and USA.

According to (UMI, 2016), PGM are renowned for their catalytic activity, resistance to corrosion and tarnishing as well as for mechanical strength and hardness.

Such chemical and physical properties determine main consumption sectors of rhodium: car industry (auto-catalysts), chemical industry (catalysts and coatings), electronics (electrical components), glass industry (glass for monitor screens, mirrors for optics) and jewellery. Also, due to rarity of rhodium in nature, approximately 20 tons per year extraction in comparison to 2500 tons of gold, it is used as an investment currency.

In 2010, ad-hoc Working Group chaired by the European Commission published a report on critical raw materials for the EU. Critical materials are defined as materials with high impact on the economy and high risks of supply shortage compared to other materials. Two types of risks are considered:

- *The supply risk* considering “the political-economic stability of the producing countries, the level of concentration of production, the potential for substitution and the recycling rate” (Report, 2010)
- *The environmental country risk* is a risk related to supply shortages caused by measures taken by governments in order to protect the environment

Per (Report, 2010) rhodium along with other PGM is identified as a critical raw material with indicators of supply risk 3,7/5 and economic importance 6,7/10. Materials with supply risk over 1 and economic importance over 6 are considered critical raw materials. Environmental country risk was also taken into account but did not result into significant shift of materials from or towards criticality.

Criticality of rhodium will also be demonstrated in systems dynamic model further in the paper.

### **Flow chart of materials**

To had better understand criticality concept in numbers as well as to tackle this issue our research team has decided to create a systems dynamic model of the flow of materials, which would allow to look at the numbers, the current situation with the supply and demand and to see how much of rhodium is being recycled and what is theoretical amount that is yearly being generated but not recycled.

However, before building the model we had to identify the streams of material and for this purpose we have built a specific flow chart of materials, which shows (where data allowed) what proportions of metals travelling from primary production to manufacturing of end products as well as what are the streams that return materials back into industries through secondary production (recycling).

The flow chart of PGM is presented in the appendix 1 and was made based on (Плющев, 1965; Рыбкин, 2012; Hageleken, 2014; Umicore, 2016; Касиков; Graedel, 2011; Harald, 2016). Through closed recycling cycles it is seen that different proportions of material return to industry through functional recycling (after this recycling necessary functions of materials remain and allowing it be used in production of products). As theoretical findings claim (Graedel, 2011; Hageleken, 2014), for chemical and glass industry it is possible to recover up to 80% of Rh, however despite significant recycling rate the amount of recycled Rh is not big due to main consumption sector for Rh being autocatalysts (just under 81%). For electronics, recycling rate is 0-15%, and the reason is that it is technologically hard to recover rhodium from e-waste due to high concentration of many other materials in electrical components.

### **System dynamics model of rhodium**

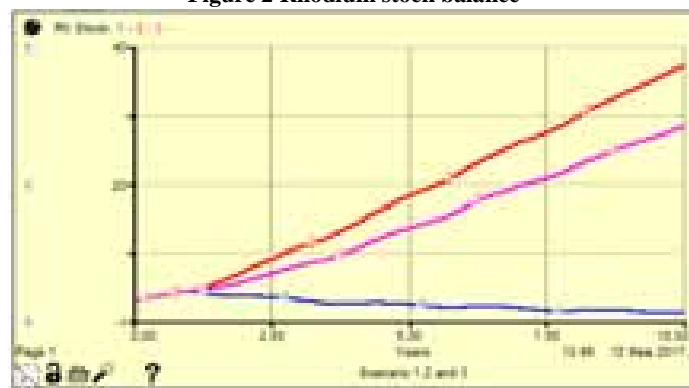
Based on the flow chart our research team has made a simulation model for the flow of rhodium in the world based on data from (Johnson, 2016). The main goal was to see how much of rhodium unused scrap stores in the world as well as actual situation with stock balance on the market and more importantly what will happen to the stock balance in next ten years based on forecasts, which predict a 5% increase in Rhodium demand in 2017 with extraction remaining at stable levels.

The model is presented on figure 1 and created in Ithink modeling software .





**Figure 2 Rhodium stock balance**



### Simulation results

Figure 2 shows that according to scenario 1 stock balance will be at 0 level approximately in the year of 2023, if to consider potentially further increase in demand the trend would lead to a stock deficit. However, scenarios 2 and 3 show trend to stock surplus generation if secondary production focuses on recycling rhodium from all applicable industries, that would also lead to a resistance even against 10% increase in demand, which is twice as much as forecasted.

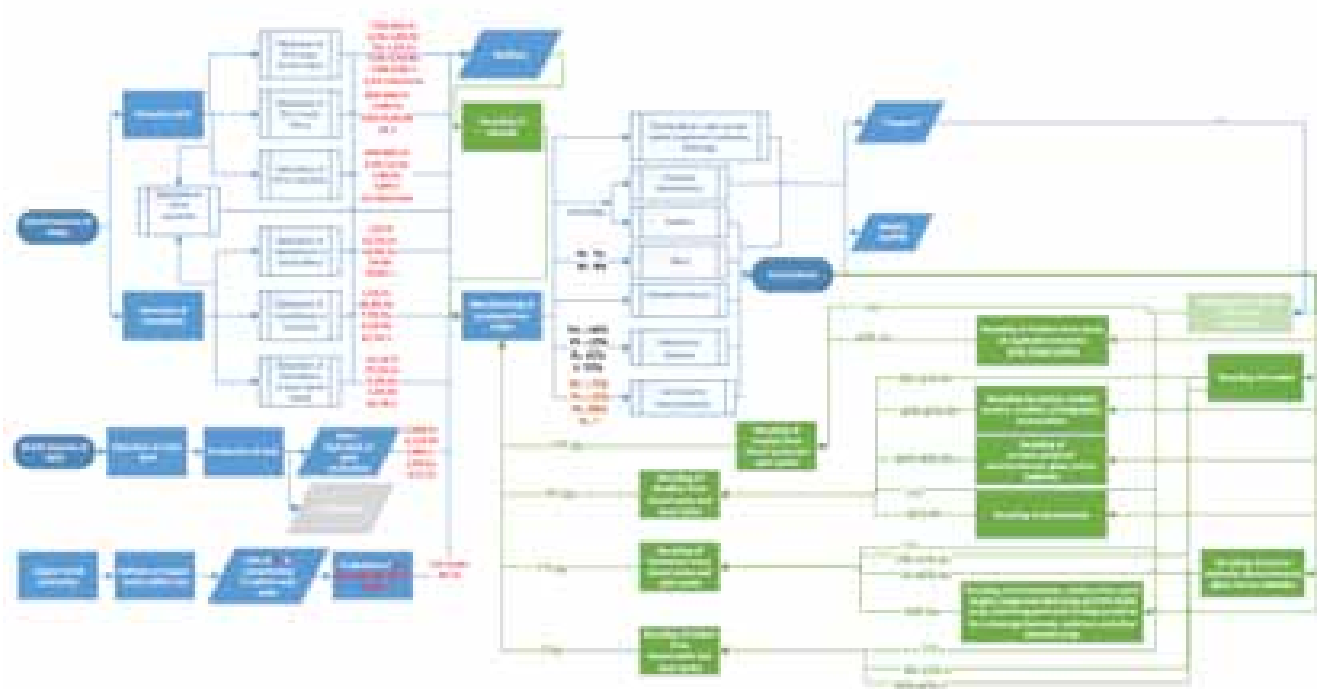
On figure 3 it the amount of unused scrap generated in ten years starting from 2016. Unused scrap means a potential amount of rhodium mass which can be recycled (despite some proportion of it is being in non-functional state, illegally exported or still in use by people (for example, cars, and here it is necessary to identify product lifecycles). Fig.3 is bases on scenario 1 but other 2 will show similar picture with slightly less amounts due to appearance of streams of functional recycling.

Modeling helped to explore the necessity of recycling and how it can manage the issue of rhodium deficit – improving recycling technologies will open opportunities for streams of metal to flow from other sources then auto-catalysts and improve existing streams. As chart above shows, there is a big potential of recycling from unused scrap.

For further studies, it is highly recommended to explore other scenarios (for instance, decreases in primary production of rhodium) as well as to focus on depicting influence of price on recycling rates and delays between streams caused by specific lifecycles.



## Appendix 1 Flow chart of materials - rhodium



### References

1. Umicore refinery company – website <http://pmr.umicore.com/en/metals-products/precious-metals/> (visited in December 20, 2016)
2. Report of the Ad-hoc Working Group on, defining critical raw materials. Critical raw materials for the EU, 2010.
3. В.Е. Плюшев. Справочник по редким металлам (перевод с английского), 1965
4. Рыбкин С.Г., Николаев Ю.Л. Извлечение платиноидов из шлиховых концентратов, 2012
5. Hageleken, C., 2014, Recycling of (Critical) Metals: In Critical Metals Handbook, Gunn, G., (Ed.), Wiley, Oxford, 41-69.
6. Касиков А.Г., Арешина Н.С., Громов П.Б. Институт химии и технологии редких Извлечение осмия из полупродуктов и отходов медно-никелевого производства
7. T. E. Graedel, What Do We Know About Metal Recycling Rates? 2011
8. Harald U. Sverdrupa, Kristin Vala Ragnarsdottirb. Resources, Conservation and Recycling, 2016
9. Johnson Matthey PGM MARKET REPORT NOVEMBER, 2016

**A. BESSUDNOV, MOHAMMAD EL WALI, N. KREKHOVETCKII, SAEED RAHIMPOUR  
GOLROUDBARY, SAUD AL FAISAL\***

*School of Business and Management, Global Management of Innovation & Technology, Lappeenranta  
University of Technology (LUT), Lappeenranta, Finland.*

## **“INVESTIGATING GROWTH POTENTIALITY OF CRITICAL MATERIALS TOWARDS SUSTAINABLE SUPPLY USING SYSTEM DYNAMICS (CASE-INDIUM)”**

### **Abstract**

Critical materials are being considered as important due to their contribution to high tech industries. Due to the increasing demand in economy massive amount of production is required. Many of them are extracted only in few countries which are resulting for the rest of the world facing supply risk. Additionally, necessity to protect the environment is great conscious in present world which conflicts the idea of reckless extraction from

nature. In this study we constituted a general flow analysis of a specific material Indium by using system dynamic (SD) simulation modeling. Vensim PLE software has been used to prepare the model. Result we found from the experiment demonstrates it is possible to increase Indium stock by 38% by improving efficiency of current scrap recycling process from 65% to 94% and implementing end product recycling technology.

*Key words: Critical Material, Indium, Recycling, Economy, Sustainability.*

### 1. Introduction

Due to increasing demand of high-tech products, it is expected that consumption of Indium will be growing for next decades and the major sector is liquid crystal display manufacturing [1]. Technological processes should be improved to increase the secondary production of Indium and losses over life cycle need to be minimized [2]. As an essential material for transparent electrode it is very important for LCD panel manufacturers to secure Indium resources by recovering Indium from LCD panels [3]. According to [4] it is necessary to expand recycling of Indium to accommodate demand and price reduction. Therefore, it is essential to find out the alternative approach which has been explored in this paper. The objective of this paper can be listed as below:

- To simulate the existing stock and flow diagram to get the real picture under current situation.
- Find out the recycling opportunities by developing the model.
- To analyze the stock increment by implementing improved recycling technologies within the lifecycle.

### 2. Method

In this study Vensim PLE software has been used to build the SD simulation. According to [5] by system dynamics approach the concept of reverse chain can be discussed and investigated while incorporating recycling, remanufacturing and reuse activities into the supply chains. The dynamic behavior of the system has been resulted by a set of mathematical equations. The dynamic behavior of the box variables for example Indium Extraction, Indium Stock, ITO stock, Scrap in Stock, End product stock and Collector centers have been calculated by the difference between net outflows and net inflows.

#### 2.1 Calculation

Indium Extraction (IE) is defined by a time integral of refining (Rf) minus Extraction Rate (ER) and initial value 690.4 has been taken into account:

$$IE = \int (ER - Rf, 690.4)$$

Indium Stock (IS) has been calculated by integral of summation of Recycling (Rc), Rf and Recyclable Used Product (RUP) minus Different Production (DP) and Sputtering Process (SP), initial value 1500 has been considered:

$$IS = \int (Rc + Rf + RUP - DP - SP, 1500)$$

Indium Tin Oxide stock (ITO stock) has been formulated by integration of Sputtering Process minus Assembling Process (AP) and Scrap Generation (SG), initial value 1204.56:

$$ITO\ stock = \int (SP - AP - SG, 1500)$$

Materials gathered in Collector Centers (CC) are counted by the integration of Used Product Rate (UPR) minus landfill (Lf) and RUP:

$$CC = \int (UPR - LF - RUP, 0)$$

Integration of Scrap Generation (SG) minus Recycling (Rc) has calculated to find out the Scrap in Stock (SS):

$$SS = \int (SG - Rc, 892.96)$$

#### 2.2 Case Study

Lifecycle of Indium has been analyzed by studying different articles, journals, research paper and data for different stages of production has been gathered from different databases to draw an extensive diagram. As 84% of Indium is consumed by ITO panel production (Sputtering Process) and only 16% is for other product we have only focused on the scope for recycling in major portion [6]. This sputtering process generates huge amount of Indium scrap (70% Indium) which is then gathered for recycling and remaining amount is found in the final products [7]. This scrap contributes to the secondary production in a remarkable amount. According to data 65% indium is recovered with current technology [8]. Improving the technology can improve the efficiency up to 96% [9]. On the other hand recycling from final product yet not considered due to low concentration but with developed recollecting process it is possible to recover 94% indium [10]. So, considering all the related issues model has been developed.

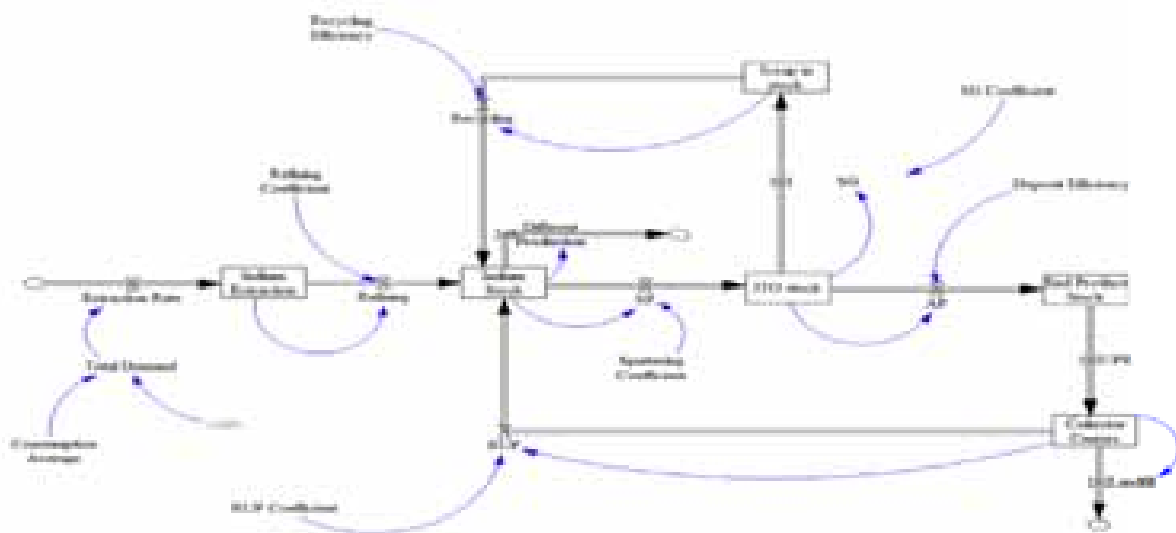


Fig.1. Stock & Flow diagram of Indium

### 3. Result

We have considered two different situations to run the simulation. One is according to existing processes and another with the improved recycling technologies and found significant difference of Indium stock in different situations.

Time (Year)	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2065	Avg
Current Situation	1420,77	1521,6	1247,5	1366,04	1501,82	1396,28	1410,98	1211,52	1359,38	1342,41	38 %
Improved Situation	1981,18	2156,42	1937,69	1844,01	2085,39	1905,55	1797,54	1803,43	1991,51	1863,37	

Fig.2. Indium Stock Growth

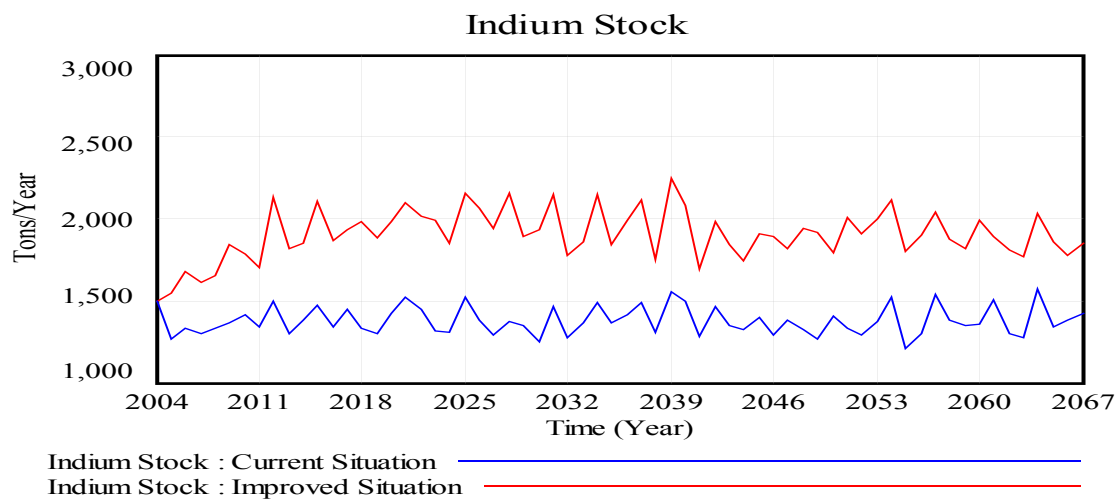


Fig.3. Indium Stock Comparison

### 4. Discussion

So according to the result shown above, it can be stated that if we can implement the advanced recycling technology from ITO scrap and introduce the collection process from end product it will increase the Indium stock up to 33637.43 ton for next 50 years and at average 525 ton per year.

### 5. Conclusion

This study has revealed the quantitative amount of stock improvement for Indium which might be able to play additional role to meet the future demand and it might be the most influential part to resist the extraction amount from nature. In this paper we have only considered the ITO production part but in future we are interested to find the potentiality from other processes also. Considering the economic part for different recycling technologies could be useful for industrial decision makers, which might be focused in future work.

### Acknowledgement

We are grateful to Professor Andrzej Kraslawski at Lappeenranta University of Technology for being associated deeply with the present study.

## References

1. Schwarz-Schampera, U., & Herzig, P. M. (2002). Technological applications and consumption of indium by industries. In *Indium* (pp. 167-173). Springer Berlin Heidelberg.
2. Weiser, A., Lang, D. J., Schomerus, T., & Stamp, A. (2015). Understanding the modes of use and availability of critical metals—An expert-based scenario analysis for the case of indium. *Journal of Cleaner Production*, 94, 376-393.
3. Tsujiguchi, M. (2012). Indium Recovery and Recycling from an LCD Panel. In *Design for Innovative Value Towards a Sustainable Society* (pp. 743-746). Springer Netherlands.
4. Kapilevich, I., & Skumanich, A. (2009, June). Indium shortage implications for the PV and LCD market: technology and market considerations for maintaining growth. In *Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2009 34th IEEE* (pp. 002055-002060). IEEE.
5. Golroudbary, S. R., & Zahraee, S. M. (2015). System dynamics model for optimizing the recycling and collection of waste material in a closed-loop supply chain. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 53, 88-102.
6. U.S Geological Survey. Materials Commodity Indium, 2008. <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/indium/mcs-2008-indiu.pdf>, accessed in 16.12.2016.
7. Gibson, Charles, & Hayes, Tom. (2011, October). Indium and gallium overview. *Edition Investment Research, Sector Research, Indium and Gallium*.
8. U.S Geological Survey. Materials Commodity Indium, 2009. <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/indium/mcs-2009-indiu.pdf>, accessed in 20.12.2016.
9. Hong, H. S., Jung, H., & Hong, S. J. (2010). Recycling of the indium scrap from ITO sputtering waste. *Research on Chemical Intermediates*, 36(6-7), 761-766.
10. Tsujiguchi, M. (2012). Indium Recovery and Recycling from an LCD Panel. In *Design for Innovative Value Towards a Sustainable Society* (pp. 743-746). Springer Netherlands.

ALEKSANDRA BARBABA EDELMÜLLER

AGH University of Science and Technology in Krakow

## THE USAGE OF MERCHANDISING ON THE EXAMPLE OF MICROENTERPRISE CALLED 'MULTIRED'

### 1. Definition and the role of merchandising

The way how to make the usage of merchandising more efficient necessitates to understand the definition. The etymology of the word 'merchandising' comes from Latin language, from a word 'mercami' which means 'to trade' or 'to deal' [1]. Whereas in English language verb 'to merchandise' is used as a common synonym of trading and it also means 'the art of selling' [2]. Merchandising is the concept, which defines the totality of actions and operations using the commercial space of the enterprise, in a special purpose to make the customer keen on buying the product. It is necessary to stimulate him to feel the need for a product, need to purchase it.

### 2. Targets of merchandising

Merchandising is deeply connected with a kind of sense or intuition. Repeatedly the information or impulses are directed to the group of people, who have not planned to enter the shop, or just have come in to buy specified product, but even though have bought others. Targets of merchandising are to generate customer interest and desire to enter the enterprises, to attract the attention of the client by the appropriate store exposure, to present the store exposure correctly and also to keep the role of the brand, to make client more conscious about the brand [3].

Taking into consideration particular rules of merchandising and its derivatives, it is visible that not all of them could be applied to any size of enterprise. In the microenterprises merchandising is used in a different way and its tools need some specified modifications. The example of a microenterprise is company called 'Multired', which is dealing with complex supply of automotive accessories and devices.

### 3. Presentation of 'Multired'

'Multired' is a microenterprise established 10 years ago. Main aims are selling products which are supplying automotive enterprises and also matching proper car paints for the customers. The company is located in Kraków and only one person is employed. According to Polish law 'Multired' can be called as a microenterprise.

### 4. The usage of Category management

One of the methods which is connected with merchandising is 'Category management', understood as creating kind of a structure of commercial goods, according to their groups or categories. This procedure is also known as 'demand management' and shows the essence of adjustment some tactics, methods or strategies of arrangement the range and shelves' visualization, to the feelings and thoughts of a customer [4].

An appropriate example of the application of Category management is standardized arrangement of shelves in the hypermarkets. This situation is properly shown in the picture 1. The first observation is uncountable amount of

products in different brands and variable types, all lined up perfectly next to each other. A client is capable to find desirable product, on the other hand, the amount of products might be visually distracting.



**Pic 1.** The usage of Category management in hipermarket [<http://blog.zenput.com/how-to-improve-category-management-efficiency>]

In the case of microenterprise usage of Category management may be considered less effective. The greatest impact on it has small the range of products and adverse type of marketing, which is not adapted to the trading space. It leads to the conclusion, that in microenterprises, more appropriate is to place the products in accordance with their brand or within the technological process.

#### **5. The usage of Visual management**

Next derivative of merchandising is 'Visual merchandising', which includes the use of advertisement and promotion of products, taking into account whole trading space of enterprise, which has to attract the client. Tools which subject the method are: illumination, colors, mannequins, prop, shopwindows and POP materials.

The usage of all these tools, in the same time, might be inefficient in the microenterprise. On the example of 'Multired', attention is based on illumination and the colors. Although the standard application of general lighting, to specific draw customer used is accent lighting, simulating the light of day. It makes client more attracted and interested and he has a grater sense of reliability of the service. Taking into consideration the colors, many analysis and researches say that there is a huge impact of them on the client[5]. Using specific colors, enterprises make their visual identification, and attract the client most of labels raises following emotions on clients:

- Red – willingness of impulsive purchase (colors of Coca-Cola, 3M);
- Yellow – the feeling of freshness (colors of IKEA, Mc Donalds' and Chameleon);
- Green – the feeling of harmony (colors of BP, Starbucks, Boll).

#### **6. The usage of Cross merchandising**

The next merchandising method is 'Cross merchandising', it describes how to set the products, which are often complementary, in such way that a client has a sense to must take both of them. For example, in the enterprises involved in wood-product production, near shelves with slats might be placed special glues or cements[6]. In 'Multired' it is inversed and modified. Recognising the importance and necessity of having customer's complementary products, their relative position is not linked, and even deliberately arranged in two separate places, at the entrance and on the rear wall.

#### **7. The usage of Multifacing**

Multifacing contains also very important tool of merchandising, it constitutes a basis of attracting a client to purchase. Through the 'multifacing' is known the specific arrangement of store exposure, to achieve the target of abundance. The thesis says that if there is bigger amount of products on a shelf, there is bigger possibility that a client will see it and decide to buy[7]. 'Multired' also uses it, but sometimes makes modifications, which are based on intentional displacement of products to the back of shelf, so that the client feel that there is only a few of them and he has to buy it, or it is commonly chosen, so he want to buy it too.

#### **8. Summary and Recommendation**

Summarising the possibilities of applying the tools of merchandising in microenterprises, there could be visibly noticed some anomalies of standard situations, as well as the effectiveness and efficiency of the modifications for internal needs. It is also worthy to admit that the rules are often different in micro and macroenterprises. The impact on it has the amount and inventory of products, location and area of the enterprises, also the nature of target group (specified customers) and psychological approach to a client. Making properly own analysis could create new rules and methods of merchandising, which could bring efficient and better score to the company.

#### **9. Bibliography**

1. <https://franczyzawpolsce.pl/aktualnosci/archiwum/541-czym-jest-visual-merchandising>

2. <https://www.wsiz.rzeszow.pl/pl/Uczelnia/kadra/jrodzinka/Documents/Merchandising%20w%20praktyce.pdf>
3. <http://szkoleniaatrium.pl/merchandising/>
4. [https://pl.wikipedia.org/wiki/Zarz%C4%85dzanie\\_kategori%C3%B3w](https://pl.wikipedia.org/wiki/Zarz%C4%85dzanie_kategori%C3%B3w)
5. <https://poradnikprzedsiębiorcy.pl/-wpływ-kolorow-na-marketing-i-reklame>
6. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Cross-merchandising>
7. [http://www.hurtidetal.pl/article/art\\_id,1020-106/merchandising-narzedzie-pomocne-w-zwiekszeniu-sprzedazy-zarowno-dla-producentow-jak-i-detalistow/](http://www.hurtidetal.pl/article/art_id,1020-106/merchandising-narzedzie-pomocne-w-zwiekszeniu-sprzedazy-zarowno-dla-producentow-jak-i-detalistow/)

**PAWEŁ GRYBOŚ, MICHAŁ GIERLACH**  
*AGH University of Science and Technology in Krakow*

## **PROBLEM OF AUDIT COMPONENTS OF NON-FINANCIAL REPORTING INTEGRATED**

### **Introduction**

At that time evolving form of reporting reaching towards integrated reporting puts before the audit new challenges related to verification of non-financial data. It is problematic, eg. The lack of standardization of the presentation of data from non-financial sphere that could lead to omit the publication of unfavorable for the organization of information. The purpose of this article is to present the genesis and essence of integrated reporting, presentation of issues related to audit non-financial data and to present the methodology of their presentation. The authors try to bring issues related to the audit, responsible reporting, ways to identify and disclose non-financial elements and their correct verification.

#### **1. The basic goals and objectives of the audit**

Auditing is an activity consisting in the detailed analysis of the selected company / undertaking by an independent person or group of persons - specialists. This activity is performed to investigate and detect potential irregularities in the functioning of the company.

The main purpose of the audit is to assess the entity in terms of financial stability, an indication of potential non-compliance with the risk for the company as well as verification of compliance with set standards of conduct, and the statutes. The role of the audit refers to the advisory bringing valuable information for the management and / or supervisory board. Run honestly not only monitors the unit to find errors, but also suggests recommendations for changes in the direction of better and more effective procedures.

#### **2. Non-financial information in integrated reporting**

The growing criticism of traditional financial statements initiated a discussion on the future of reporting. In a number of publications evokes a multitude of defects in existing reporting forms. Much of the authors pay particular attention to the inadequate reflection of some of the components making up the value of companies in the financial statements. Equally problematic from the point of view of the organization is the insufficient level of satisfaction of different types of stakeholders. To deficiencies of traditional reports also include: a high level of complexity and the associated problems of interpretation, the lack of mapping organization model, incomplete summary of company resources including omission of intellectual capital.

Reporting integrated in contrast to financial reporting is oriented to the relationship with stakeholders, and not so far from investors. The form of integrated features: completion of financial information non-financial information, to join the figures descriptive information, expand information on the historical performance of the forecasts in the future health of the organization, disclosure, dissemination which is not legally obliged

#### **3. European Union guidelines on integrated reporting**

Legislative action on integrated reporting has taken the European Parliament. The result of working body of the European Union doctrine published in fall 2014 obliging companies operating in the community for reporting part of the non-financial data.

A huge impact on integrated reporting by large companies, particularly those operating in industries generally considered harmful, was Directive 2014/95 / EU of 22 October 2014. It obliges the biggest European companies reporting non-financial data from the financial statements for the year 2017. The Directive requires companies to adhere to the rules comply or explain. When a unit does not conduct activities in the scope of the issue will be required to publicize the fact or give the reason. The obligation will apply to listed companies in which the volume of employment is more than 500 people, total assets is over 20 million euros or exceed net income of 40 million euros. According to estimates of the directive obliged companies in Poland is around 300.

#### **4. Examination of non-financial information**

The degree of reliability of the integrated can be significantly improved by the introduction of a comprehensive system of internal control, increasing the involvement of stakeholders and an independent external audit, which could be a key factor in enhancing credibility of reports integrated. Confirmation of credibility can bear fruit by strengthening the image of financial reporting as a reliable and trustworthy report.

Audit of non-financial data carries a number of problems absent so far in the financial statements. Verification of indicators of corporate social responsibility is a very difficult challenge, because CSR is essentially immeasurable. Also problematic is the determination of the entity obligated to audit reports integrated. Ultimately, control of non-financial parts should be performed by an investigating financial part. In practice, the entity performing these steps could be the auditor. This would entail raising the qualifications of knowledge of social responsibility.

Currently, part of the non-financial audit of the authenticity of the report of the integrated is not obligatory. So let's ask the question: Is it at all possible is part of the non-financial audit? Undoubtedly, you should formulate common standards, sets of indicators necessary to standardize reporting integrated. Currently, there is complete freedom in selecting the non-financial content which strikes the reliability of this type of reporting. The table below shows the one proposed by the authors of the way the audit by capital guidelines IIRC.

The proposal measures the value of non-financial

Type of Capital	Characteristic	Verification of the proposed implementation
Environmental	- air quality in the area of work - use of renewable energy sources	- amount of harmful dust in the air in the area of work - use of renewable energy sources / all used energy carriers
Financial	- detailed characterization of the sources of financing - the effectiveness of obtaining EU funds	- verbal description of the factors not included in the financial part of the integrated report - amount of funds received from eu funds / number of applications submitted
Production	- infrastructure for employees  - occupational health and safety	- number of parking spaces / number of employees - measures devoted to ensuring safe working conditions / number of employees
Intellectual	- intellectual value  - organizational capital	- number of new patents / funds for research - increase in production / capital intended for the development and implementation of new procedures
Human	- experience of employees  - loyalty	- number of completed tasks (projects) / time of employment - the average duration of employment
Social and relational	- organizational culture - support for local community	- difficulty in measuring - capital designed for the local community

### Summary

As a result of the growing over the last years, the importance of reporting non-financial data and due to the need for disclosure under the EU directive of 2014. From 2017r. this activity will become "the norm", replacing "possibility". Integrated report covering all activities of the company or business financial and non-financial gives a full picture of the situation of the company. The key then becomes the maximum possible standardization of methodologies for calculating and identifying the value of hard measurable, so that they are legible and comparable in recent years and with other companies in the industry. To do this, adhere to selected guidelines, prepared by experts, and then the preparation of such a report, give it in the hands of an external auditor to objective verification. A person from the outside to check the reliability of disclosed data and correct methodology adopted. By doing so prepared report to become a reliable document illustrating the overall operation of the organization, which is a reliable document for shareholders and stakeholders.

### Bibliography

1. Bek-Gaik B, *Sprawozdawczość zintegrowana – wybrane problemy*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 873, „Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia” nr 77, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin, s 479-49, 2015 r.
2. Dominika Markiewicz-Rudnicka, *Audyt wewnętrzny a ład korporacyjny*, Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej we Wrocławiu Nr 23/2011
3. Eccles R., Krzus M.P., Tapscott D. , *One Report: Integrated Reporting for a Sustainable Strategy*, Wiley Publisher, 2010, 1st edition.
4. Gierlach M. Gryboś P. Kaczówka M. *Badanie związków pomiędzy społeczną odpowiedzialnością a wynikami finansowymi przedsiębiorstwa*, V Ogólnopolska Konferencja Naukowa SIGMA MARATON, Łódź 2014.
5. Kwiecińska K. *Wiarygodność zintegrowanego raportu przedsiębiorstwa społecznie odpowiedzialnego*, Studia Oeconomica Posnaniensis 2015.

6. Łagodzki P. *Audyt Wewnętrzny – wybrane zagadnienia*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2011.
7. Maćkowiak E. *Polityka Rachunkowości a kierunki zmian raportowania w przedsiębiorstwach*, Wydawnictwo UE w Krakowie, Kraków 2014
8. Martyniuk T. Szawczak K. *Raportowanie społecznej odpowiedzialności przedsiębiorstw*, Prace Naukowe UE we Wrocławiu, 2013
9. Samelak, J., *Zintegrowane sprawozdanie przedsiębiorstwa społecznie odpowiedzialnego*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań. 2013
10. Szczepankiewicz E. *Ewolucja sprawozdawczości przedsiębiorstw – problemy zapewnienia porównywalności zintegrowanych raportów z zakresu zrównoważonego rozwoju i CSR.*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 832, 2014 r.

**EREN KADIR KISA**

*Mining Engineering ( Istanbul Technical University)*

## **DEVELOPING SOFTWARE FOR MINING ENGINEERING AND PYAGRICOLA MINING ENGINEERING CODE LIBRARY FOR PYTHON PROGRAMMING LANGUAGE**

### **ABSTRACT**

*Mining engineering discipline includes many different processes to product the natural resources effectively. During planning period, each process must be planned for these required topics for the most suitable optimisation. For this reason, using a programming language is the fastest way to overcome to the planning period with the most absolute results. In this document a code library for Mining Engineering that is named “PyAgricola”, written in Python Programming Language, is examined with a GUI example for Blasting Applications.*

**Keywords:** Python, Mining Engineering Code Library, Blasting Engineering, Computer aided Mining Engineering.

### **1. INTRODUCTION**

Any Engineering discipline for solving problems requires varied calculations and approximations. Therefore, it is in the best interest to find a solution for various problems that is necessary to research different methods which find suitable results. For this purpose computers are the most fastest way to simulate or calculate programming methods. For mining engineers, software solutions have fell behind other engineering disciplines: civil and/or mechanical engineering. Prevalent commercial licensed software for mining engineering, generally is developed for graphical design and is the usual 3D vectoral drawing software that rather finds suitable solutions or advices during the planing. However, there is not only one primary software that includes mining engineering principles which helps to solve general mining engineering complications or any study that develops this kind of software which is constructed by large-scaled famous software companies and world-wide mining institutes. Already developed software or little scaled company products are stationed in a limited level and have obstacles in their development like licenses being too costly to attain or involve ethical problems. For this resason, today, some of the scientists mention in their academic essays<sup>[1][2]</sup> that share source codes from their findings, they claim that it is a necessity to improve engineering technology without indecencies of software developers. Therefore, the research of creating a code library for mining engineering will make a significant contribution of speed and effectiveness to scientific approximations.

### **2. PYTHON PROGRAMMING LANGUAGE**

Python was created in the early 1990s by Guido van Rossum at Stichting Mathematisch Centrumin. The Netherlands as a successor of a language called ABC. Python is an interpreted, interactive, object-oriented programming language. It incorporates modules, exceptions, dynamic typing, very high level dynamic data types, and classes. Python combines remarkable power with a very clear syntax. It has interfaces to many system calls and libraries, as well as to various window systems, and is extensible in C or C++. Python is also usable as an extension language for applications that need a programmable interface. The language comes with a large standard library that covers areas such as string processing, Internet protocols, software engineering, and operating system interfaces. Finally, Python is unique because its portable: it runs on many Unix variants, on the Mac, and on Windows 2000 or later versions. All Python releases are open source so that anyone can change codes when needed. Python is faster and more popular than other similar programming languages as it doesn't use any redundant modules during operating time. Its design philosophy emphasizes code readability and its syntax allows programmers to express concepts in fewer lines of code than would be possible in other languages such as C++ or Java<sup>[3]</sup>. The language provides constructs intended to enable clear programs on both small and large scales. The easy and world-wide free licensed programming language 'python' is one of the best alternatives to use to develop software for mining engineers and academic lecturers of mining.

### **3. PYTHON MINING ENGINEERING CODE LIBRARY “PyAgricola”**



Python programming language can be applied into mining engineering approximations requirements or custom code libraries to meet mining engineering requirements. For this reason, creating a code library for mining engineering approximations will be a substructure for developing software. In course of time, it will be helpful for other developers to create their own software. In this aspect, sample code library, dedicated to Georgius Agricola, (first mining engineer who wrote book about mining engineering) as PyAgricola. Code structure includes basic topics of mining engineering and useful functions which formulated from academic publishing. For example; Figure 1 shows us, basic blasting approximation of Stig O. Olofsson<sup>[4]</sup>.

```

class Bench_Blasting:
    def __init__(self, burden, hole_diameter):
        self.burden = burden
        self.hole_diameter = hole_diameter
        # ...
        # List of Alternative Constants & Comments

    def maximumburden_Olofsson(self, hole_diameter, density, hole_correction, formation_correction, explosive):
        """
        Approximation by Stig O. Olofsson, year: 1989

        hole_diameter = Diameter of blast hole
        density = Loading degree (kg / liter)
        hole_correction = Correction for blast hole, always defined in the list of constants
        formation_correction = Correction for rock content, constants defined in the list of constants
        explosive = Explosive defined & different kind of explosives for his approximation. (ANFO, Sulfit, Dynamit)
        For other explosives ratio can be defined manually by user.
        """
        if explosive == 'ANFO':
            explosive = 0.8
        if explosive == 'Sulfit':
            explosive = 1.0
        if explosive == 'Dynamit':
            explosive = 1.47
        self.L = (1 / 0.85) * (hole_diameter * hole_diameter * density)
        self.A = (burden * hole_diameter * density) * (self.L ** 0.1) * (hole_correction * formation_correction)
        return round(self.A * 0.1, 1)

if __name__ == '__main__':
    Blasting = Bench_Blasting()

```

Figure 4 Example Code Approximation For Bench Blasting

By using a “ANFO” command based on the above codes, results will be given below for maximum burden distance for a vertical hole blasting software that has an input of 0.89 meters of hole diameter:

```

>>> Blasting.maximumburden_Olofsson(0.89, 0.85, 0.95, 1, 'ANFO')
2.97 meters

```

In result, it can be observed that burden equals to 2.97 meters. If we change the order of the codes, which work with changing parameters in relation, it still gives correct and suitable results in milliseconds, and when utilized with any other computer or operating systems, the codes still give the same results.

With this introduction, for developing software within use PyAgricola code library, helps us to develop a professional software like Figure 2, named, Blasteur, which includes most popular approximations of bench blasting.

In addition to that, it runs on many Unix variants, on the Mac, and on Windows Microsoft operating system without any license problems and draws the possible perspective of the bench with detailed reports. With PyAgricola functions, it is possible to create a lot of software for mining engineering topics like topography, rock mechanics, soil mechanics, drilling technologies, slope stability, mining economy, petroleum engineering, ore reserve estimations and GIS.

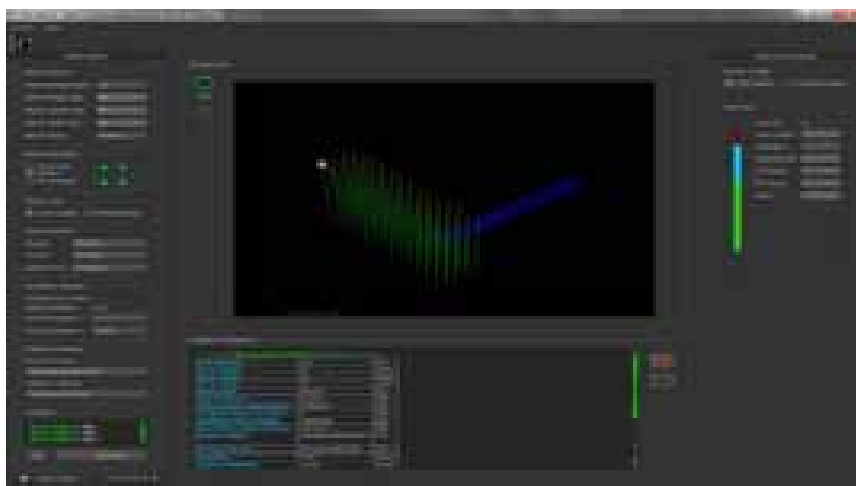


Figure 5 MineWork Bench Blasting Software

## CONCLUSION

Within the scope of this paper, developing a code library of mining engineering approximations and example software are indicated. Per given comparisons, for complex projects, it is possible to develop software that is fast and computable to all calculations with high precision rates without software company indecencies. With Python based open-source software that includes mining engineering principles and academic approaches, Python could increase the efficiency of project outcomes. Thus, it successfully improves the usage of available approaches and disciplines, and it leads to finding new methods and approaches that require repeated simulations and calculations. Lastly, these advances contribute to the improvement of computer-aided mining engineering.

## REFERENCES

1. Allen,A., Berriman,B. ,Brunner, R., Burger, D., DuPrie, K., Hanisch, R.J.,Mann, R., Mink, J., Sandin,C.,Shorridge, K., Teuben, P.2012c. Bring out your codes! Bring out your codes! (Increasing Software Visibility and ReSuse),ArXiv:1212.1915
2. Barnes, N. 2010. Publish your computer code: it is good enough. Nature 467, 753.
3. General Python FAQ( Official Python Website) Retrieved February 22 ,2014 from <https://docs.python.org/2/faq/general.html>
4. Olofsson, S.O., 1988; “Applied Explosives Technology for Construction and Mining”, Sweden.

**STYK KATARZYNA**

*AGH University of Science and Technology in Krakow*

## **THE FIRST COMMON FESTIVAL OF STANISLAW STASZIC. HAVE WE MANAGED THE PROJECT EFFIECIENTLY?**

Recently, there is a tendency to call each activities as a „project”. We should remember that Project is a complicated and multi-faceted activity. There are many singular activities with relations and influences between them. The success of Project depends of involving each members of group. That’s why the most important thing is management of Project.

The project managers have many tools, techniques and methodologies which helps reach an aim in process of Project realization.

The main reason of undertaking the subject is that the Author has an experience of management of the First Polish Stanislaw Staszic Fest. What else, she decided to connect few conceptions of Project management to reach a final result. The aim of this presentation is to show the Project management process. Then it tried to answer this questions: Was it effective Project management? ; Were all aims reached? ; Has the Project got any profits?; What was the role of methodology in this Project?

I hope that this presentation will give the answer to this questions.

### **THE MANAGEMENT AND REALIZING PROJECT PROCESS**

The management of the Project is in fact the answering of six questions:

1. What is the problem we have to solve by realization of the Project?
2. What goals we want to achieve?
3. What kind of profits we expect to reach?
4. What we have to do to reach the aims?
5. How we evaluate the level of realization process?
6. How to be effective?

Each Project have his own life, so we should use a tools to check how to Project life is changing. In my opinion the best tool is the “Deming’s Life Cycle” which takes four steps: planning, doing, checking, activating.

The “Deming’s Life Cycle” helps us to find a way to management of Project:

0. Invitation- zero step. Before we start a Project. In this level we are looking for the main idea, the reason of a Project and we are thinking of the arguments of realization of a Project.

0. Planning – we are preparing a first plan of the Project and selecting the members of group. We are creating an budget and time of realization

0. Piloting – we are preparing a system of communication between members of group.

0. Realizing – we are incorporating our plan in life

0. Controlling – we are trying to keep the right way of Project realization

0. Finishing – we are checking if the Project achieves the goal

The Author had used the “Deming’s Life Cycle” and then she started to fulfil the Project with three partners.

### **PLANS**

Organizers have started with setting six main points of project, which became unchangeable during whole project. They were a fundament of the project.

Next steps was to set main goals of project and do the schedule. There set down eight main task. Any project has features (transiency, uniqueness, complexity need for a clarification) and restrictions (scope, cost, time, quality). There is a need to follow with seven rules of effectiveness project management to achieve a success:

1. Sponsors
2. Team
3. Communication
4. Monitoring
5. Evaluation
6. Promotion
7. Reporting
8. Cash flow

### **WAS IT EFFECTIVE PROJECT MANAGEMENT?**

There is need to follow with rules and compare plans with realization to get the answer of this questions.

1. Sponsors – there was a plan to find 1 sponsors (The main organization). In fact there found 3 other financing unit.

2. Team – According to a multi-faced project, there was plan to involve 12 person to realize the project. 7 of them should work permanent, 2 person in independent positions, 3 person in charge. In fact there was 2 person, who worked permanent, 2 independent positions and 2 person in charge. In fact, 90% of task was doing by Operating Director of Festival.

3. Communication - There was plan to use project platform and make regular appointment with Director and team (once a week) and director and leading committee (twice a week) to achieve good communication. According to changes in team, there used e-mail groups and direct contact via phone.

4. Monitoring and

5. Evaluation – The respond to project need, there was contacted of these 2 points.

There was a plan to create and actualize such documents as plan, check list, schedule, budget, list of responsibilities, book of experience. It used the check lists and tools as: calendar, disc, project platform, doodle, to control progress. In according to changes in points 1 and 2, there resigned with such extensive documentation. In fact there used check lists, schedule and budget. To optimize work there was create a online disc.

6. Promotion – the Organizers of project decided to create own website. It might be the main promotion canal. The information about project was published on website and social media which was manage by organizers. It used to plan to write articles, made spots in radio or local television stations – unfortunately it did not set up this canals of promotion. There used alternative way with distributing promotion materials with direct contact with beneficiary (about 400 mails)

7. Reporting – The rate of realization project with plan is 95%. The most important elements with influence on such rate was overplanted sponsors, to reduce costs or to canvass. The rate of timetable was 80%. The main delay was contacted with problems with website. There was achieved all goals and profits.

8. Cash flow – there was a budget with 25.000 PLN with one main sponsor. In order to other financing units, less team members and commitment volunteers, the cost was reduced to 20.000 PLN.

As this analyze has just revealed, the project of the First Polish Stanislaw Staszic Fest was finished with success. All the goals were achieved. The taken actions was not ease. It has to planed and organized a lot of events, got to adequate consumer, build good relations and counts with media and other administration units. This tasks was not easy, because of the small experience of the Operating Director and a small team.

### **WHAT WAS THE ROLE OF METHODOLOGY IN THIS PROJECT?**

To use basic methods and tools of project management, let to achieve further steps of project. It allow for good communication and monitoring plan. There was to critic elements: time and project team. Despite of this elements, this project management was very useful experience. All of conclusions will let to avoid problems in other projects. There propose some improvement such as timetable, team, monitoring, promotion and sponsor.

To sum up, all these experience let us believe that the next project – the second Polish Stanislaw Staszic Fest, which preparation started in February 2017, will finished with success too.

## SYSTEM DYNAMICS MODEL FOR DETERMINING THERECYCLED MATERIAL LEVEL IN USAGE STOCK

### ABSTRACT

Sustainable management of the flow of non-renewable resources has been a requirement and a challenge at the same time. Recycling is currently the trending approach to decrease the use of virgin material. Previous research presented different methodologies such as MFA and LCA to visualize the flow of materials. This paper aims to introduce the system dynamics concept to determine the level of recycled material at the usage level by taking phosphorus as a case. A model was built using VENSIM PLE software. Results show that an average of 37.5% occupying the Usage stock comes from recycling, the rest comes from virgin material and imports of final products.

### Keywords

*Non-renewable natural resources, Sustainability, System dynamics*

### 1. Introduction

The depletion of non-renewable natural resources has become already significant and is affecting the environment as well (Mahesh C. Gupta, 1995). There is an increasing interest by different groups including government's policy makers to enhance a closed-loop sustainable production and to re-use materials (T. Sundar Raj et al. 2013). The importance of Phosphorus recycling comes from two reasons, first the scarcity of phosphate rocks (R.W. Scholz et al. 2013), second reason is due to its harmful effects towards the water, at which a large deposit of phosphorus can cause eutrophication to the water surface (Grzybowski, W. & Szydłowski, J. 2013).

#### 1.1. Problem Formulation

Although phosphorus is currently being recycled from wastewaters, vegetal wastes and sludge, the extraction of virgin material is still occurring (Childers, D. et al. 2011). It is important to find out the recycled material proportion inside the Usage stock, which is the final stage before the waste generation occurs.

*RQ: What is the percentage of the recycled material to the total amount of phosphorus?*

#### 1.2. System dynamics

System dynamics is capable of creating the dynamic behavior of a certain system by using the relationships and correlations between different variables and factors (Tefamariam & Lindberg, 2005). Golroudbary & Zahraee (2015) has used System Dynamics approach to build a closed loop supply chain, where the recycling and collection of wastes were optimized. The objective of using the system dynamics approach in this paper is to include different interdependencies between variables into the dynamic behavior of the system.

### 2. Materials and Methods

#### 2.1. Case Study description

Phosphate rocks have been included among the list of critical raw materials determined by the European commission. The focus in this paper is on the fertilizer industry inside the EU, since that the most significant phosphorus (85% of P content) flows into that sector.

#### 2.2. Data Collection

Data sources were taken from Eurostat for production, processing and waste streams. Trade databases were useful to gather data for the outflow and inflow from and to the EU such as the trade map online database. All data collected is representing the European Union in particular, including population and prices as well. Regression analysis was applied to test the relation between potentially related variables and factors.

#### 2.3. Mathematical Formulations

Some variables and flows in the model follow certain equations, where others follow different types of distributions.

$$\text{Processing rate: } PR_t = AS_t \times PE \quad \text{Eq (1)}$$

Where the  $PE$  represents the processing efficiency related to the processing of phosphoric acid and is equal to 0.95 based on processing data, and  $AS(t)$  is the Apatite stock.

$$\text{Fertilizer production rate: } FPR_t = 0.85 \times PPA_t \quad \text{Eq (2)}$$

Where  $PPA_t$  is the processed phosphoric acid stock.

$$\text{Fertilizer Usage rate: } FUA_t = 9724800 - 959 \times FPE_t - 0.01654 \times P_t \quad \text{Eq (3)}$$

Where  $FPE_t$  is the fertilizer price effect and  $P_t$  is the population

$$\text{Waste Generation Rate: } WGR_t = 1094094 - 0.07478 \times FUA_t \quad \text{Eq (4)}$$

$$\text{Recycling rate: } RR_t = -1555990 + 2.488 \times WGR_t \quad \text{Eq (5)}$$

$$\text{In-Stock fertilizers: } ISF_t = \int_{t_0}^t (FPR_t + IR_t + RR_t - FUR_t) dt + ISF_{t_0} \quad \text{Eq (6)}$$

Where  $IR_t$  is the import rate. The percentage of the recycled material in the total stock at time=  $t$  is calculated through dividing the integral of  $Eq(5)$  plus the initial recycled material, by the total stock at time=  $t$ , with removing  $Eq(3)$  from the total stock.

$$\%RM = [(\int_{t_0}^t RR_t dt + RM_{t_0}) / (\int_{t_0}^t (FPR_t + IR_t + RR_t) dt + ISF_{t_0})] \times 100 \quad Eq(7)$$

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Results

The system is built using VENSIM PLE software. Amount of phosphorus inside the waste stream was calculated based on estimations done by Sokka, L et al. (2004). Extraction rate, Fertilizer price effect, Population and import rate all follow a random uniform distribution.

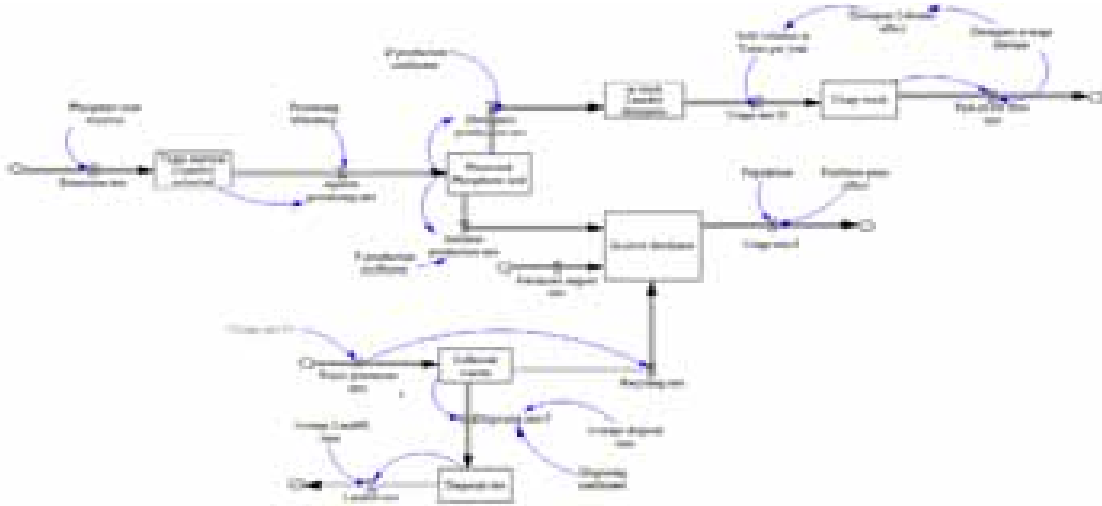


Fig. 1 Phosphorus stock and flow diagram

Fig.1 shows the model built. This model represents the current situation in the European Union.



Fig.2 % of Recycled P in the total stock over time

#### 3.2. Discussion

The results on Fig.2 show an average of 37.5% of P content originating from recycling, the rest comes from virgin material in addition to the imports flowing into the system. These results, however, are subjected to change based on how we define the mathematical formulation of the waste generation rate. In this paper, the waste generation rate follows  $Eq(4)$ . Other variables might also be significant predictors for the waste generation which provides more accuracy to the data in case they are added to the system.

### 4. Conclusions

The importance of recycling and reuse lies under the fact that our global non-renewable natural resources are going through depletion. Different methods were illustrated to visualize the flow of materials. System dynamics was used in this paper to show the dynamic behavior of phosphorus in the system taking into account external factors as predictors of the flow rates. The results obtained show that an average of 37.5% of P in the fertilizers usage stock are recycled material. Future Research should be concentrating on theoretically improving the potentially recyclable material in a closed loop chain. The focus should be on meeting the demand for production through providing recycled material instead of virgin material.

### ACKNOWLEDGMENT

This paper could not be prepared without the support of Professor Andrzej Kraslawski, Professor of systems engineering at LUT and Professor of safety engineering at Lodz University of technology. We are also grateful to him for his continuous assistance in guiding and supervising our research work from the beginning.

## References

1. Childers, D., Corman, J., Edwards, M., & Elser, J. (2011). "Sustainability Challenges of Phosphorus and Food: Solutions from Closing the Human Phosphorus Cycle", *BioScience*, 61(2), pp. 117-124
2. Golroudbary, S. R., & Zahraee, S. M. (2015) "System dynamics model for optimizing the recycling and collection of waste material in a closed-loop supply chain" *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 53, pp. 88-102
3. Grzybowski, W. & Szydlowski, J. *Water Air Soil Pollut* (2013) 224: 1413
4. Mahesh C. Gupta, (1995), "Environmental management and its impact on the operations function", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 15 Iss 8 pp. 34-51
5. Raj, T.S., Lakshminarayanan, S. & Forbes, J.F. 2013, "Divide and Conquer Optimization for Closed Loop Supply Chains", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 52, no. 46, pp. 16267-16283-16267-16283
6. Roland W. Scholz, Andrea E. Ulrich, Marjatta Eilittä, Amit Roy (2013) "Sustainable use of phosphorus: A finite resource", *Science of the Total Environment* vol- 461-462 pp. 799-803
7. Sokka, L., Antikainen, R. and Kauppi, P. (2004) 'Flows of nitrogen and phosphorus in municipal waste: a substance flow analysis in Finland', *Progress in Industrial Ecology*, Vol. 1, Nos. 1/2/3, pp.165-186
8. Tesfamariam, D., & Lindberg, B. (2005). "Aggregate analysis of manufacturing systems using system dynamics and ANP", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 49, pp. 98-117

**N. KREKHOVETKII,  
SAEED RAHIMPOUR GOLROUDBARY, ZLATAN MUJKIC, MOHAMMAD ELWALI,  
SAUD AL FAISAL, A. BESSUDNOV**  
*Lappeenranta University of Technology, Finland*

## TITLE: "MODELLING MATERIAL FLOW OF NIOBIUM"

Materials have always been essential for the humanity in different areas. Moreover, they enable the progress and availability of those ensures the opportunities for future development. (Savage, 2012) However, the necessity to follow the growing level of life standards and the overall development of economies over the world have led to the increasing demand for the resources. (Mancini et al, 2012) Among all them, it is possible to distinguish the group including peculiarly rare, the availability of which can become crucial. Thus, it is essential to ensure the necessary amounts of those. However, the geographical scarcity and limited deposits of such materials cannot be overlooked.

These days, to deal with the lack of the rare resources there are three main ways: traditional extraction, substitution, and recycling. In this research, it was decided to focus on recycling area as the first two approaches have already been studied to a great extent.

To understand if it is feasible to start development and, afterward, implementation of an innovative recycling technology for material, it is essential to evaluate the amount which can be possibly recycled. Thus, it is important to have all necessary information concerning the flows and amounts in order to understand whether it is reasonable or not to carry out development.

Furthermore, while the information about some materials can be easily collected, there is a group for which the intelligence can become a serious challenge. After the initial study, it was concluded that at this point there is not any resumptive modern source with actual information about several rare materials which can help in tackling the challenge. So, it was decided to conduct a research on one of them taking Niobium as material for a case study. The research question is: "what is the amount of niobium available for recycling?"

In order to collect the data, various secondary data sources were analyzed. The majority of information was found in papers from international journals, web-based databases, international governmental and non-profit organizations, and the private companies connected to the niobium.

Niobium, which was previously called Columbium, is a chemical element with atomic number 41. It is gray and lustrous ductile paramagnetic metal which is highly resistant to heat and abrasion. Besides, Niobium is one of the five major refractory metals with extraordinary corrosion resistance. (Report of the CRM InnoNet, 2016; Los Alamos National Laboratory official web page, [accessed: 11.01.17])

Due to its physical and chemical properties, Niobium is used in a wide range of industries. In the table below there are listed main Niobium products with applications as well as market areas.

As it can be seen from the table below, Niobium is used in four main forms. Standard-grade Ferroniobium has a dominant position with more than 90% of the market. Other forms are used in the residuary market with almost the same values of about 3%.

**Table 1.** Niobium products with applications and markets.

Product	% of Nb Market	Applications	Principal Markets
<b>Standard-Grade Ferroniobium (HSLA FeNb)</b> about 60% of Nb content	90,2 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ High strength low alloy steel (HSLA)</li> <li>❖ Stainless steel</li> <li>❖ Heat-resistant steels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Automotive industry</li> <li>❖ Heavy engineering and infrastructure</li> <li>❖ Petrochemical sector</li> <li>❖ Power plants</li> <li>❖ Oil and gas pipeline</li> </ul>
<b>Vacuum Grade Ferroniobium (VG FeNb)</b>	3,0 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Superalloys</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Aircraft engines</li> <li>❖ Power generation</li> <li>❖ Petrochemical sector</li> </ul>
<b>Niobium Metals and Alloys</b> about 50-65% of Nb content	3,4 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Superconductors</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Particle accelerators</li> <li>❖ Magnetic resonance imaging</li> <li>❖ Various small-tonnage uses</li> </ul>
<b>Niobium Chemicals</b> >99% Nb content	3,4 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Functional ceramics</li> <li>❖ Catalysts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Optical Electronics</li> </ul>

Source: Magris Resources Company official web page [accessed 24.12.2016]

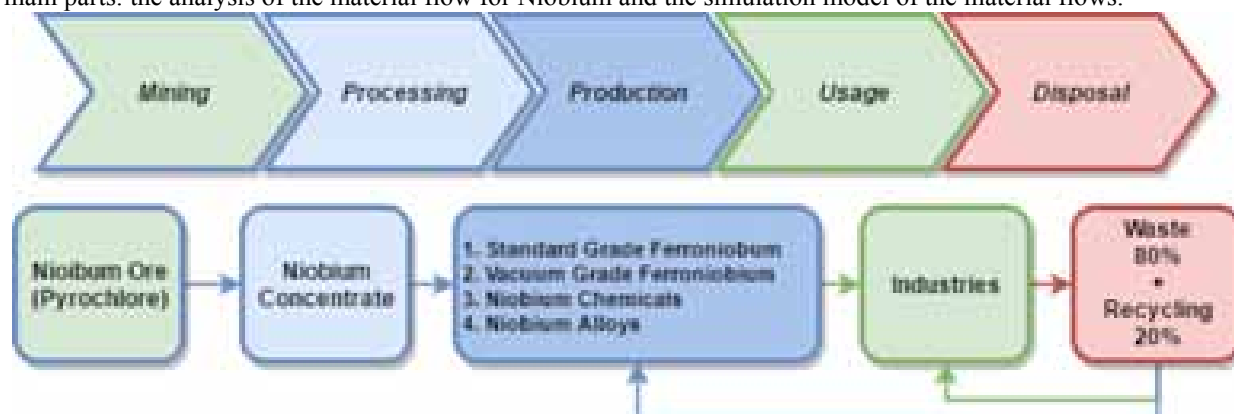
There are three main mining companies that extract niobium comprising ore: CBMM (official web page, [accessed 20.12.2016]), Anglo American (official web page, [accessed 06.12.16]), and Magris Resources Company (official web page, [accessed 08.12.16]). All of them are producing Ferroniobium, while only CBMM produces Niobium in other three forms. Besides, only Niobec mine owned by Magris is located in Canada, while CBMM and Anglo American are eliciting ore in Brazil.

More than 90% of all Niobium products are coming from Brazil. (U.S. Geological Survey, 2016) Almost 86% are coming from CBMM with the residual supplies divided with about 7% for each another two Niobium miners. (U.S. Department of the Interior, 2016) International sources do not provide precise information about mining in Russia. However, it was found that there is a working mine in Russia located in the area of Murmansk city in the Northern Central Russia. Although it has mining and production capacities, the company is oriented on the fulfillment of only Russian market demand and is not exporting the products. (Boyarko and Hatkov, 2004; The Rare Earth Magazine, 2017) According to (U.S. Geological Survey, 2016), overall Niobium production in 2015 was estimated at 56 000 metric tons of niobium content.

Due to the application importance and difficulties in finding substitutes as well as highly possible supply risks, as the production concentration level is very high, Niobium was assessed critical in several countries. The list of the countries which assessed it critical for their economies includes European Union, United States, and Japan. (European Commission Report, 2010; Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan official web page, [accessed 24.11.2016]; Japan Oil, Gas and Metals National Corporation official web page, [accessed 24.11.2016]; U.S. Department of Energy, 2011).

In order to prevent consequences of the possible supply shortages, United States of America Department of Defense has approved National Defense Stockpile Program, which affirms acquisition of the several critical for US materials in order to stockpile them to ensure availability of those in the future. (U.S. Department of Defense, 2015)

In this section of the paper, the results of the study will be provided. The outcomes can be divided into two main parts: the analysis of the material flow for Niobium and the simulation model of the material flows.



**Figure 1.** Schematic Niobium Material Flow Diagram

After the data collection, they were analyzed. According to the results of the analysis, in order to build a more accurate view on the Niobium flow and understand it in a greater detail, it was decided to create, as a first step, a schematic representation of the material flow. The results are shown in figure 1 above.

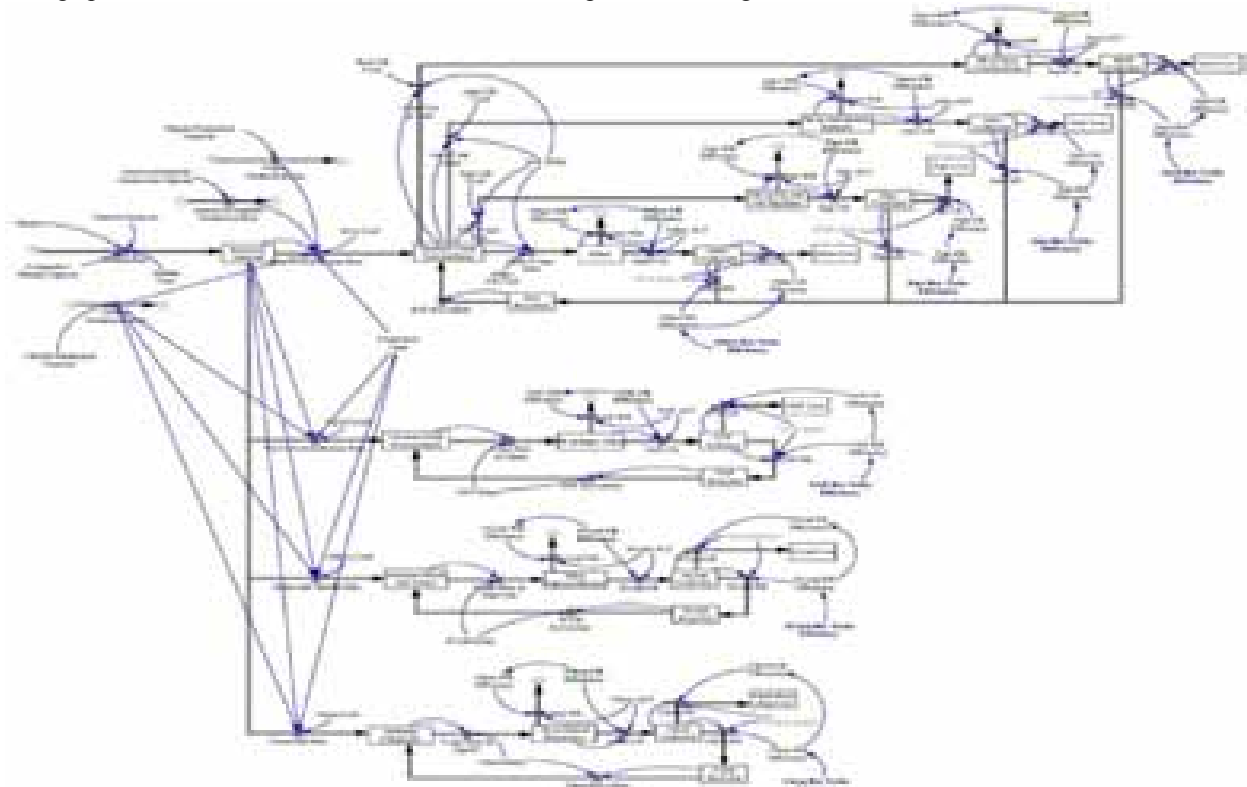
The entire Niobium can be divided into five main steps. First of all, the Niobium content ore should be extracted from the earth's crust. There are two main types of deposits from where Niobium can be elicited: columbite-tantalite mineral group and pyrochlore. However, the enrichment of tantalum is greater in columbite-tantalum, that makes pyrochlore the main economically beneficial source of Niobium these days. As it was stated previously, there are three main mining companies that extract pyrochlore operating in Brazil and Canada. (Report of the Edison Group, 2016)

After the extraction of pyrochlore, companies process it in order to create a Niobium concentrate which includes approximately 60% of Niobium oxide. (Kouptsidis et al., 2000) Then, the concentrate is used to produce different products in accordance with the application. The usage is diversified between several application areas which were shown in table 1 above. After the product for which Niobium was used life expiry, there are two main following ways: disposal or collecting for further recycling. Although there are technologies to extract the material from already used products, the recycling rate is estimated only at 20%. (European Commission Report, 2010)

After the first studies of the material flow, the main question remained unanswered. The main stages were clear, but the precise estimation of the available for recycling amount of Niobium still should be evaluated. The multiplicity and variety of variables as well as variabilities levels are making it even more complicated to answer the research question of the study. In order to approach this complex problem, it was decided to build a simulation model of the material flow for Niobium case.

There are three main paradigms in Simulation Modelling: System Dynamics, Discrete Event Modeling, and Agent Based Modeling, which are used to model different levels of abstraction. It was decided to employ System Dynamics, as it allows to model over time explicitly dynamic changes especially for large and complex systems which require a holistic view. (Brailsford and Hilton, 2001) Moreover, the results can be used by businesses and governmental organizations for strategy development and analysis of policies how to intervene into actual relationships and feedback systems. (Sweetser, 1999)

As a result of the study, the simulation model for material flow for Niobium was built. The model describes the flow including main material flow stages, which were also presented in figure 1 above. Besides, for each of the product types, its own recycling loop was created including own collection and recycling rates, as well as specific average product lifetime. The structure of the model is presented in figure 2 below.



**Figure 2.** Structure of the developed material flow simulation model for Niobium

The relationships between variables are represented by the blue arrows. The Collection Rates and Recycling Rates are suggested as the major variables which are influencing the flow. The model can estimate the possible amount of the Niobium for recycling, how much was recycled and how much was wasted. Besides, it takes into account actual production rates and capacities of the mining companies and distribution proportions of the



Niobium products ready to use in the market. Although there are still some verification and validations to be made in order to adjust results, the future application looks very promising.

To sum up, the material flow for Niobium case was studied and the main steps were distinguished. The simulation model shows the dynamical situation and can be possibly used for prediction as all the necessary tests will be made. Moreover, the research revealed the crucial points about Niobium production, its market and forms of the products. The results of this study can be applied and absolutely recognized as a valuable intermediary milestone in further studies of the critical raw materials flows and feasibility of their recycling technologies development.

**TATSIANA PILIPTSEVICH, PROFESSOR DR. JAN C. BONGAERTS**  
*TU Bergakademie Freiberg, Germany*

## EXTENSION OF THE ROBERT S. PINDYCK MODEL ON THE JOINTLY PRODUCED EXHAUSTIBLE RESOURCES EXTRACTION

### Introduction

The latest developments of the modern world require secure but at the same time sustainable metals supply. On one hand, the deposits of metals are not as high-graded as they have been in the past, due to very low possibility to discover new deposits with high-grade of metals in the ore. The latest developments in the technologies still allow to extract minerals economically profitable from the deposits of much lower-grades, then those processed in the past [1]. Thus the mining industry has to adapt to the new situation and be able to process in the future more of lower-grade ores. On the other hand, the demand for metals in different industries, from electronics to renewable energy production, is only growing. For example, the supply of copper is already in the deficit, and zinc is predicted to become soon one of the critical metals in the market [1]. And still, when it comes to the extraction from the polymetallic deposits containing critical metals, many inefficiencies occur. For example, if the extracting company could not receive the permission to extract all the contained in the deposit resources or did not have the technology to do so, the valuable metals stay in the waste rocks or tailings. This becomes one of the main environmental problems, initiated by mining.

In order to cope efficiently with these kind of challenges, the decision making instruments, including economic instruments, leading to the sustainable and efficient management decisions should be developed. The economic model of optimal extraction from the deposits with multiple resources inside can be seen one of such instruments. The Robert S. Pindyck paper "Jointly Produced Exhaustible Resources" [2] presents the model of optimal extraction from the deposits with multiple resources. He gave a direction of answering to the question what is the optimal path of extraction from composite reserves in it. He took the example of jointly produced helium and natural gas, where probably the rates at which the resources are extracted do not play vital role. In his model, he assumes that the production has two production stages. First, the composite ore is extracted at an average cost. Second, the individual resources are separated out from the ore each at the extra costs. The model still neglects several important aspects, which are present while extracting metals from the deposits. Each metal is present in the deposit at particular in advance explored ratio. For example, gold (Au) comes along with silver (Ag) and in most AU-deposits, the direct ratio Au:Ag varies between 2:1 to 10:1 [3]. This ratios are can influence the model of Pindyck and change the optimal extraction path of the resources. On order to give the answer to the question, if it is a case, a new model should be constructed, which also includes the ratios of metals (or any other kind of resources). In this short paper we will briefly describe, how the new model will be constructed.

### Description of methodology

In line with Pindyck, we consider a market that is competitive at all levels. Note that we deal with the case of polymetallic deposits. Let the  $c(R)$  denote an average cost at which the composite ore is extracted at the first stage of extraction.  $R$  stands for the (known) reserve level. The composite ore contains a number of metals indicated by  $i$  ( $i=1, \dots, n$ ). In the second stage, the composite ore is processed to extract these individual metals, either for sale or for intermediate storage. We assume that the cost of producing resource  $i$  at rate  $x_i$  depends on the rate of the composite ore extraction (and consumption)  $q$ . There are  $n$  cost functions  $C_i(x_i, q)$  with smooth and continuous derivatives  $\partial C_i / \partial x_i > 0$ ,  $\partial^2 C_i / \partial x_i^2 > 0$ ,  $\partial C_i / \partial q < 0$ ,  $\partial^2 C_i / \partial q^2 > 0$ ,  $\partial^2 C_i / \partial q \partial x_i < 0$ ,  $\left(\frac{\partial}{\partial q}\right)\left(\frac{C_i}{q}\right) < 0$ , and  $C_i(0, q) = 0$ ,  $C_i(x_i, 0) = \infty$  (Pindyck, 1982).

Let  $p_i$  denote the price,  $q_i$  stand for the sales volume,  $S_i$  for the quantity in storage and  $k_i$  for the storage cost (all for metal  $i$ ).  $r$  represents the interest rate. Then the competitive objective profit function can be written as follows:

$$\max_{(q, x_1, \dots, x_n, q_1, \dots, q_n)} \int_0^{\infty} \left[ \sum_i p_i q_i - c(R)q - \sum_i C_i(x_i, q) - \sum_i k_i S_i \right] e^{-rt} dt \quad 1)$$

subject to

$$\dot{R} = -q, R(0) = R_0 \quad 2)$$

$$\dot{S}_i = x_i - q_i, S_i(0) = 0, i = 1, \dots, n \quad 3)$$

$$\text{and } R, q, x_i, q_i, S_i \geq 0.$$

Since we assume that the market is competitive, price  $p_i$  is given and the  $p_i$ 's and  $q_i$ 's satisfy the market demand conditions  $q_i = q_i(p_i)$ ,  $i=1, \dots, n$  (Pindyck, 1982).

In order to modify this model of Pindyck we denote the ratios of metals in the deposit with  $\alpha_i$ . The possible way to proceed further is to include the new constraint into the mathematical model, containing the metals ratios. Since there are many metals in the deposit, on the base of Karush-Kuhn-Tucker conditions [4] the constraint can be written in the following way:  $\sum_i \alpha_{ji} x_i = w_j$ , where  $j$  is a number of constraints and  $j = 1, \dots, h$ . To be able to include it into the model we need to rewrite it in the matrix form.

When the new constraint to the model is written, we need to proceed to the new Lagrangian function. After obtaining it, we will take its derivatives.

As a result we obtain the new price functions for each resource in the deposit.

#### **Discussion of the results**

In the done work, we have very briefly described the approach of modifying the model of Pindyck on the joint extraction of resources from one deposit. After this modification, the model includes the metals ratios in the deposit. As a result, we should obtain the new price functions of each resource in the deposit and see, how does the fact, that metals are present in particular ratios in the deposit, is influencing the extraction path of each resource. This new approach brings the original model closer to the real world situation and can help the miner to manage the pricing rules more optimally. Later on the model can be applied to a case study.

#### **Literature**

1. H.R. Watling, Review of biohydrometallurgical metals extraction from polymetallic mineral resources, Minerals, 2015, 5, pp. 1-60.
2. R.S. Pindyck, Jointly produced exhaustible resources, Journal of Environmental Economics and Management, v. 9, i. 4, 1982, pp. 291-303.
3. Wellmer, F.-W., Dalheimer, M., Wagner, M., 2010. Economic Evaluations in Exploration. 2nd Edition, Springer.
4. Bazaraa, M.S., Hanis D. Sherali, H.D., Shetty, C.M., 1943. Nonlinear Programming: theory and algorithms.

**B.SC. ALEXANDER ROMERO,**  
**B.SC. CONSTANTIN WEIGEL,**  
*TU Clausthal e.V, Germany*

## **DEVELOPMENT ANALYSIS OF SOUTH AMERICA'S LEADING COPPER PRODUCING COUNTRIES– A MINING AND FINANCIAL REVIEW**

Abstract

10th International Young Researchers Contest - University of Mineral Resources

This research deals with copper mining in Chile and Peru. The first chapter has given an overview about the role, Chile and Peru play on the global copper market. Chile (5.8Mt Cu/yr.) and Peru (1.7Mt Cu/yr.) are the world's biggest and third biggest producer of copper and the world's two biggest exporters of copper. Almost all copper produced in both countries, is exported. The main importers of copper are China, which alone accounts for 50% of the global copper demand and acts as engine for the copper price, Japan and India. This trend is to be continued as the economies of the countries with the biggest population, mainly China and India, are growing and copper is a necessity to guarantee the economic growth of these countries. Anyhow, in the distant future this might change, when the economy of China (and India) have developed and the reserves (South America hosts the biggest copper reserves with 40%, but only resources of 21%) have been mined out. Another factor that might affect the longtime macroeconomic development of the copper market is, that copper is 100% recyclable. That means that the global copper market can be met by recycling only, if the economies/industries of our planet are completely developed. Even if this is a utopia, the influence of recycling copper on the copper market is predicted to rise.

Copper plays a vital role for the development of Chile and Peru. Chile (A-rated) and Peru (B+ rated) are the best rated countries in Southern America. Also, they convince with their stable GDP-growth, which indicates not only financial, but also political stability. As (copper-) mining makes for the biggest part of their GDP, the superior role of the two countries in Southern America can be explained. Another indicator for the importance of mining in these countries is the budgeting of exploration projects, in which Chile, Peru and Mexico share the top in Southern America. Mexico's position is due to their massive exploitation and exploration of oil and gas deposits. In the second chapter the importance of copper in both, Chile and Peru, has been investigated.

Chile is more dependent on copper than Peru. The contribution of the revenue by copper mining to the total mining revenue is over 90%. The foreign mining investment has been changing over the past years, which could be linked to the development of the copper price, which had a high with over 10,000\$/t in 2011 and dropped to 5720\$/t end of 2016. The production rate of Chile, anyhow, has been relatively constant since 2006, in which Chile produced around 5.3Mt a year. In 2015 the production just rose by less than 10% to 5.8Mt. The copper production of Chile is mainly driven by the state-owned company CODELCO, which is responsible for a third of Chile's copper production and which is the only company that is the only shareholder of important copper projects like El Teniente, the 6<sup>th</sup> biggest copper mine world-wide. Other important mining companies in Chile are BHP, Rio Tinto, Anglo American, Glencore and Mitsubishi. The most important copper producing region is Antofagasta, out of which over 53% of Chile's copper is extracted. Though, Chile's copper mines are not as polymetallic as the deposits in Peru, they account for 77% of the country's silver and 43% of the gold production.

Peru, on the other hand, has a wider portfolio of mineral resources as Chile. Copper is only responsible for 43% of the export revenue. Gold (35%) is almost as important for Peru's mining economy as copper. Also, lead and zinc are important minerals extracted in Peru. In contrast to Chile, the foreign investment in mining has been constantly rising over the past years. This can be linked to Peru, being more independent against changes in the copper market. Anyhow, the copper production in Peru has increased almost 70% in the last 10 years, from 1.05Mt in 2006 to 1.7Mt in 2015. In Peru all copper projects are joint-ventures of different shareholders like Antamina S.A., Peru Copper Corp., Cerro Verde S.A.A. and many more. Antamina, located in Ancash, is one of the most important projects in Peru. It's production accounts almost for 25% of the national copper production.

Till 2020 an investment of 22b\$ is estimated for Chile's mining industry. Almost 21b\$ are invested in copper projects, of which most projects are expansions of the biggest existing mining projects like Escondida, which should reach a capacity of 1.3Mt of copper per year and the 2<sup>nd</sup> and third mining phase of the Collahuasi mine, which should reach a steady production of 1Mt copper per year. In Peru over 60b\$ is expected to be invested in the same time frame. Around 60% of this investment is for copper mining projects. These projects are expansions as well as new mines. Anyhow, the production capacity of the Peruvian mining projects is predicted to be smaller as of the two biggest Chilean projects. The biggest two projects in Peru is the La Granja mine, which is completely owned by Rio Tinto, and the expansion of Antamina, which have a forecasted production of 0.5Mt and 0.463Mt of copper per year.

The third chapter of this research project describes shortly the geology of the Chile and Peru and the two most important deposit types: the IOCG-deposits and, most importantly, the porphyries. After that, a perspective from the site of mining engineering on mining copper in Chile and Peru is given. Over the last year around 90% of the mining activity in these countries is surface mining. Anyhow, the trend to underground mining is increasing, as many important pits are having stripping ratios, which will become too high for an economic mining operation, in the next years.

The most important surface mine is Escondida. Escondida is operated and mainly (to 57.5%) owned by BHP Billiton. It employs 4.000 direct employees and further 10.000 employees of contractors. In 2014 Escondida handled 377Mt of waste and processed 87.7Mt of ore, grading at 1.61g/t copper. In total 1.17Mt of copper were sold as well as 139,000 ounces of gold. It's pits are operating 18 shovels, 171 trucks, 5 front loaders, 20 drills, 22 bulldozers, 19 wheel-tire-dozers, 14 graders and 13 water trucks, as well as 5 primary crushers and 35km of conveyer belts. The crushed ore is fed into two concentrators and two leaching operations. The processed ore is shipped via a port, handling over one million tons per year. An example for a surface mine with a transition to underground mining is Chuquibambilla. The chosen mining method for underground mining is block caving, which has the advantages of high productivity and operational costs as low as in surface mining, as the material is "excavated" by gravity. The mine will mine for blocks of 250m height in 4 levels. It will use LHDs, Jumbos, picking hammers and jaw crushers for its production. For underground mining Cerro Lindo is an example, applying the sublevel stoping mining method.

The operational costs for mining have been rising in both countries over the last years and have reached the same level as in the rest of the world. These costs are mainly energy costs, contractor costs and material costs.

The 4<sup>th</sup> chapter of this research deals with the challenges the mining industry has to face. One of these challenges arises through social conflicts, which can result from racist behavior of a mining company's representatives or because of too little engagement of mining companies towards the community. Environmental pollution, as well as water and energy consumption also can arise conflicts, which easily resolve in strikes and demonstrations. A second big challenge is the management of water and energy. The mining industries of both countries are the biggest energy consumer (Chile with a third) nationally. Also, a huge water consumption in areas with limited fresh water

proves a challenge. Further challenges are the decrease in the commodity price as well as the infrastructure to access remote deposits.

The last chapter of this research project deals with future trends that will affect the copper mining industry in these countries. To cope with the demand of fresh water for mining, desalination plants will become more important. As many deposits are relatively close to the ocean, desalination might prove a cost-effective and more sustainable effect to meet the fresh water demand, without causing environmental or social conflicts. Although the operational costs have been on a rise for the last years, one trend might be their decrease due to more atomization and process optimization in mining (Mining 4.0) and more effective equipment. Two further presented trends are the increase in social awareness, e.g. due to a better support of communities, and the increase in infrastructure investment.

The conclusion of this research is, that the copper revenues in both countries are expected to decrease in the short-term future, due to increasing mining costs and due to China having a decreasing effect on the commodity price, and to increase in the long-term future, when the operational costs can be minimized due to atomization, when the demand of population-strong third world countries like India, or countries in Africa, is rising, pushing the copper price upwards, and when currently developed projects will be realized. Anyhow, the mining industry in Peru is constantly growing while the market in Chile is becoming saturated, which indicates that an investment in Peru's mining industry might prove more profitable.

**PROF. JAN C. BONGAERTS, M.SC. KATHARINA ROSIN, DR. JIANGXUE LIU**  
*TU Bergakademie Freiberg, Chair of Environmental and Resource Management*

## **DEVELOPMENT OF AN INTEGRATED MODEL FOR SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF A NEW "SMART MINING TECHNOLOGY"**

### **1. Introduction**

The steadily growing population and the rapid industrialization of emerging countries lead to a strongly growing demand for mineral materials. These include fluorite, copper and other strategic metals required in industry. As one of the leading industrial countries, Germany consumes a large amount of mineral raw materials. According to report of Federal Institute for Geosciences and Natural Resources in 2014, Germany imported raw material commodities worth 910.1 billion Euro of which about 20 % represent metals including mineral ores and concentrates. The demand for metals increased by 5.3 % in comparison to the previous year [1]. To reduce the dependency on such imports of raw materials and increase self-sufficiency, Germany started a new development of its domestic mineral deposits. Since 2013, many licenses have been issued for exploration and extraction of deposits, especially in the state of Saxony, as one of Germany's most resource-rich states with a wide range of mineral deposits [2]. However, most deposits in Saxony are small, located in great depths with difficult access and in complicated surroundings. Hence, conventional mining operation methods may not be feasible due to technological and economic restrictions. It is, therefore, essential to develop innovative mining technologies to meet the major challenges and opportunities of this future minerals supply.

### **2. Smart Mining**

In order to meet this objective, since July 2016, scientists at TU Bergakademie Freiberg have initiated a Research Project entitled "InnoCrush" with the intention to develop and optimize a technology for high selectivity in mining and for consecutive processing. This project is financially supported by the European Union (European Social Fund) and the Saxonian Government (Grant No. 100270113). The technology to be developed must be highly automated as a "Smart Mining Technology" – SMT – and it must integrate all relevant issues and knowledge related to mineralogy, geotechnics, mining engineering, remote sensing and automation and, finally, minerals processing. This technology would be used especially for the extraction of minerals from small deposits.

In order to establish this technology, already at the stage of emergence, it is important to identify and assess its economic feasibility, its environmental impacts (as compared to conventional mining technologies) and its impacts on stakeholders. In order to achieve this task, an integrated economic-techno-enviro-socio evaluation model must be developed in order to evaluate the three dimensions, both in separate and integrated ways. The ultimate results of the research enable the establishment of the new technology in overall optimized conditions.

### **3. Methodology**

The major objectives of the research work can be defined as follows: (1) developing a method to estimate mining and processing costs of SMT, (2) Developing a method for estimating the benefit of a mining project using a particular mining technology, (3) providing a basis for decision-making on the adoption of SMT in comparison with other mining technologies. Currently, there is no standard methodology for such an integrated evaluation of an emerging technology such as SMT. Hence, the integrated method must be developed and, for that purpose, three stages have been defined.

- (1) Life-cycle costs analysis of the application of smart mining technology

In the first stage, total discounted costs with respect of the life cycle of SMT are to be modelled. In general, these costs comprise initial investment costs, such as costs of equipment, initial overburden removal costs, construction costs, etc. and operating costs during the life time of the mine, such as labour costs, costs for power and water consumption, costs for consumable materials, and maintenance costs. Total costs can be calculated by:

$$C = D_{t_0} + \sum_{t=0}^m \frac{OC_t}{(1+i)^t}$$

Where  $D_{t_0}$  stands for initial investment costs,  $OC_t$  represents operating costs in year  $t$  with  $t = 1, 2, \dots, m$ .  $i$  stands for the discount rate.

(2) Development of a techno-enviro-socio evaluation model.

In the second stage, a method for the identification of the benefit of the application of SMT with respect to technological, environmental and social aspects is developed. Let  $B$  denote the benefit of using SMT defined as a function of its technical impact  $T$ , its environmental impact  $E$ , and its social impact  $S$ :

$$B = f(T, E, S)$$

Hence, since  $B$  should be quantified, three approaches are used:

Assessment of SMT using the Quality Function Development (QFD) approach: for an evaluation of a new technology, it is important to analyse the relevance of its technical specifications with respect to users' priorities. The appropriate tool to complete this task is the QFD method since it enable the mapping and evaluation of needs and priorities of potential users (here: mine operators) of this new technology onto technical specifications of this new technology to be designed and engineered by equipment manufacturers. The outcome enables an assessment of the new technology for the benefit of the users and the potential in terms of optimization for the equipment manufacturers.

Assessment of the environmental performance using Life Cycle Analysis (LCA): LCA is a technique for assessing the potential environmental aspects associated with a product or a technology across its entire life cycle. For each step of the life cycle, relevant inputs, such as energy consumption, water use, materials use and outputs, such as useful products, waste water release, waste are identified and assess with respect to their environmental impacts. As a result, an overall impact on the environment can be calculated and assessed. The challenge of the use of LCA to SMT consist in the fact that it is an emerging technology not yet established.

Assessment of the social performance using stakeholder analysis: Social issues are increasingly considered as one of the important risk factors affecting the development of mining projects globally. They have often led to the delay, prevention or complete closure of mine operation in existing and prospective areas. It is important to take into account the perceptions of the various stakeholders and consequences of the project. Stakeholder analysis focuses on groups or individuals "who can affect or are affected by the achievement of the organization's objectives"[3]. Though grouping and analysing stakeholders and their intentions, the social impacts of and on a mining operation can be assessed.

(3) Evaluation of SMT using an optimization model

In the third and final stage all costs and benefit factors are integrated in order to provide a basis of decision-making on the adoption of SMT. For that purpose a model allowing for optimization need to be constructed. It has the following structure:

$$\begin{aligned} &\text{Minimize } \sum_{j=1}^n x_j C_j \\ &\text{Maximize } \sum_{j=1}^n x_j B_j \end{aligned}$$

subject to:

$$\sum_{j=1}^n x_j C_j \leq M \quad \text{with} \quad C_j = D_{t_0}^j + \sum_{t=0}^n \frac{OC_t^j}{(1+i)^t}$$

$$\sum_{j=1}^n x_j B_j \geq S \quad \text{with } j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_j = 0 \text{ or } 1 \text{ with } \sum_{j=1}^n x_j \neq 0$$

Where  $x_j$  represents a decision variable identifying a component of a mining process taking the values 0 and 1. A value of 1 implies that the component is part of the process and a value of 0 implies that this component is not included. By way of example: the process of room-and pillar mining contains the components: cut + drill + blast + load + haul + processing [4] and SMT includes drill + cut + load + processing.  $C_j$  represents the costs of component  $x_j$ .  $M$  stands for the available budget.  $S$  stands for the minimal technical, environmental and social benefit, which a

mine operation must achieve. The objective is to maximize the technical, environmental, and social contribution without exceeding the limited availability of the budget  $M$ .

The solution of this model generates a decision-making rule for an operator of a mine whether to use SMT or another mining technology.

#### 4. Conclusion

Since the last decades, the demand for mineral materials grows rapidly worldwide. To secure the supply of raw materials Germany started the development of its domestic mineral deposits. However, these deposits are small with difficult access. In order to enable their exploitation in a sustainable way, within a specific research project entitled "InnoCrush" a smart mining technology will be developed. This is an emerging technology, it is important to provide a basis for a comprehensive decision-making on its adoption. For this purpose, an "economic-techno-enviro-socio evaluation model" is developed. The ecological, technical, economic and social parameters generate an overall benefit resulting from QFD, LCA, and stakeholder management approaches. Results of the calculation are further used as inputs into an optimization model. The aims of the optimization model can be described as follows: (1) minimizing mining and processing costs, (2) maximizing benefits of the technological, economic and social impacts and (3) providing a decision-making basis for the implementation of the smart mining technology under a given budget constraint.

#### References

- [1] Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), 2014. Raw Materials Situation in Germany, BGR, in German.
- [2] Saxon State Ministry of Economic Affairs, Labour and Transport (SMWA), 2012. Raw Materials Strategy for Saxony, SMWA, in German.
- [3] Freeman, R.E., Harrison, J.S., Wicks, A.C., Parmar, B.L., De Colle S., 2010. Stakeholder Theory, Cambridge University Press.
- [4] Hartman, H.L., Mutmanský, J., 2002. Introductory Mining Engineering, John Wiley & Sons, Inc.

**ВАЙНОНЕН Н.С.**

*Ведущий инженер ОГП*

**ГОРБУНОВ А.Д.**

*Начальник ОГП Горбунов А.Д.*

## ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБЫЧИ РУДЫ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ СОРТОВЫХ ПЛАНОВ

При составлении сортовых планов не учитывается влияние величин потерь и засорения руды на величину прибыли, получаемой от реализации готовой продукции в результате отработки планируемого сектора. В данный момент построение подхода к руде сводится к визуальной оценке, при которой главным критерием служит отсутствие превышения значений нормируемых потерь или засорения (рисунок 1).



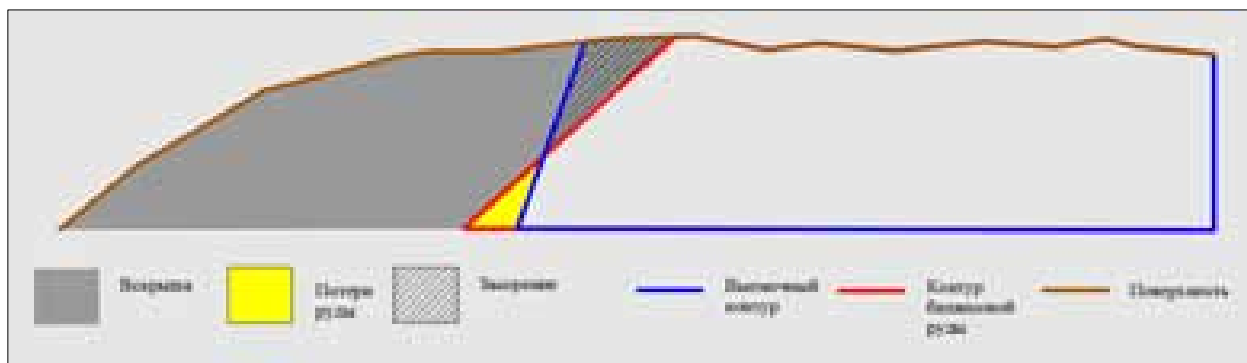


Рисунок 1. Выемочный сектор отстроен с потерями и засорением (наиболее распространенный случай)

Опираясь на визуальную оценку, невозможно однозначно утверждать, где именно должна проходить граница между величиной потерь и засорения, какой из вариантов является оптимальным с точки зрения экономического эффекта – получения максимальной прибыли с каждого выемочного сектора.

Для оценки экономического эффекта необходимо определить прибыль от реализации готовой продукции из выемочного сектора. Прибыль будет представлять собой выручку за вычетом всех затрат:

$$\Pi = B - Z_{\text{общ}}$$

Необходимо просчитать несколько вариантов обработки исследуемого сектора и для сведения к минимуму затрат времени на расчеты, был создан шаблон в формате Excel (рисунок 2). Достаточно сделать выгрузку обчета выемочного сектора из программы Datamine, все результаты и прибыль будут оперативно отражены в шаблоне.

Рисунок 2. Шаблон для определения экономической эффективности добычи руды на стадии составления сортового плана.

Для оценки экономического эффекта приведем пример. Рассмотрим выемочный сектор сортового плана по карьеру «Елена» (рисунок 3). Здесь приведен первый возможный вариант обработки.

Затем отстраиваются еще 2 возможных варианта обработки (рисунок 4). После чего производится обсчет всех вариантов и выгрузка результатов в соответствующие ячейки шаблона.

Рисунок 3. Вариант обработки №1 выемочного сектора. Желтая заливка – потери, наклонная штриховка – засорение.

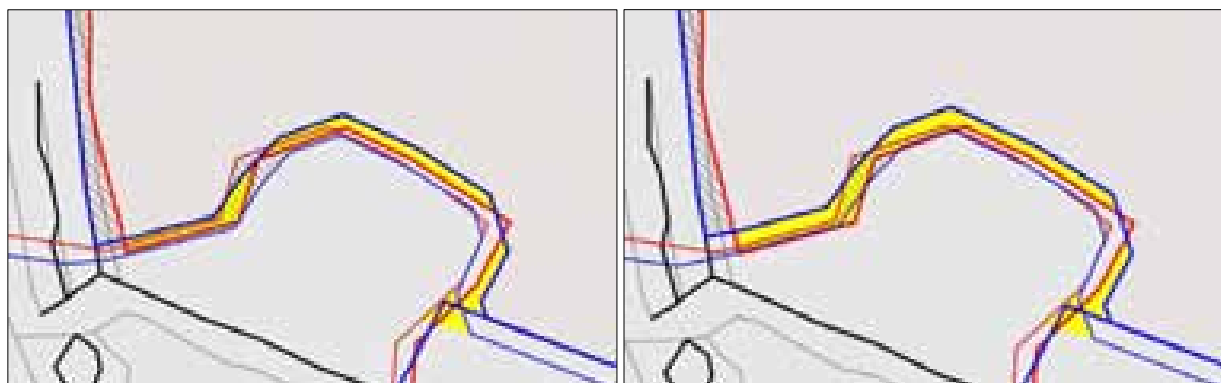


Рисунок 4. Варианты обработки №2 (слева) и №3 (справа). Желтая заливка – потери, наклонная штриховка – засорение.

Экономически эффективным вариантом обработки представленного сектора является первый вариант. Возможная дополнительная прибыль рассчитывается как разница между максимальной прибылью и средним значением прибыли по всем трем вариантам. Для данного примера прибыль составляет 12 593 \$.

Необходимо найти критерий, который бы указывал на направление поиска оптимального варианта обработки выемочного сектора.

При построении вариантов изменяются величины потерь и засорения. Необходимо найти зависимость максимальной прибыли от отношения величины засорения к величине потерь.

Был проведен анализ наилучших вариантов отработки секторов, полученных в ходе исследования, и нескольких показательных секторов из сортовых планов (см. лист «Итог» приложения в формате Excel). В результате была выявлена следующая зависимость: при увеличении содержания золота в потерях, возрастание отношения величины засорения к величине потерь будет соответствовать наиболее экономически эффективному варианту отработки.

На рисунке 5 представлен график, отражающий выявленную зависимость на основе данных по выемочным секторам.

$$\alpha = 0,37k + 0,67, \text{ где}$$

$\alpha$  - содержание золота в потерях, г/т;

$k$  - величина отношения засорения к потерям.

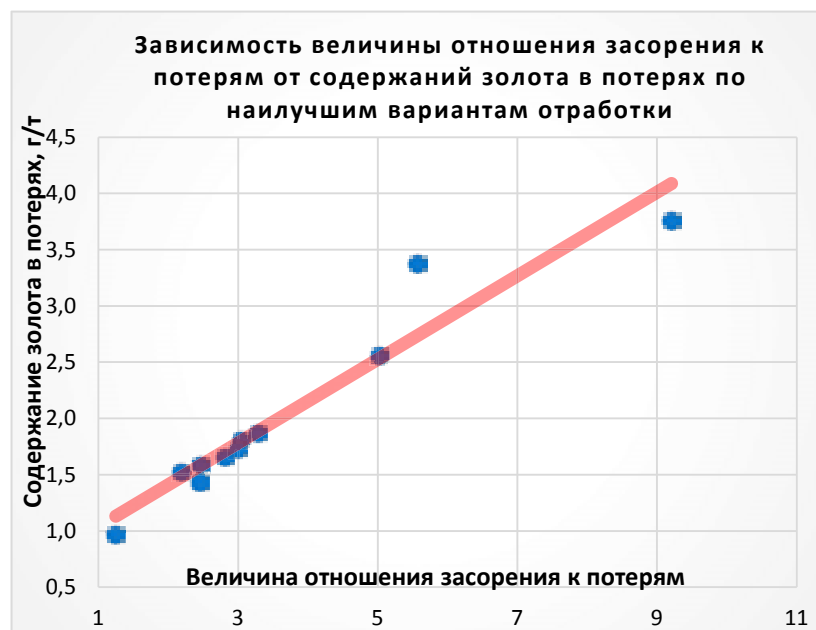


Рисунок 5. Зависимость величины отношения засорения к потерям от содержаний золота в потерях по наилучшим вариантам отработки.

Для проверки полученных данных был выбран сектор №10. Величина отношения засорения к потерям по принятому варианту отработки составляет  $k_{факт} = 2,19$ . Расчетная величина по полученному уравнению составляет  $k_{расч} = 2,66$ .

Разница между фактическим и расчетным значениями коэффициента  $k$ , позволяет предположить, что возможен вариант, при котором отработка данного сектора может дать большую прибыль.

Для проверки был построен еще один вариант отработки, в котором фактическая величина коэффициента  $k$  приближена к расчетной ( $k_{факт} = 2,58$ )

Таким образом, удалось увеличить дополнительную прибыль с данного сектора на 193 \$.

Проведен анализ вариантов отработки еще по 10 выемочным секторам. Затем был определен суммарный тоннаж товарной руды по наилучшим вариантам и суммарная дополнительная прибыль. Опираясь на полученные данные, рассчитана удельная дополнительная прибыль:

$$П_{уд} = \frac{П_{сумм}}{T}, \text{ где}$$

$П_{сумм}$  - суммарная дополнительная прибыль, \$;

$T$  - суммарный тоннаж товарной руды по наилучшим вариантам, т.

Результаты расчета удельной прибыли приведены в таблице 1

Таблица 1. Расчет величины удельной прибыли для месторождения «Светлое»

Суммарная товарная руда по наилучшим вариантам	153191	т
Суммарная дополнительная прибыль	22425	\$
Удельная дополнительная прибыль	0.15	/т



Общие запасы руды по всем карьерам составляет  $M_{\text{общ}} \sim 5\,400\,000$  т, соответственно, потенциальная дополнительная прибыль рассчитывается следующим образом:

$$P_n = M_{\text{общ}} \cdot P_{\text{уд}}$$

При применении разработанного шаблона для составления сортовых планов на протяжении всего времени отработки запасов месторождения, величина возможной дополнительной прибыли составит  $P_n \sim 810\,000$  \$

Выводы:

В результате проделанной работы разработан шаблон для оценки экономической эффективности отработки секторов при составлении сортовых планов, учитывающий условия и экономические показатели месторождения «Светлое».

Получена величина удельной прибыли. Для месторождения «Светлое»  $P_{\text{уд}} = 0,15$  \$/т. Потенциальная дополнительная прибыль при применении методики составляет 810 000 \$.

Выявлено влияние зависимости величины отношения засорения к потерям от содержания золота в потерях на экономическую эффективность добычи руды.

Получено уравнение на основе данной зависимости, которое позволяет определить оптимальную величину коэффициента  $k_{\text{расч}}$ . Производится построение следующих вариантов отработки для получения наилучшего экономического эффекта, опираясь на условие  $k_{\text{факт}} \approx k_{\text{расч}}$ . Разработанный шаблон внедрен на месторождении «Светлое» для применения на этапе сортового планирования. В процессе использования шаблона будет происходить накопление статистических данных, и, соответственно, уточнение коэффициентов уравнения, отражающего выявленную зависимость.

#### Литература

1. Методические указания по нормированию, определению и учету потерь и разубоживания золотосодержащей руды (песков) при добыче. Иркутск. АОТ "Иргиредмет". 1994. - 265 с.

**Я.Д. ЗОЗУЛЯ, В.А. МАРТЫНЕНКО, И.В. КОЧУРА**  
*Донецкий национальный технический университет, Украина*

## ФОРМИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Уголь для Украины выступает основным видом первичных энергоресурсов, на который приходится 95,4% всех запасов ископаемых видов топлива страны. На долю Донецкого угольного бассейна приходится порядка 85% всех угольных ресурсов Украины, а промышленные запасы угля составляют более 1,3 млрд. т. Этого достаточно для добычи на нынешнем уровне (7–8 млн. т товарного угля в год) на протяжении, по меньшей мере, 165 лет. Однако с 2014 года уменьшается уровень добычи угля, количество производственных мощностей и действующих шахт, что, безусловно, связано как с изменчивостью и непредсказуемостью внешней среды в условиях развивающегося политического и экономического кризиса на Украине, так и с естественной нестабильностью объекта деятельности шахт. Это обусловлено изменчивостью характеристик угля (зольность, влажность, сернистость и другие), нестационарностью рабочего места и значительной вариативностью условий труда, неопределенностью информации о запасах месторождения полезного ископаемого, возможностью возникновения газодинамических явлений. Все это указывает на большую долю неопределенности в деятельности угледобывающих предприятий. Именно по этим причинам многие шахты находятся на грани банкротства, не могут реализовать свой потенциал и являются претендентами на закрытие.

В свете многочисленных проблем угольной промышленности, как для предприятия, так и для государства в целом, существует необходимость оценки потенциала угольных предприятий по разным критериям для принятия решений о продолжении их дальнейшей деятельности, реструктуризации и выходе на рентабельный уровень или же ликвидации.

Термин потенциал имеет много значений. Это мощь, сила, скрытые возможности. В большом экономическом словаре потенциал означает совокупность имеющихся средств, ресурсов, запасов, которые могут быть использованы для достижения, осуществления чего угодно. Учитывая, что при реализации любых скрытых возможностей предприятие планирует улучшить эффективность своей деятельности, будем в дальнейшем рассматривать понятие «экономический потенциал».

Вопросом определения сущности экономического потенциала, его оценки, в том числе и для уголь-

ной промышленности, занимались такие ученые, как А.И. Амоша, Н.И. Иванов, И.М. Репина, А.С. Федонин, Н.С. Краснокутская, Л.Д. Ревуцкий, И.З. Должанский, Ф.И. Евдокимов, Г.М. Добров, О.В. Коренков, И.А.Фесенко, С.В.Шарыбар и другие. Однако применительно к угледобывающему предприятию данный вопрос является недостаточно изученным и не отражает всей сущности проблемы. Анализ теоретического материала показал различия в определении содержания, сущности и структуры понятия экономического потенциала, а также отсутствие единого методологического подхода к его оценке и формированию организационно-экономического механизма управления для угледобывающего предприятия.

Учитывая, что основу производственно-хозяйственной деятельности предприятия составляют три хозяйственных процесса: процесс обеспечения ресурсами, производственный процесс и процесс реализации, было сформулировано понятие экономического потенциала угледобывающего предприятия. Экономический потенциал угледобывающего предприятия – сложная система имеющихся и скрытых возможностей угольного предприятия, связанная со спецификой его производственно-хозяйственных процессов и обеспечивающая эффективную деятельность.



Рис.1 – Классификация составляющих экономического потенциала угольного предприятия

Под ресурсным потенциалом понимается совокупность средств производства, запасов, источников ресурсов, которые есть в наличии или могут быть мобилизованы. Для угольного предприятия необходимо наличие запасов полезного ископаемого, финансовых ресурсов (собственных или заемных) для приобретения материалов, оборудования, проведения выработок, трудовые ресурсы соответствующего количества и качественного состава и информация о разведанности запасов, горно-геологических условиях, поставщиках, потребителях, конкурентах и другие сведения.

Производственный потенциал – это способность выполнять определенный объем работ и выпускать продукцию определенного качества. Решающую роль играют горно-геологические условия (мощность пластов, объем запасов, глубина залегания, газоносность, наличие горно-геологических нарушений, качественные характеристики угля), производственные фонды (основные и оборотные) и, конечно же, кадровый потенциал, который разделен на две основные составляющие – управленческий и технологический персонал

Рыночно-сбытовой потенциал – это потенциальный объем спроса на продукцию произведенную предприятием. Тут важным для самостоятельных предприятий является маркетинговая деятельность, связанная с исследованием потребителей, конкурентоспособностью продукции по качеству, нахождением новых рынков сбыта. Результатом сбыта является реализованная продукция и финансовые результаты деятельности предприятия, которые представляют финансовый потенциал.

Одним из важнейших вопросов определения экономического потенциала предприятия является выбор способа его оценки. Оценка экономического потенциала является важным элементом внутреннего управленческого цикла, поскольку позволяет получить информацию об итогах хозяйственной деятельности предприятия, выявить резервы, оценить пути возможного повышения эффективности функционирования предприятия и перейти к прогнозированию, а также формированию организационно-управленческих решений. Существует множество методов оценки потенциала предприятия: SWOT-анализ, метод с применением потенциальной функции, индикативный метод, метод построения зависимостей «затраты-эффективность»,

метод денежной оценки, метод факторного анализа, экспертные методы. Учитывая, что угольное предприятие представляет собой сложную производственную систему и состоит из совокупности различных возможностей, то необходима комплексная оценка его экономического потенциала.

Исходными данными ресурсного потенциала являются основные статистические данные деятельности шахт. Для оценки природных ресурсов и горно-геологических условий необходимо проанализировать объем промышленных запасов угля и связанный с ним срок службы предприятия, мощность пластов, качество угля, глубину разработки, категорию шахты по газообильности, водообильность, наличие горно-геологических нарушений, объемы добычи за месяц или год, а также использование производственных мощностей предприятия и другие характеристики.

Производственные фонды угольных предприятий могут быть проанализированы с помощью показателей использования основных и оборотных фондов.

Для оценки финансового потенциала наиболее наглядным является индексный метод факторного анализа, так как он охватывает показатели работы предприятия в целом, а не его структурные элементы. В основу метода положен расчет индексов результирующих показателей работы предприятия с учетом реализации его возможностей. Индексный метод заключается в данном случае в сравнении наличного и прогнозного экономического потенциала с фактическим посредством результирующих показателей работы предприятия. В ходе такой оценки экономический потенциал определяется исходя из таких показателей как рентабельность капитала, коэффициент ликвидности, а также стоимость активов и других финансовых показателей.

Одним из методов оценки трудового потенциала является детерминированный факторный анализ. При построении факторной модели стоимостная оценка ресурса труд будет характеризоваться операционными расходами предприятия на оплату труда и объемами отчислений на социальные мероприятия в соответствии с данными годового отчета. Предлагаемый метод оценки ресурса труда учитывает качественные характеристики персонала (квалификацию, опыт работы, уровень образования – как результат дифференциации величин заработной платы) и количественные – численность персонала с возможностью анализа его структуры.

Таким образом, на основе анализа теоретического материала и состава процессов производственно-хозяйственной деятельности было сформулировано понятие «экономический потенциал угледобывающего предприятия», выявлены его состав и структура. Обоснована необходимость комплексной оценки экономического потенциала угольных предприятий и предложены различные методы оценки его элементов.

**И.И. КЛОЧКО, О.А. КЛИМЕНКО**

*Донецкий национальный технический университет, Украина*

## **О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ДОБЫЧИ УГЛЯ В НЕЛЕГАЛЬНЫХ И ЛЕГАЛЬНЫХ АРТЕЛЯХ**

Сложившаяся ситуация с угольной отраслью Донбасса привела к тому, что начиная с 2008 года получила развитие добыча угля из так называемых "копанок" (в дальнейшем - артели). В настоящее время нелегальная добыча угля составляет значительную часть добываемого угля в Донбассе. Правительство ДНР решило навести порядок в данном вопросе. Теперь владельцы так называемых артелей, должны будут зарегистрировать свои предприятия согласно решению, принятому в министерстве доходов и налогов ДНР.

Указ, изданный министерством доходов и сборов ДНР, по мнению правительства, позволит не только отрегулировать отношения в отрасли, пополнить бюджет республики, навести порядок с учетом добычи угля, но и ввести технический надзор за артелями. Указом регулируется порядок работы и пользования недр для частных артелей. В данном случае под артелью понимается субъект хозяйствования, который осуществляет деятельность в сфере добычи угля (угольной продукции) подземным способом, путем проведения с поверхности наклонных выработок, вскрывающих запасы угля на отметке не более 180 метров по вертикали, с привлечением в штат работников (не менее 12 и не более 35 человек из расчета на каждый выемочный участок). Каждый собственник такой артели должен получить регистрационный лист и ежемесячно авансом выплачивать сбор за пользование недр в размере 50 тыс. рублей. Подразумеваются и штрафные санкции для тех, кто будет пытаться работать нелегально. На первый раз штраф от 150 тыс. до 200 тыс. рублей, а при повторном нарушении конфискация оборудования и закрытие шахты.

В связи с нехваткой рабочих мест и низкими зарплатами на большинстве работ, артели стали единственным источником доходов большей части населения.

Несмотря на указ, не многие нелегальные предприятия по добыче угля прошли регистрацию. И маловероятно, что этот приказ заставит владельцев артелей зарегистрироваться. Кроме обеспечения работой трудоспособного населения угольных регионов очень сложно определить положительные аспекты деятельности такого предприятия.

Рассмотрим отрицательную сторону ведения горных работ на малых глубинах в официальных и не официальных угольных артелях:

1) "Копанка" представляет из себя наклонную выработку с углом наклона порядка 5-20 градусов, пройденную с поверхности и вскрывающую угольный пласт, находящийся на небольшой (до 30-50 метров) глубине. Высота таких выработок не превышает одного метра, что позволяет продвигаться по ним только на четвереньках и работать всю смену именно в таком неудобном положении. При этом нужно отметить отсутствие серьезной механизации работ. Добыча осуществляется при помощи отбойных молотков. Для доставки добытого угля устанавливается самодельная лебедка. Кроме лебедки устанавливают воздушный компрессор с ресивером — для обеспечения работы отбойных молотков.

Какое-либо проветривание в "копанках" отсутствует. Единственным источником свежего воздуха в забоях "копанок" является сжатый воздух, который подается в отбойные молотки от компрессора, и воздух, поступающий по выработке вскрывающей пласт, что в некоторых случаях приводит к скоплению взрывоопасных концентраций метана и дальнейшему взрыву.

После того, как уголь извлечен, выработку бросают, не удосужившись хотя бы «закупорить» ее устье.

2) Безопасность работ. В основном угольные "копанки" имеют незначительную глубину и работы в них ведутся короткий срок, поэтому используется деревянная крепь, а так как для работников данного предприятия более важен заработок, а не их безопасность, то из-за поспешной установки крепи часто случаются обвалы, что приводит к травматизму и гибели рабочих.

Из-за недостаточного проветривания и отсутствия средств индивидуальной защиты случаются гибель рабочих из-за нехватки воздуха, а из-за скопления газа случаются взрывы и пожары. Рабочим получившим травму на производстве не выплачиваются никакие компенсации и они лечатся за свой счет.

3) Экология. Экологические проблемы можно рассмотреть с нескольких точек зрения :

а) Оседание почвы

Для того чтоб узнать какие будут последствия от работы на такой глубине обратимся к истории развития угольной промышленности Донбасса, которая насчитывает более чем 200-летний период. За это время добыча полезного ископаемого прошла длинный путь от частных мелких шахт, разрабатывающих выходы пластов короткими заходками (что собственно и делают нынешние артели), до современных крупных предприятий, ведущих добычу угля на больших глубинах одновременно несколькими очистными забоями.

В последние годы во всех горнопромышленных районах Донбасса над старыми горными выработками, пройденными ранее на глубине до 80-100 м, все чаще стали наблюдаться провалы и локальные оседания земной поверхности с повышенными вертикальными и горизонтальными деформациями. Так, лишь только в одном бывшем ПО "Донецкуголь" по статистике ежегодно происходит в среднем три провала земной поверхности над старыми горными выработками, проведенными на малых глубинах.

Анализ материалов разведочного бурения, сбоек горных выработок действующих шахт с погашенными старыми горными выработками показал, что отработанные участки шахтных полей (особенно на горизонтах, близких к земной поверхности) не являются полностью уплотненными и имеют полости различных размеров. Учитывая, что хозяева нелегальных "копанок" абсолютно не беспокоятся о погашении выработок, а просто оставляются артелью и переходят на другое место, то последствия будут гораздо значительнее. При соответствующих условиях ведения горных работ в нижележащих пластах, разрушении сохранившейся крепи, росте нагрузки на крепь сохранившейся старой выработки, при строительстве зданий и сооружений, вибрации массива горных пород при работе механизмов, затоплении заброшенных горных выработок, возможна активизация сдвижения горных пород и земной поверхности с образованием провалов или локальных оседаний (микромульд). Поверхностный комплекс угленосной территории Донбасса представлен зданиями и сооружениями различного типа, немалая часть из которых не имеет конструктивных мер защиты от вредного влияния горных работ. Здания и сооружения, имеющие конструктивные меры защиты, рассчитаны лишь на определенные деформации земной поверхности от глубинных подработок без учета возможной активизации процесса сдвижения и повышения концентрации деформаций земной поверхности за счет уплотнения пустот, сохранившихся на верхних горизонтах старых шахт. Все очистные выработки на глубинах до 80-100 м независимо от времени их проведения представляют опасность для зданий и сооружений, расположенных на земной поверхности. При активизации очистных выработок старых шахт, отработанных на малых глубинах, деформации земной поверхности проявляются в виде микромульд, которые отличаются от обычных мульд сдвижения меньшими размерами по площади, неправильной конфигурацией в плане, большей кривизной бортов и, вследствие этого, большими вертикальными и горизонтальными деформациями земной поверхности.

б) загрязнение вод из-за небольшой глубины разработки приводит к тому, что имеет место засорение грунтовых и подземных вод пылью и расширению депрессионной воронки.

в) загрязнение окружающей среды отвалами породы из выработок.

4) Экономика. Основной причиной принятия этого указа, по словам правительства, является обеспечение населения углем и позволит не только отрегулировать отношения в отрасли, пополнить бюджет республики, навести порядок с учетом добычи угля, но и ввести технический надзор за шахтами,

По доступной нам информации о нескольких артелях, проведем примерный расчет налога который они платят. Исходные данные сведем в таблицу 1.

Таблица 1. Исходные данные для расчета налога по артелям

№ артели	Глубина разработки, м	Мощность пласта, м	Количество добыч-ных смен	Средний объем добычи угля в сутки, т	Количество ГРОЗ в смену	Средняя зарплата ГРОЗ, руб/т	Категория плательщика налога
I	250	0,7	3	90	3	300	3-я
II	400	1,8	3	150	3	400	3-я
III	700	1,4 – 1,7	3	130	3	400	3-я

Как видно из приведенных данных только I артель отвечает условиям разработки (до 250м), а II и III – не соответствуют требованиям указа. Все артели относятся к плательщикам упрощенного налога третьей группы и обязаны платить налог 3 % от суммы дохода. При средней цене угля в артелях 1200р за тонну налог, с учетом стоимости лицензии на добычу угля (50,0 тыс. р), составит:

I артель – 110,0 тыс. р;

II артель – 161,0 тыс. р;

III артель – 170,0 тыс. р.

Учитывая то, что далеко не все "копанки" захотят регистрироваться и отдавать часть прибыли, а также учитывая стоимость мероприятий по погашению артелей, затрат на проверки работы артелей, облагораживанию территории после окончания работы артели, а также предотвращения оседаний почвы и борьбы с последствиями оседания почвы, считаем что разработка угля артелями является нецелесообразной и более благоприятным для региона и населения будет закрытие работающих и предотвращение открытия новых "копанок".

**К.В. КОЧУРА, И.В. КОЧУРА**

*Донецкий национальный университет, г.Донецк*

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОБЫЧИ НА УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ДОНБАССА В УСЛОВИЯХ СТОХАСТИЧНОСТИ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СРЕДЫ**

Точный прогноз осуществления планового задания или проекта невозможен ни при каких обстоятельствах, так как при прогнозировании всегда присутствует стохастичность и неопределенность внешней среды. Одним из актуальных направлений экономической науки является обоснование возможности применения соответствующего математического аппарата для решения экономических задач с целью повышения объективности результатов. Особое значение это приобретает при разработке стратегических программ предприятия, так как существует высокая информационная неопределенность в период их формирования.

Одним из специальных методов, которые позволяют не только определить с большей или меньшей точностью множество возможных вариантов развития события, но и описать поведение предприятия и условия реализации плановых заданий, является имитационное моделирование.

Для Донбасса актуальной проблемой является планирование основных технико-экономических показателей деятельности угольных предприятий. Одним из основных показателей шахты является добыча. На формирование ее величины оказывают влияние различные внутренние и внешние факторы, которые могут привести к ее отклонениям, как в отрицательную, так и в положительную сторону, а в результате - к изменению финансовых показателей. Учитывая специфику угольного предприятия - это природные факторы, связанные с горно-геологическими условиями, организационно-управленческие, производственные, финансовые, экологические и политические. Поэтому прогнозирование величины добычи с учетом ее возможного отклонения, связанного с влиянием внутренних и внешних факторов является актуальной проблемой.

При использовании имитационного моделирования необходимо знать законы распределения величины суточной добычи. Так, Э. И. Гойзман и соавторы считают, что добыча распределена по закону Вейбулла [1], Ф. И. Евдокимов и Е.В.Мизина полагают, что это  $\beta$ -распределение [2]. Тем не менее, чаще всего при изучении распределения технико-экономических показателей используется нормальный закон.

Используя экспериментальные данные по 15 шахтам Донецкой области за 2 года и возможности программного пакета “Статистика”, можно сделать вывод, что практически по всем шахтам добыча распределяется по нормальному закону либо, близка к нему, поэтому прогнозирование будет производиться на основе этого закона распределения.

При нормальном законе распределения плотность вероятности имеет вид [3]:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} * \sigma} * e^{\frac{-(x-m)^2}{2*\sigma^2}} \quad (1)$$

где  $m$  – математическое ожидание случайных величин;

$\sigma$  – среднеквадратическое отклонение.

Учитывая, что добыча, на основе исследований, распределена по нормальному закону, спрогнозировать ее по любой шахте с учетом факторов риска, имеющих случайный характер, можно с помощью таких статистических характеристик, как математическое ожидание (среднее значение добычи) и среднеквадратическое отклонение.

Имеющиеся данные о суточной добыче по 15 шахтам Донецкой области были сгруппированы в наблюдения. За одно наблюдение принято 50 значений суточной добычи. Получив около 100 таких наблюдений по шахтам, определили среднее значение (мат.ожидание) и среднеквадратическое отклонение для каждого из них. По полученным данным была построена степенная зависимость вида  $y=a*x^b$ , где  $x$  – математическое ожидание (объем добычи), а  $y$  – среднеквадратическое отклонение.

Так как обычно для планирования объема добычи берутся месячные данные, то на основе теории вероятности, полученное среднеквадратическое отклонение умножается на количество дней работы по добыче шахты за месяц. Среднеквадратическое отклонение добычи за месяц рассчитывается по формуле:  $\sigma_{мес} = \sigma_{сут} * n$ . Аналогично получим месячное математическое ожидание:  $m_{мес} = m_{сут} * n$ .

Эта зависимость дает возможность определить величину отклонения суточной и месячной добычи (риск) от ее ожидаемого значения на любой шахте Донецкой области.

Зная ожидаемую добычу и ее среднеквадратическое отклонение, с помощью генератора случайных чисел, распределенных по нормальному закону, моделируем большое количество прогнозируемых значений.

Вероятность получения добычи меньшей или большей, чем ожидаемое значение  $z$  можно получить, проинтегрировав функцию ее распределения по формуле:

$$p = \frac{1}{\sigma * \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{\frac{-(d_i - \bar{D})^2}{2*\sigma^2}} \quad (2)$$

где  $d_i$  – значение ожидаемой добычи в интервале от ее минимального значения (при моделировании величины добычи по нормальному закону распределения) до значения величины  $z$ .

$\bar{D}$  – мат. ожидание добычи в интервале от ее минимального значения до величины  $z$ .

Плановую добычу с учетом суммарного воздействия рисков можно рассчитать по формуле:

$$D_{nл} = \frac{\sum_{i=1}^{nл} D_i}{n} * p + \frac{\sum_{j=D_{nл}}^m D_j}{m - n} * (1 - p) \quad (3)$$

где  $D_i$  – значение добычи в интервале от ее минимального значения (при моделировании величины добычи по нормальному закону распределения) до значения величины ожидаемой добычи;

$D_j$  – значение добычи в интервале от значения величины ожидаемой добычи до ее максимального значения;

$m$  – общее количество реализаций значений добычи;

$n$  – количество реализаций значений добычи в интервале от ее минимального значения до значения величины ожидаемой добычи;

$p$  – вероятность получения добычи в определенном интервале.

Предложенная модель позволяет прогнозировать величину суточной, а также месячной добычи угля на любой шахте с учетом влияния внутренних и внешних факторов риска. Также позволяет определить максимальную потерю добычи. Учитывая, что добыча является одним из основных показателей работы угольного предприятия и на ее основе рассчитываются основные финансовые показатели, в том числе и валовая прибыль, модель представляет основу для прогнозирования многих других показателей с учетом фактора риска.

## Литература

1. Гойзман Э. И. Прогноз технико-экономических показателей на угледобывающих предприятиях/ Э.И. Гойзман, Т.Л. Кормщикова, Л.Ф. Куркина – М.: Недра, 1989. – 126 с.
2. Мізіна О.В. [Прогнозування техніко-економічних параметрів на основі застосування бета-розподілу](#)/ О.В.Мізіна// Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер.: економічна. – Донецьк: ДонНТУ. – 2004. –Вип. 87. – С.125-134.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятности и математическая статистика: Учебное пособие для студентов ВУЗов.– М.: Высшая школа, 1998. – 479 с.
4. Мартьякова Е.В. Хозяйственные риски: оценка, и прогнозирование: Монография. / Е.В. Мартьякова, И.В.Кочура – Донецк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2008. – 220 с.
5. Шапкин А.С. Теория риска и моделирование рисков ситуаций /А.С. Шапкин, В.А. Шапкин - М.: Издательско - торговая корпорация «Дашков и Ко», 2009. - 880с.

**И.И. КЛОЧКО И.И, Р.А. ТРОИЦКАЯ**

*Донецкий национальный технический университет, Украины*

## ПУТИ ВЫХОДА УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ДОНБАССА ИЗ КРИЗИСНОГО СОСТОЯНИЯ (НА ПРИМЕРЕ «ШАХТА «СЕВЕРНАЯ»)

Сложившаяся ситуация в угольной отрасли ДНР характеризуется нестабильностью, что предопределило снижение показателей добычи. Анализ факторов, характеризующих нестабильность, представлена на рис.1.



**Рис. 1. Анализ нестабильности угольной промышленности Донбасса**

Исходя из приведенного выше анализа можно сказать, что экономический кризис спровоцировал спад спроса и нестабильность в оплате поставок. Боевые действия и крупные аварии также приводят к остановке предприятий и снижению объемов добычи. Из всех вышеперечисленных факторов, только отсутствие инвестирования отрасли можно отнести к таким, которым можно управлять экономическими методами. Инвестирование отрасли можно осуществлять как за счет внешних, так и внутренних ресурсов.

Для построения грамотной финансовой стратегии предприятия необходимо выявить факторы, влияющие на себестоимость угля, т.к. понижение себестоимости является важным фактором развития экономики предприятия.

Для горной промышленности принята следующая группировка по элементам затрат: 1. Вспомогательные материалы; 2. Топливо; 3. Электроэнергия; 4. Услуги промышленного характера; 5. Затраты на оплату труда; 6. Административные затраты; 7. Амортизация основных фондов; 8. Прочие денежные расходы.

Первые четыре элемента составляют материальные затраты.

На примере «шахта «Северная» ГП «Макеевуголь» проанализируем затраты по элементам.

Таблица 1 Затраты по элементам на шахте «Северная»

Наименование показателя	Ед.изм.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	Ср. знач.
Материальные затраты	тыс.руб.	120345,0	190307,5	184527,5	100689,0	132921,6
Затраты на оплату труда	тыс.руб.	129040,0	181170,0	142515,0	70004,0	130682,3
Амортизационные отчисления	тыс.руб.	15412,5	26650,0	17590,0	8054,0	16926,6
Адм.затраты	тыс.руб.	29092,5	35952,5	27095,0	21437,0	28394,3
Прочие затраты	тыс.руб.	36490,0	35762,5	23910,0	12280,0	27110,6

Проанализировав структуру себестоимости видно, что наибольшее влияние оказывают 2 элемента: материальные затраты (40%) и затраты на оплату труда (39%). К числу факторов, оказывающих влияние на уровень материальных затрат относятся: изменение объема добычи угля, экономное расходование топлива, электроэнергии; улучшение использования и своевременное списание непригодного оборудования.

Значительный удельный вес в полной себестоимости занимает и заработная плата. Отсутствие современного оборудования значительно снижает продуктивность труда и повышает использование трудового ресурса в процессе добычи угля.

Еще одной важной особенностью угольных шахт является то, что они, даже при условии эффективной деятельности предприятия не могут обеспечивать простое воспроизводство основных фондов на основе амортизационных отчислений. Их доля в полной себестоимости за последние 20 лет постоянно снижается с 28,6% в 1990 г. до 10,9% в 2004 г. и 7,68% в 2009 г. Также добыча угольной продукции осуществляется с более глубоких горизонтов, в худших горно-геологических условиях, что приводит к росту материальных затрат и затрат на оплату труда, а также требует дополнительных капитальных вложений в основные фонды.

Известно, что снижение себестоимости продукции позволяет улучшить финансовое состояние предприятия. Для решения этого вопроса необходимо разработать мероприятия, обеспечивающие систематическое снижение себестоимости.

В данной работе для снижения себестоимости мы предлагаем произвести техническое переоснащение очистного и подготовительно-забойного оборудования новым оборудованием. Вследствие чего повысятся все технико-экономические показатели работы предприятия.

Для получения полной картины целесообразности привлечения инвестиций, рассмотрим также колебание и прогноз цен на мировом рынке угля (FOB Австралия).

В 2008 г. цена на уголь резко увеличилась из-за затопления угольных разработок в Австралии и финансового кризиса, и составила около 175 \$/т. В 2011 г. цена на уголь так же выросла до 335 \$/т, когда тропические ливни залили шахты в Австралии и Индонезии. После чего, цены и по сей день последовательно снижались.

В 2016 г. коксующийся уголь подорожал более, чем в два раза, до 185 \$/т. На это повлияло сокращение ряда шахт и программа ограничения рабочих дней на угольных шахт с 336 до 276 в Китае. Однако компенсировали его дефицит увеличением импорта. Повышенный спрос на уголь в КНР привел к стремительному росту цен.

Если цены окажутся в прогнозируемых рамках, они могут оказать положительное влияние на кредитное качество отечественных угольных предприятий.

Возвращаясь к приведенному в данной работе анализу нестабильности в угольной промышленности Донбасса можно отметить, что некоторые факторы нестабильности в горнодобывающей промышленности мы можем смягчить или полностью исключить.

Мы выяснили, что на фоне текущей ситуации в мире «шахта «Северная» ГП «Макеевуголь» может выйти на достойный, более прибыльный, уровень.

Добываемые шахтой коксующиеся угли марки ОС имеют устойчивый рынок сбыта, и по прогнозам, спрос сохранится в ближайшем будущем. Благодаря физико-механическим свойствам угля марки ОС относится к особо ценным маркам.

Для успешной и устойчивой работы ОП «Шахта «Северная» в условиях рыночной экономики разработан план по приведению предприятия на безубыточную работу.

Для обеспечения высокопроизводительной работы необходимо оборудовать лаву новым выемочным комбайном УКД200-250, конвейером СП251, смонтировать в ней механизированную крепь 1КД90, которая является конкурентоспособной на мировом рынке (высокая надежность и ресурс, обеспечиваемые применением прочных материалов, подтвержденные опытом эксплуатации в разных горно-геологических условиях).

Общая стоимость необходимых инвестиций на оборудование для технического переоснащения 2-й западной бремсберговой лавы пласта m<sub>3</sub> составляет 41 883 000 руб.

Следующим актуальным вопросом для угольных предприятий является сбыт своей продукции. На данном этапе уголь продается преимущественно по прямым договорам между угледобывающим предприятием и потребителями, а также через оператора оптового рынка.



Положительную роль в торговле углем сыграет реализация организованных торгов на биржевых площадках.

Выведение угля на биржу имеет массу преимуществ: установление справедливой цены, так как цена приблизится к среднемировым, которые обычно выше; расширение рынков сбыта без ограничений в географии; упрощение всех этапов торгово-закупочной деятельности за счет автоматизации; оптимизация трудозатрат и временных затрат; исключение возможности коррупции и мошенничества при заключении сделок купли-продажи; снижение издержек на производстве.

В данной работе для снижения себестоимости и дальнейшей прибыльной работы угольных предприятий предлагается выполнить следующий комплекс мероприятий:

- привлечение инвестиций;
- техническое перевооружение;
- выведение угольной продукции на биржу.

Современное состояние угольной промышленности Донбасса имеет кризисный характер, это обусловлено многими вышеперечисленными факторами. Однако в последнее время начинает складываться благоприятный инвестиционный климат, связанный с ситуацией на мировом рынке угля. Одним из важных путей выхода из кризиса является привлечение инвестиций на техническое перевооружение ОП «шахта «Северная» ГП «Макеевуголь», так же для реализации продукции мы рекомендуем использование электронной товарной биржи. Основные показатели эффективности проекта составляют: NPV = 2093,5 тыс. руб., DPP = 2,9 лет, PI = 1,01.

## ***ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ***

**ALEXEY V. ALEKSEENKO**

*Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia*

### **GEOCHEMICAL CONSEQUENCES OF MARL MINING AND CEMENT PRODUCTION IN NOVOROSIYSK CITY (SOUTHERN RUSSIA)**

**Abstract.** The article deals with assessing the environmental impact of marl mining and cement production in Novorossiysk city (Krasnodar krai, Russia). The existing methods of studying the environmental effects caused by the cement industry have been reviewed. Soil sampling has been carried out and the gross concentration of metals in the samples has been defined. The research has been conducted in the certified and accredited laboratory using emission spectral analysis. The external control has been carried out via X-ray fluorescence analysis. Based on the collected data, main chemical pollutants in soil cover and water area near the cement plant have been identified. The contaminants released by urban enterprises and motor vehicle emissions, as well as fugitive dust from dumps and the cement factory, lead to multi-element litho-geochemical anomaly at geochemical barriers in soils. Accumulation of pollutants in soil depends on the type of land use and the area relief. According to this information, the technical proposals can be prepared for environmental safety management in strongly polluted city areas, as well as for the reclamation design in the areas currently experiencing the negative impact of cement production.

**Introduction.** Novorossiysk city is located in the foothills of the North-West Caucasus on the Black Sea coast. The Novorossiysk industrial agglomeration consists of the city over 300,000 people, the eldest Russian cement factory “Novoroscement”, the largest regional Novorossiysk seaport, as well as other enterprises and transport infrastructure objects. The cement factory was put into commission in 1882, and is currently producing 4 million tons per year. Open-pit mining of marl deposit in the agglomeration is a source of raw material for Portland cement manufacturing. According to the report “State and Protection of the Environment of the Russian Federation in 2011”, the cement plant is recognized as a major air pollution source in the city.

The research is devoted to monitoring the environmental impact of cement factory, i.e. soil and water pollution. Dust emission is the key environmental pollution driver of a cement industry [1, 5]. An impact of technogenic precipitations on geochemical landscapes is manifested in changing chemical element concentrations in soil [2, 3], plant cover and agricultural lands [4], which can also affect human health in the course of environmental migration [4, 6]. Compared to those of other geochemical landscapes, urban soils experience the strongest technogenic load. In

the studied landscapes, polluting element anomalies are formed and redistributed depending on the geomorphological conditions. The subsequent surface run-off leads to contamination of the water area.

**Materials and methods.** The transeluvial (steep slopes), transaccumulative (low-angle gentle slopes), and trans-superaquatic (overwater slopes) geochemical landscapes are located in different geomorphological conditions in the Novorossiysk agglomeration (figure 1). These landscapes were ranged by the district building types: single-storeyed, 2–5 storeyed and 5–10 storeyed; the other studied areas were industrial enterprise sites (including cement factory, seaports, and railway station) and wastelands.

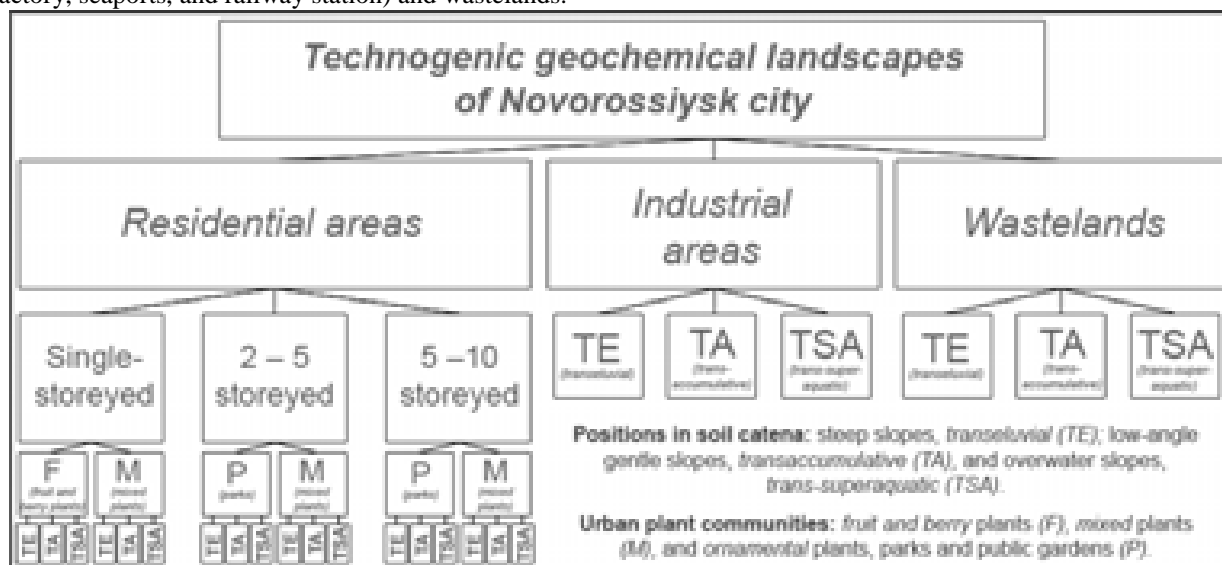


Figure 1. The division scheme of urban geochemical landscapes

Monitoring soil sampling (over 100 samples) was carried out twice, in 2014 and 2015. The samples were taken from the uppermost 10-cm soil horizons with a maximal intensity of geochemical processes in the landscape. All spectral emission analyses of soil samples were carried out in the certified and accredited “Kavkazgeolsyomka” laboratory; and the external X-ray fluorescence control analysis was conducted in the Common Use Centre Laboratory of Mining University.

**Results and discussion.** Soil pollution was assessed separately in geochemical landscapes of residential areas, wastelands, and industrial sites. The joint effect of cement factory emissions, relief features and building height led to certain dispersion in elements’ mean concentrations in soils of landscapes with various geomorphological conditions. The comparison between the *maximal* average concentrations and the *minimal* ones in the *residential area* shows that for 8 out of 22 studied elements the former is more than 1.5 times as much as the latter: *Pb* (4.5 times), *Sr* (1.7), *Ag* (2.2), *Cu* (1.7), *Zn* (2.5), *Ga* (1.5), *Sn* (1.6), and *Yb* (1.5). In soils of *wasteland* landscapes, under different morphological conditions, the excess of maximal average contents over minimal ones by more than 150 % was recorded for four elements only: *Zn* (1.7 times), *Pb*, *Co*, and *Ag* (1.6). We note that the maximal average contents of these elements in soils of *wastelands* are significantly lower than those in soils of *residential areas*. The distribution of the majority of chemical elements’ average contents is more uniform in soils of *industrial areas*, including the main pollution source – the cement factory. The largest exceed of maximal average contents over minimal ones was recorded for two elements only: *Sn* (2.9 times) and *Pb* (1.7). The maximal average content of these elements in soils of *industrial areas* is higher than that in soils of *wastelands*, but lower than in *residential areas*.

Thus, *residential areas* mostly tend to be affected by the technogenic impact, resulting in the intensive soil pollution. The *maximal* for the entire city *average polluting element contents* were established in these areas. The greatest number of *unevenly distributed average element contents* was recorded in soils of *residential areas* under the influence of geomorphological and anthropogenic factors in combination. The concentrations of *Ag*, *Sn*, and *Mn* are maximal in soils of transeluvial landscapes in *residential areas* as compared with the whole considered area. At the same time, the minimal average contents in the uppermost parts of the slopes were defined for 10 elements: *Ag*, *Cu*, *Zn*, *Mo*, *Ti*, *Cr*, *Ga*, *Y*, *Yb*, and *Sc*. There has been a six-fold increase in the number of elements with the maximal mean contents, i.e. the number has changed for 18 (*Cu*, *Zn*, *Pb*, *Mo*, *Ba*, *Co*, *Ni*, *Ti*, *V*, *Cr*, *Ga*, *Li*, *Sr*, *Y*, *Yb*, *Sc*, *Zr*, and *Nb*) in soils of *transaccumulative* and *trans-superaquatic* landscapes of residential areas located below. This pollution is associated with relief characteristics: the average contents in soils of upper slope parts were mainly due to the impact of pollutants precipitating after the sorption by cement industrial emissions.

**Conclusion.** The urban soil pollution under the impact of mining and processing industry is determined by the local factors of chemical element migration and accumulation: geomorphological structures of urban area and types of land use. Monitoring researches in Novorossiysk city revealed that the change of these factors had caused a significant redistribution of chemical elements and their maximal accumulation in soils of residential areas. Pollutants are brought into the soil directly from the source of contamination, as well as due to the migration from landscapes located hypsometrically above.

The pollutant migration factors should be accounted to determine the reasons for the landscapes to be particularly contaminated. The data obtained characterise the ecological and geochemical state of Novorossiysk urban environment, and allow developing the measures for improvement.

**Acknowledgements.** The analyses were performed using the equipment of the Common Use Centre of Saint Petersburg Mining University.

#### References

1. Allué J, Garcés A M, Bech J, Barceló J and Poschenrieder C 2013 Fractionation of chromium in tannery sludge-amended soil and its availability to fenugreek plants *J Soils Sediments* **14** (4) 697–702
2. Bech J, Roca N, Barceló J, Duran P, Tume P and Poschenrieder C 2012 Soil and plant contamination by lead mining in Bellmunt (Western Mediterranean Area) *J Geochem Explor* **113** 94–99
3. Bech J, Tume P, Sokolovska M, Reverter F, Sanchez P, Longan L, et al 2008 Pedogeochemical mapping of Cr, Ni, and Cu in soils of the Barcelona Province (Catalonia, Spain): Relationships with soil physico-chemical characteristics *J Geochem Explor* **96** (2-3) 106–116
4. Pashkevich M A and Petrova T A 2015 The investigation of toxic waste burial polygon impact on the atmospheric air using lichenoidication method (Russia) *Int J Ecol Dev* **30** (3) 98–105
5. van Oss H G and Padovani A C 2002 Cement manufacture and the environment: Part I: Chemistry and technology *J Ind Ecol* **6** (1) 89–105
6. van Oss H G and Padovani A C 2003 Cement manufacture and the Environment: Part II: Environmental challenges and opportunities *J Ind Ecol* **7** (1) 93–126

NINA CHODAKOWSKA

AGH University of Science and Technology in Krakow

## THE RESEARCH INTO LEACHABILITY OF CONTAMINANTS FROM PAPER WASTES

Paper – it might seem, that in XXI century, in which automation is constantly increasing, there is not many of it and the process is not a significant problem. However, we can notice it everywhere: newspapers, leaflets, official documents, receipts or bills. Enormous amount of paper wastes is the result of them. The research into leachability of contaminants is the part of evaluation the influence of wastes on environment. Before the processing it should be analysed in technological, economic and ecological terms.

One of the methodology is the research into leachability of contaminants from water extracts. My research group called Ekospirit carried out that research. The special attention was turned in the analysis on chrome and cadmium, because they are toxic and cancerigenic elements. Generally, the paper shows process, results and colour of paper influence on environment pollution.

Wastepaper – paper or cardboard, which did not obtain quality certificate after production process.

#### The paper recycling process

##### 1. Collection

Paper for recycling has to be collected separately from other materials. It is important that it is kept separate from other waste as contaminated papers are not acceptable for recycling.

##### 2. Pulping

Recovered paper fibres which have already been used, they also have to be sorted and cleaned. For certain paper (e.g. graphic paper and hygienic products) ink has to be removed from the recovered paper, i.e. the fibres have to be de-inked.

As a first step, recovered paper is sorted and graded then delivered to a paper mill. Having reached the paper mill, it is crushed into pulp and large non-fibrous contaminants are removed (for example staples, paper clips, etc.). The fibres are progressively cleaned and the resulting pulp is filtered and screened a number of times to make it suitable for papermaking.

##### 3. De-inking

Before the recovered paper can be used to manufacture certain grades of paper the printing inks have to be removed to increase the whiteness and purity. The recovered paper is first dissolved in water and separated from the non-fibre impurities.

The fibres are then progressively cleaned in order to obtain the pulp and during this stage the ink is removed in a flotation process where air is blown into the solution. The ink adheres to bubbles of air and rises to the surface from where it is separated. After the ink is removed, the fibre may be bleached, usually with hydrogen peroxide.

The inks in its composition may contain: copper compounds, molybdenum, tungsten, chlorine, dioxins and heavy metals - lead, cadmium, mercury and chromium.

Their presence can do damages in the environment that is why their amount is regulated by law. Currently, establishments produce paints and varnishes set for each product safety data sheet preparation which is showing its compliance with the applicable legal standards.

Waste paper has been divided according to the color and type of paper. They separated the following fractions: yellow, red, purple, blue, green and black and thick paper, cardboard and drawing paper. The materials were cut into small pieces. Then the samples were flooded with distilled water in the ratio 1: 2 (one part of waste to two parts of water) and subjected to fiberization. After two weeks of storage water extracts were prepared by manual separation of the eluate and allowed to stand in sealed jars for one week.

To determine the content of individual elements was used the photometer, also the pH was determined. The concentrations of the following metals: chromium, cadmium, zinc and nickel were tested. The results are presented in table (Table 1. Results of measurements). Several values is above the maximum values specified in the Regulation of the Minister of Environment of 18 November 2014. On the conditions to be met during placing waste in water or ground and on substances particularly harmful to the aquatic environment (Dz. U. 2014 pos. 1800).

**Table 1. Results of measurements**

Waste group (color / type)	Element [mg/l]				pH	p
	Chro-	Cadmiu	Zinc	Nickel		
Green	0,051	0,459	<0,500	<0,02		6
Red	0,050	0,237	0,265	<0,02		5
Black	0,059	0,464	0,039	<0,02		6
Purple	0,172	0,553	<0,500	0,029		6
Blue	0,214	0,359	0,014	0,835		6
Yellow	0,016	0,489	0,132	<0,02		6
Thick paper	0,027	0,322	0,025	1,318		5
Drawing paper	0,018	0,297	<0,010	<0,02		5
Cardboard	0,059	0,579	<0,010	0,132		6
<b>Limit value Dz.U. 2014 pos. 1800</b>	0,1	0,4	2	0,5		6

The test results show that in all the samples the pH values are too low. The limit value for cadmium is exceeded for the five samples. Aqueous extracts of the violet and blue paper showed exceeded for three pollutants (chromium, cadmium and nickel). The value of the concentration of nickel is the most exceeded in eluate from thick paper - almost three times the limit value.

Taking into account results obtained in test it is difficult to provide a trend. Noteworthy are samples of blue and purple paper. Inks of these colors contain the largest amount of hazardous ingredients. In summary, the test shows that the amount of the metal varies depending on the type of paper and even its color. These values are not harmful to health, but keep in mind that the more, for example on a wild landfills have a negative impact on the environment.

Tutor: PhD. eng. Waldemar Kępyś

**CHRISTINA DRECHSEL, ROLAND HAUBNER, THOMAS KONEGGER**

*Institute of Chemical Technologies and Analytics, TU Wien, Vienna, Austria*

## **POROUS SILICON (CARBO) NITRIDE LAYER STRUCTURES FOR SEPARATION APPLICATIONS**

### **Abstract**

Layered structures consisting of silicon (carbo)nitride were prepared for a use in separation applications. The focus was set on finding a processing routine for these structures using a dip coating procedure, which becomes possible through utilization of preceramic polymers. Two types of supports were prepared to provide different substrates for the deposition of the following layers, one being a polymer derived ceramic (SiCN) involving the use of sacrificial fillers, the other conventionally prepared via slip casting (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>). The second layer was deposited via dip coating using a combination of preceramic polymer and silicon nitride particulates, forming a composite layer after pyrolysis of the polymer. The final layer, the selective layer, is responsible for the separation and was prepared via dip coating of the preceramic polymer. The resulting structure possesses graded multiscalar porosity, providing sufficient selectivity and permeability in prospective applications such as gas or liquid separation.

The fabrication of layered structures consisting solely of silicon (carbo)nitride was possible on both support types. A continuous crack-free composite layer with a thickness of approximately 30  $\mu\text{m}$  was deposited. Using a masking technique, it was also possible to deposit the selective layer.

### Introduction

Due to their excellent mechanical, thermal and chemical stability, porous non oxide ceramics are interesting materials for use in emerging energy and environmental related fields such as catalysis and separation. Due to the polymeric nature of the precursor, polymer derived ceramics (PDCs) can be prepared using a multitude of processing methods, and thus are flexible in shape. This enables the fabrication of, e.g., ceramic fibers, layered structures, and coatings, which is difficult or even impossible using the powder-based route. There are several ways to influence the porosity of PDCs using for example sacrificial fillers in addition to the porosity evolving during polymer-ceramic-conversion.[1, 2] Layered ceramic structures can be used as asymmetric membranes, which usually consist of a selective layer, responsible for separation, on a macroporous support structure providing mechanical stability. To bridge possible differences in terms of pore size and pore structure as well as varying chemical composition between these two layers, intermediate layers can be used.[3]

The objective of this work was the fabrication of a layered ceramic structure consisting of silicon (carbo)nitride with graded porosity using a dip coating procedure.

### Experimental

**Support structure.** Two types of planar support structures were prepared, serving as substrates for the following layers. Type A supports were prepared using a poly(vinyl)silazane (Durazane 1800, durXtreme GmbH) as polymeric precursor with UHMW-PE spheres as sacrificial filler, yielding amorphous silicon carbonitride.[4] Type B supports were prepared via slip casting and partial sintering of silicon nitride (SN-E10, UBE).

**Intermediate layer.** A combination of the materials of the two support types was used for the intermediate layer. The layer was deposited via dip coating with a slurry containing poly(vinyl)silazane and  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -particulates (1:1.4) in toluene. The polymer serves as binder for the particulates, forming a composite layer after pyrolysis. To provide sufficient slurry stability, a silanization treatment of the powder with 3-aminopropyltrimethoxysilane was necessary. By varying the solvent content, a suitable slurry composition was found, yielding continuous crack free intermediate layers, which were investigated using scanning electron microscopy.

**Selective layer.** Dip coating of a poly(vinyl)silazane solution in toluene/n-hexane was used to deposit the selective layer. Preliminary tests were carried out to find the optimum withdrawal speed. By using a masking technique (following the procedure of Hedlund et al. [5]), a selective layer could be deposited. The masking was done using a polystyrene/toluene solution, leading to the use of n-hexane as solvent for the subsequently deposited selective layer. After drying, the pores of intermediate layer and support are filled with solid polystyrene, providing an apparently dense substrate for the deposition of the selective layer. The polystyrene is burnt out during pyrolysis of the poly(vinyl)silazane.

### Results and Discussion

A layered structure with multiscalar porosity was achieved on both of the support types.

The polymer-derived type A supports have a porosity of approximately 42 % with ink bottle-type pores. The slip cast type B supports differ in porosity (~50 %) as well as in pore structure (uniform) when compared to the Type A supports. Fracture surfaces of both support types are shown in

Figure 6. This led to differences in processing of the intermediate layer. A higher solvent concentration of the slurry was necessary on the Type B supports, most likely due to filtration effects. A solvent content of 91 wt% toluene for the slip cast supports and 80 wt% for the PDC supports yielded a continuous and crack-free composite intermediate layer with approximately 30  $\mu\text{m}$  in thickness (Figure 7). After a masking step using polystyrene, deposition of a thin selective layer was achieved on top of the intermediate layer and the porosity of the underlying layers was preserved (Figure 8).

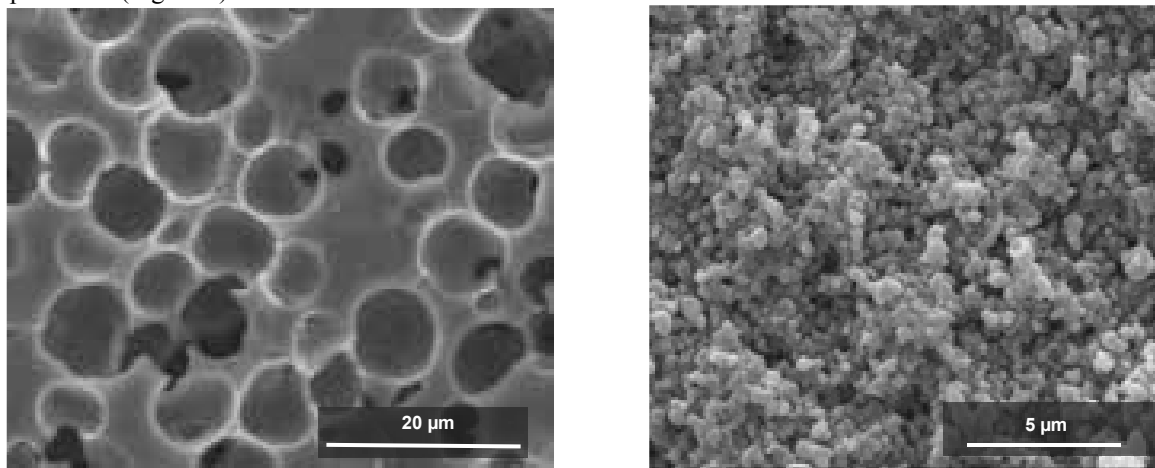
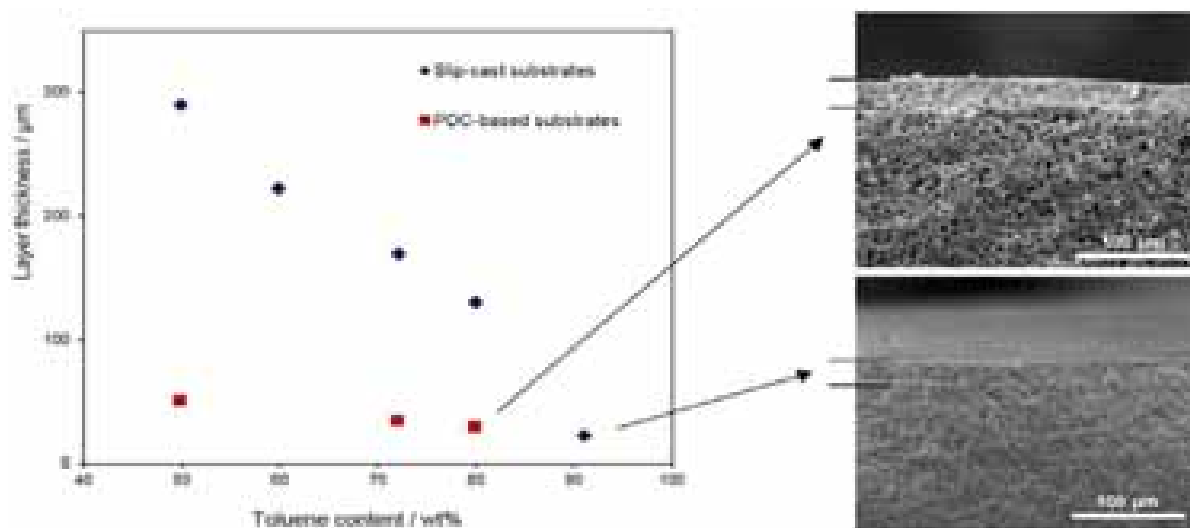
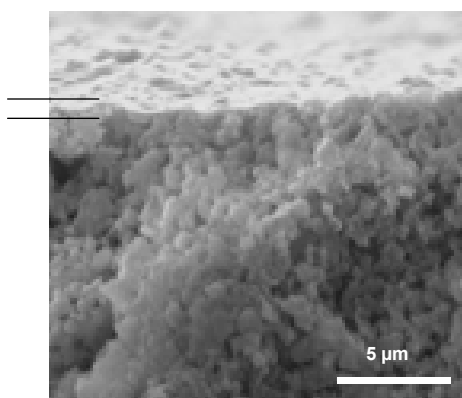


Figure 6: SEM micrographs of fracture surfaces of the PDC supports (left,[6]) and the slip cast supports (right)



**Figure 7: Correlation between solvent concentration and thickness of the intermediate layer (left); SEM micrographs of the intermediate layer on the PDC supports (top) and the slip cast supports (bottom)**



**Figure 8: SEM micrograph of the selective layer on top of the intermediate layer**

### Conclusions

It was shown that it is possible to prepare layered silicon (carbo)nitride structures using a tailored dip coating procedure. A method for the deposition of an intermediate layer as well as a selective layer was developed. Further investigations considering separation characteristics are in preparation.

### References

1. Vakifahmetoglu, C., D. Zeydanli, and P. Colombo, *Porous polymer derived ceramics*. Materials Science and Engineering: R: Reports, 2016. **106**: p. 1-30.
2. Colombo, P., et al., *Polymer-Derived Ceramics: 40 Years of Research and Innovation in Advanced Ceramics*. Journal of the American Ceramic Society, 2010. **93**(7): p. 1805-1837.
3. Verweij, H., Y.S. Lin, and J. Dong, *Microporous Silica and Zeolite Membranes for Hydrogen Purification*. MRS Bulletin, 2006. **31**(10): p. 756-764.
4. Konegger, T., L.F. Williams, and R.K. Bordia, *Planar, Polysilazane-Derived Porous Ceramic Supports for Membrane and Catalysis Applications*. Journal of the American Ceramic Society, 2015. **98**(10): p. 3047-3053.
5. Hedlund, J., et al., *A masking technique for high quality MFI membranes*. Journal of Membrane Science, 2003. **222**(1-2): p. 163-179.
6. Konegger, T., R. Patidar, and R.K. Bordia, *A novel processing approach for free-standing porous non-oxide ceramic supports from polycarbosilane and polysilazane precursors*. Journal of the European Ceramic Society, 2015. **35**(9): p. 2679-2683.

## ABOUT RESULTS OF THE TESTS NANODEMULSIFIER “IKHLAS”-1 FOR TREATMENT WASTE WATER FROM HYDROCARBONS IN THE CONDITIONS PRIMARY PREPARATION OF OIL

Separation of oil-water emulsion as a whole is a major problem in oil production and refining processes. The authors conducted targeted laboratory and field studies on clean waste water from hydrocarbons in the conditions primary preparation of oil on the oil field "ZhetybayMunayGaz" of the Republic of Kazakhstan. Experimental - industrial tests (EIT) have been conducted nanodemulsifier “IKHLAS”-1, which was picked up by results a laboratory tests 42 samples of similar composite compounds. The article also presents the data on the degree of waste water treatment, depending on the specific consumption of demulsifier, demulsification temperature, the volume of hard destructible water-oil emulsions, settling time and of pH demulsifier. The results of EIT showed significant advantages of “IKHLAS”-1 in comparison with the base demulsifier “Randem”-2219, since the degree of purification of waste water (no more 50 mg/dm<sup>3</sup>) meets the requirements of technology re-injection to maintain reservoir pressure.

**Keywords:** nanodemulsifier, treatment waste water, primary preparation of oil.

### Introduction

Transition of oil-field to the late stage of development characterized by a significant deterioration of the structure, a continuous increase in the proportion of oil reserves, flooding of crude oil. Thus formed, a stable water-oil (water in oil, or conditionally W/O) inverse, direct (oil in water, or conditionally O/W) and multiple emulsions (water in oil, oil in water, or conditionally W/O/W), which are complicate the processes of preparation of oil and water, leading to the formation of stable intermediate layers in equipments and tanks for preparation oil. Thus, the development of high-efficiency demulsifiers for old fields, is a highly topical issue of modern oilfield chemistry [1, 2]. Besides emulsions O/W and W/O/W are potential sources of pollution environment and the bottom hole zone at re-injection of formation water.

### Experimental part

As objects of study used 42 new compositions of nanodemulsifiers codenamed “IKHLAS”-1 ÷ “IKHLAS”-42, which are protected by a patent [3]. Demulsifiers are composed of various compositions of low-molecular and high-molecular colloidal and non-colloidal non-ionic surface-active agents (surfactants), which possess nano-micellar properties. Experimental part includes the results of laboratory and experiment-industrial tests. Efficiency demulsifiers was assessed by a standard «Bottle Test», taking into account relevant requirements GOST R 51858-2002. As a result of laboratory tests of 42 samples demulsifiers (Ikhlas -1-42) of company "International Oil Services Kz" at the oil field «ZhetybayMunayGaz» of the Republic of Kazakhstan established, that demulsifier Ikhlas -1 shows most effective compared with the base reagent "Randem"-2219 ("Nalco" USA).

In the period 03.11.14-03.12.14 were held experiment-industrial tests (EIT) demulsifier “IKHLAS”-1, which was chosen specifically for the demulsification of emulsions of a water-oil (W/O), as well oil-water (O/W) in conditions of the shop for primary preparation of oil (SPPO) of oil-field "ZhetybayMunayGaz".. The purpose of the EIT - determination of the effectiveness of the emulsion breaker “IKHLAS”-1, which consists in preventing the formation and accumulation of hard destructible water-oil emulsions (HDWOE) in the process tanks (as well in water-tanks); ensuring stable operation of the SPPO for the preparation and timely delivery of planned commercial volumes of oil. On the SPPO has been delivered and used 184 barrels (32 t) demulsifier “IKHLAS”-1. Table 2 presents the results of the EIT. During laboratory and industrial test demulsifier “IKHLAS”-1, also studied the degree of wastewater treatment, depending on: the specific consumption of demulsifier; demulsification temperature; volume of daily consumption HDWOE; time of sludge in the water tank (vertical steel tanks VST №2-5000m<sup>3</sup>); pH demulsifiers (type of waste water using demulsifiers "Randem"-2219 (1) and “IKHLAS”-1 (2) in the conditions primary preparation of oil shown in Figure).



**Figure.**Type of waste water using demulsifiers "Randem"-2219 (1) and “IKHLAS”-1 (2) in the conditions primary preparation of oil at the oil-field "ZhetybayMunayGaz".

## Results and discussion

“IKHLAS”-1 under all difficult conditions EIT, is the first to show the possibilities for simultaneous demulsification of emulsions, water-in-oil (W/O), oil in water (O/W) and multiple (W/O/W). It is known that exist nanostructure for oil-water emulsions, conditioned of the micellar structure of the dispersion medium [1]. Since the interfacial tension interfacial nanodemulsifier - dispersing medium of emulsion (O/W) close to zero, molecular resistance of dispersing medium to surfactant molecules (the main component demulsifiers) are minimal, unlike conventional emulsion breakers, including the base emulsion breaker “Randem”-2219. Internal resistance for ordinary liquids in general is characterized by viscosity. Consequently, additional resistance in liquid manifested during diffusion of molecules of other substances, in this case molecules demulsifiers. In addition, the value of the interfacial tension at the interface nanodemulsifier - dispersion medium also have minimum values. Therefore, nanodemulsifiers are compared with conventional demulsifiers have higher values for the of surface activity. For these reasons, take place simultaneously fracture emulsions W/O, O/W and W/O/W, resulting in a high degree of purification of waste water from oil in the conditions primary preparation of oil. Therefore, results of laboratory tests allow to recommend these compositions for use as:

- IKHLAS-1 under all difficult conditions EIT, the first to show the possibility for simultaneous demulsification emulsions, water-in-oil (w/o) and oil in water (o/w);
- “IKHLAS”-1 showed high effectiveness in preventing the formation and accumulation HDWOE in the technological tanks (as well in water-tanks);
- Successful implementation of the EIT in conditions of adding HDWOE;
- Ensuring stable operation of the SPPO for preparation crude oil and timely delivery of planned commercial oil volumes;
- For the first time by nanodemulsifier was realized cleaning waste water from the oil at this field to the level of Maximum Allowable Concentration (MAC, 50 mg/l) in oil preparation conditions, without the use of special equipment and technology training produced water to maintain reservoir pressure. Nano demulsifier “IKHLAS”-1, in contrast to the analogues, displayed also function of mixture HDWOE with HDWOS (hard destructible of water-oil suspensions). By us a special functional nanostructured demulsifiers (SFND) for dehydration and desalting HDWOE have been developed, for which the interfacial tension reaches zero. For effective SFND their surface activity is much higher than the surface activity of the components of SMAB, including the inorganic nanoparticles.

## CONCLUSION

On base successful results of laboratory and industrial tests it have been concluded that the nanodemulsifier “IKHLAS”-1 compared with the base demulsifier “Randem”-2219, has a significant technological, environmental and economic benefits. For the first time with the use of nanotechnology has achieved a high level of purification of waste water (reservoir water) from hydrocarbons, thermochemical processing HDWOE and inhibition processes of formation of the intermediate layers have been achieved. Therefore, nanodemulsifier “IKHLAS”-1, by an act of commission EIT, has been recommended (with the optimal dose of ~ 160 g/t) for the widespread introduction at the field "ZhetybayMunayGaz" and other similar oil-fields in the conditions primary preparation of oil.

## References

1. Reza Zolfaghari, Ahmadun Fakhru'l-Razi, Luqman C. Abdullah, Said S.E.H. Elnashaie, Alireza Pendashteh. Demulsification techniques of water-in-oil and oil-in-water emulsions in petroleum industry. // Separation and Purification Technology, **170**, №1, 2016, P. 377–407. from <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2016.06.026>
2. Mikel E. Goldblatt, Jean M. Gucciardi, Christopher M. Huban, Stephen R. Vasconcellos, Wen P. Liao. New Polyelectrolyte Emulsion Breaker Improves Oily Wastewater Cleanup at Lower Usage Rates. 2014. from [https://www.gewater.com/kcpguest/documents/Technical%20Papers\\_Cust/Americas/English/tp382.pdf](https://www.gewater.com/kcpguest/documents/Technical%20Papers_Cust/Americas/English/tp382.pdf)
3. Pat.30960 RK. Demulsifier for breaking water-oil and oil-water emulsions. / Nugmanov A.K., Dashdiyeva T.K. publ. 2016. Bull. No. 3.

**GOEL ABHISHEK**

*Postgraduate Research Scholar, Visvesvaraya National Institute of Technology, Nagpur, India*

**N.R. THOTE**

*Department of Mining Engineering, Visvesvaraya National Institute of Technology, Nagpur, India*

## ENVIRONMENTAL IMPACT DUE TO BLAST VIBRATIONS IN INDIAN COAL MINING SECTOR

**Abstract-** Mining operations today are faced with many restrictions on their operations especially in the field of environment. Various past studies indicate that fragmentation accounts for only 20-30 % of the total amount



of explosive energy used and rest of the energy causes ground vibrations, noises, air blast etc. The specific problem associated with ground vibrations represents the human response to them. Blasting vibrations may also cause a significant damage to buildings & various structures. Vibration monitoring has become an integral part of the mining operations and it is very essential to measure these environmental sensitive parameters. In this project blast vibration study is done and it is interpreted for its effects.

### I. Introduction:

Drilling and blasting operations are still an economical & widely method for rock excavation and displacement in mining as well as civil works. The ill effects of blasting, such as ground vibrations, air blast, fly rocks, noises etc. are unavoidable and cannot be completely eliminated but certainly minimize up to permissible level to avoid damage to surrounding environment. Among all the ill effects, ground vibration is major concern for environmentalist. Ground vibration is directly related to the quantity of explosive used and distance between blast face to monitoring point. The adverse impact of ground vibrations can be minimized by proper field controls during all steps of the drilling and blasting operation, providing a well-designed blast plan has been designed. For effective utilization and distribution of the explosive energy loaded into the blast hole, the hole diameter and blast pattern should be designed properly. Other than blast design, the parameters that have the greatest effect on the composition of ground vibration waveform are:

- Geology between the blast site and the monitoring location.
- Accurate timing between blast holes in a detonation sequence

Geological and geotechnical conditions cannot be altered but they are the only factors, it means quantity of explosive can be estimated based on certain empirical formulae proposed by the different researchers to make ground vibrations in a permissible limit.

### II. Literature Review:

Explosive energy produces the following effects:

- Rock shattering and displacement.
- Ground vibration.
- Air vibration

During detonation, some of the energy cannot be utilized in breaking rock and creates vibration in the surrounding rock and air. Generally, both air and ground vibration increase with increasing charge (explosive) mass and reduce with increasing distance.

**Ground vibration-** The movement of any particle can be described in three ways: displacement, velocity & acceleration. It is velocity which is most closely related to the onset of damage, and so it is velocity which is almost always measured, also the velocity can be converted to obtain displacement and acceleration. Each trace has a point where the velocity is maximum (+ve or -ve) & this is known as peak particle velocity (PPV) which has units of mm/s.

**Generation of Blast vibration-** At the time of detonation, the energy liberated by the explosive is transmitted to the rock mass as strain energy in the form of waves. At immediate vicinity of borehole, there is region called Shock Zone. Beyond the shock zone the energy of the waves cause radial cracking of the rock mass & detonation gas enters into these cracks that causes rock displacement, this region is called Transition zone.

There are three different kinds of wave motion for ground vibrations:

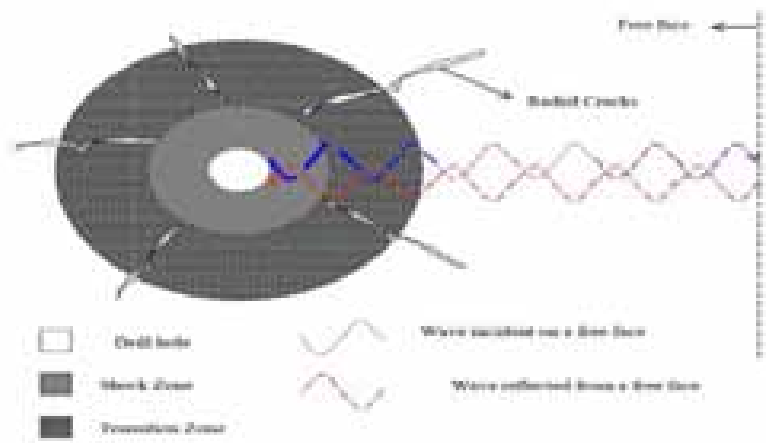
- Compression (P) waves.
- Shear (or S or Secondary) waves

- Rayleigh (R) waves

'P' & 'S' Waves are referred as "body waves" because they travel through the body of rock in three dimension.

'R' wave is a surface wave, which fades rapidly with depth and propagates more slowly than the other two waves.

In general, ground vibration increases with increased explosive mass and reduces with distance.



Representation of the various zones and the Phenomenon of waves reflection

The parameters which controls the wave propagation & ground vibrations, are divided into two groups, "Non-controllable Parameters" and "Controllable parameters".

Site Engineer does not have any control on the non-controllable parameters such as Local geology, Rock characteristics etc. But vibrations can be controls from controllable parameters like Type of explosive, Delay sequence, Explosive confinement, Blast design etc.

It is of utmost importance to minimize the ground vibrations from blasting operations, in order to protect a structure or nearby building.

**Air Overpressure-** Pressure waves released in the atmosphere by the detonation is called air overpressure/noise, it is calculated in dB(A) or Pa. The dB(A) is calculated by following formula,

of 
$$dB = 20 \log \left( \frac{P}{P_o} \right)$$
 ; Where  $P$  is the measured pressure and  $P_o$  is the reference pressure  
0.00002 Pa.

When the frequency of air overpressure is below the hearing range [20Hz to 20kHz], it is referred as ‘air-blast’.

**Prediction of Ground vibration-** A number of studies have been done to study ground vibration from blasting and theories are developed. The energy released is considered to be proportional to the square root of charge.

Peak particle velocity (PPV) is used widely to measure ground vibrations.

Number of predictive equations are available to compute explosive weight per delay to attain a specific level of peak particle velocity. Some of predictors are-

1. USBM predictor
2. Langefors and Kihlstrom predictor (1963)
3. Ambraseys-Hendron predictor (1968)
4. Indian Standard predictor (1973)
5. General predictor (1964)
6. Ghosh-Daemon predictor (1983)
7. CMRI predictor (1993)

### III. Case Study- Blast Vibration Study at Open Cast Coal Mine:

The study was carried out at Jindal Power Open Cast Coal Mine located in Raigarh district of Chahatisgarh, India. A number of blasts were monitored to study various blast parameters and to understand the effect of blast on surrounding environment & structures. PPV and frequency of ground vibrations due to blast at some distance from the blast site were measured with suitable instruments (vibroblast, geophone). The data obtained by monitoring were analyzed using “BLASTWARE” software.

**Damage criteria-** Many organizations including USBM, DGMS, Indian standards etc. proposed their damage criteria based on the permissible PPV & frequency of ground vibrations for various types of structures. The criteria given by DGMS (1997) is followed for the present study to estimate safe charge per delay to limit ground vibrations within limits. As per DGMS (1997), the criteria for permissible PPV and frequency of ground vibrations for various types of structures is presented below in **Table 1 & 2**.

Type of Structure	Dominant Excitation Frequency		
	<8 Hz	8 to 25 Hz	>25 Hz
a) Domestic Houses	10	15	25
b) Industrial Building	15	25	50
c) Sensitive Structure	2	5	10

**Table 1- Damage criteria vis-à-vis Structure belonging to owner**

Type of Structure	Dominant Excitation Frequency		
	<8 Hz	8 to 25 Hz	>25 Hz
a) Domestic Houses	10	15	25
b) Industrial Building	15	25	50

**Table 2- Damage criteria vis-à-vis Structure NOT belonging to owner**

The blast result was assessed in terms of ground vibrations, its frequency, air over Pressure produced.

### IV. Results and Conclusion:

The blast result was assessed in terms of ground vibrations, its frequency, air over pressure produced. The vibrograph was installed at predetermined distances in the range of 100 to 350 m from blast site. The Peak Particle Velocity (PPV) was measured for 13 blasts including the Charge per delay. The amount of ground vibration generated is related to the amount of charge per delay used in the blast hole, it has a critical value at which it gives the optimum output. From the monitoring of ground vibrations from a number of blasts the safe amount of charge per delay is determined.

Distance of the Charge	Safe charge per Delay (kg)
200	75.9
300	170.8
400	303.7
500	474.5

**The safe charge per delay recommended to keep the vibration level below 5mm/sec at various distances from the blast site**

The vibration levels were found to be less than 5mm/sec which is within limits, when the recommended charge per delay is used for the blasting.

**V. References:**

1. ISRM. 1992, Suggested method for blast vibration monitoring. Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr; 29(2):145–6.
2. <http://www.vulcanhammer.net/svinkin/prediction.php>
3. <http://terrock.com.au/vibration/blasting.html>
4. Khandelwal Manoj, Singh T N, 2007, PhD thesis, Evaluation and prediction of blast induced ground vibration and frequency for surface mine- a neural network approach, pp- 1-30
5. Langefors U, Kihlstrom B, Westerberg H., 1958, Ground vibrations in blasting. Water Power, 400p
6. Singh B, PalRoy P., 1993, Parameters influencing mine & ground excavation operation, Blasting in ground excavation & mines, pp- 1-7.
7. Singh B, PalRoy P., 1993, Generation, propagation & prediction of ground vibration from open-cast blasting, Blasting in ground excavation & mines, pp- 21-35.
8. Singh P K, 2006, Standardization of blast vibration damage threshold for the safety of residential structures in mining areas
9. Wiss JF, Linehan PW. 1978, Control of vibration and air noise from surface coal mines—III. Report no. OFR 103 (3)—79, Bureau of Mines, US, p. 623.

**ŁUKASZ GRABOWSKI, MICHAŁ SOBEK, SABINA MACHOCZEK, KAROLINA RZEPIELA**  
Silesian University of Technology, Poland

**THE POSSIBILITY OF USING ALTERNATIVE ENERGY SOURCES IN MOTORSPORT IN THE CONTEXT OF THE FOUNDATION GREENPOWER POLAND.**

The world’s modern automotive industry is facing with the challenge of innovative, alternative sources of energy. Fossil fuels are increasingly quest to replace by ecological fuel, such as hydrogen or the increasingly popular electric energy. Passenger and sport cars use begins to become more and more “electric”. Sale of eco-friendly vehicles is increasing significantly from year to year.

These vehicles, thanks to the constant development of technology, become more and more competitive for still cheaper to buy combustion vehicles.



Fig 1. Car made by W. Ayrton, J. Perry and by Jamais-a Contente

The beginnings of automotive electric are dated in the mid-eighteenth century. Electric cars were provided to competition with steam vehicles. The first electric vehicle powered by a battery were constructed by Frenchman Trouve in 1881. It was a three-wheeled vehicle powered by two Siemens engines. A similar vehicle built a year later, was made by British W. J. Ayrton and Mr Perry. Electricity was supplied with a Plantego lead acid batteries. The range of this vehicle ranged from 16 to 40 km, and could reach a top speed of 14 km/h. The dominance of electric vehicles continued until 1900, until the great flowering of internal combustion engines. But before, the electric vehicles beat speed records and the length of traveled routes records. In 1899, the Frenchman, Camille Jenatzy, crossed the barrier of 100 km/h. His vehicle has an aerodynamic shape and resembled a rocket or a race car. The first decade of the twentieth century was the golden age of electric vehicles. A record year for electric cars was the year 1912, where the US roads rode their 34,000, and this number began to steadily decrease.

In the twenties of the twentieth century, in the United States electric cars accounted for 5% of all cars. In the following years, the vehicles powered by gasoline completely supplanted electric vehicles. The main reason was the lack of achievement of the dizzying speed. The offer of manufacturers of electric cars was addressed to wealthy people living in the city, mainly to women. Electric drive does not require a large physical strength, required during start-up of the crank the internal combustion engine, it was easy to use. It was also generating a low level of noise. In 1913, Cadillac introduced the electric starters, for internal combustion engines, that simplified the process of ignition in internal combustion engines. This innovation and the use of the internal combustion engine radiator contributed to the decline in popularity of electric vehicles. The outbreak of World War II caused the abandonment of work on electric vehicles. However, there was a rapid development of internal combustion engines, which have the opportunity to widespread in the use in military vehicles. Only in 1947 was a turning point in the history of electric vehicles. In the labs of the Bell Telephone Laboratories the first transistor were constructed. The combination of the Henney Motor Company and the National Union Electric Company - Exide battery manufacturer has led to the creation of the first modern electric car technology-based transistor.

Henney Kilowatt produced vehicles in two circuits 36 and 72 volt. Models with 72 volts reached speeds up to 96 km/h and could drive for almost an hour on a single charge. Despite improvements production of these vehicles was very expensive, which led to the interruption of production in 1961.



Fig 2. Henney Kilowatt from 1960

In the years 1958-1961 the production of electric cars does not exceed 100 units per model. The lack of progress in energy storage technologies has caused quite a slowdown in the market for electric vehicles. This period lasted for close to twenty-first century. Then with the help of future cells and electric batteries, ecological trends, reducing greenhouse gas emissions, promoting renewable energy sources, significantly affected the return of electric vehicles. Currently, electric passenger vehicles are able to overcome on a charge of more than 700 km, and their performance exceeds the performance of combustion vehicles. It should be noted, that the family class vehicles, which could archive the 100 km/h in time less than 2.5 seconds, reaching a top speed of 249 km/h (!!!).



Fig 3. Tesla model X and Formula E car

Nowadays we observe a huge, almost logarithmic, development of the amount of electric vehicles flooding the global vehicle market.

While, electric racing vehicles showing the same trend as in relation to combustion vehicles. More and more often, equivalent to the classic racing formula, electric formulas are rising. It is also referring from the case of the lower and top classes. The most prestigious combustion racing cars formula is Formula 1, but it has its counter-

part for electric cars - Formula E. Both classes are equivalent to each other, even racing on the same tracks, with the difference that some are driven by an internal combustion engine (also supported by the motor electric) and the other using only the electric motor. The discipline of vehicles powered by alternative energy sources is gaining from year to year more and more popularity. These events are gaining in popularity as well due to the noise emitted by vehicles - environmentalists have been waging protest against the competition in Formula 1 because of the intensity of sound dangerous to humans, birds and other animals and also because of pollution fumes and nanoparticles harmful to general health. The car with a combustion engine use about 75 liters of fuel per 100 km. The electric motor does not pose such threats. Both of these advantages force races of Formula E to be able to freely organize in cities, where the authorities and the residents do not want noisy polluters F1 cars. But that's not the only reasons for the decision that Formula E will be racing on special tracks, but on the streets of the metropolis. At stake is the future of the automotive industry.

The use of alternative energy sources can not remain unnoticed in the in the field of education. Especially if this is connected to the motor sport! This applies directly to the Foundation Greenpower Poland. The Foundation is part of a worldwide organization Greenpower Education Trust, founded in 1998. The main objective of the organization is widely understood technical education. Beneficiaries are young people between the ages of 8 - 25 years. Through participation in the project, which aim is in the creation of a racing electric vehicle, explores the knowledge of many disciplines. Among other subjects, such as: electronics, electricity, mechanics, construction, strength of materials, aerodynamics, multiscale optimization, computer science, modeling CAD, CAE, FEM, CFD, and many, many more. The culmination of the project is to boot in professional racing vehicles in which drivers could compete against teams from all over the world



Fig 4. Greenpower class electric car

The competition is taking part in four age classes, so they can take part in them students of primary, middle, secondary schools and students. Racing electric cars, and above all - the very process of the design them, is a great field for creative development of young minds. Regulations are providing the racing use the same power source (batteries and engine) in future engineers creativity in the fields of creating improvements in the characteristics of the vehicles they built. The hardest difficulties in the whole project are that there are the limited time of the race.

Vehicles starting in the struggle of Greenpower events are powered by two electric batteries of the same capacity. They provide the energy to brush DC motor with a power of 240W. Design features of vehicles are primarily focused on achieving the maximum lowest power consumption, minimizing the resistance movement and ensuring the safety of the driver.

Polish edition of Greenpower struggle takes place in the first-class racetracks also known from international competitions of combustion race cars.

At the root of the foundation is a lot of lofty ideas. Promoting alternative energy sources is one of them. Promoting ecological lifestyle among young people is a great way to inoculate awareness and opportunities posed by renewable electricity. Ecological races of young students, along with the spread of eco-consciousness give unprecedented opportunities to gain theoretical and practical knowledge of the areas of not only closely related to the mechanics of vehicles, but also from other fields such as physics, mathematics e.t.c.



Fig 5. Greenpower International Finals – Rockingham 2016

Uniform formula of the competition, held in Poland, the UK and around the world It is also very important. Young people can freely compete in races all over the world. Successes in the international arena will undoubtedly result in raising its profile and prestige of racing participants, they will gain a kind of bargaining chip needed to make a positive start of their careers as young engineers.

Owing to the efforts of the Foundation, alternative energy sources are widely spreading for more and more for each year. Every year, the big group of competing teams join the Greenpower family. The ideas of ecological vehicles spread in a very fast pace! Currently, about 600 teams from all over the world, ceompete together, which only illustrates the vast range and meaning of foundation!

#### **Bibliography:**

1. Łukasz Grabowski, Andrzej Baier, Andrzej Buchacz, Michał Majzner, Michał Sobek, Application of CAD/CAE class systems to aerodynamic analysis of electric race cars, Modern technologies in industrial engineering, Institute of Physics Publishing, 2015, s. 1-6, Mamaia, Romania 2015
2. <http://www.test.auto.pl/alternatywy/historia-samochodow-elektrycznych/>

**JOHANNA HANS-MARTIN AMLACHERA, KARIN WALTER WHITMOREB,  
ILLE JOSEF GEBESHUBERA**

*a Institute of Applied Physics, Vienna University of Technology, Vienna, Austria*

*bUniversity Service Center for Transmission Electron Microscopy, Vienna University of Technology,  
Vienna, Austria*

## **PHYTOMINING FOR TUNGSTEN**

### **INTRODUCTION**

The heavy metal tungsten (W) today has an important role in different fields of applications. Its high melting point, the low vapor pressure, the high moduli of compression and elasticity, the electrical and thermal conductivity are reasons for its valuable contribution to industrial and everyday-life applications. Its compounds like WC and WS<sub>2</sub> are also used in nanoscale as high temperature and high pressure lubricant<sup>[1]</sup>. WS<sub>2</sub> and WO<sub>2</sub> are also used for sensors<sup>[2], [3]</sup>. As the tungsten applications are continuously improving, also the consumption of tungsten resources is increasing. In this research work the focus is put on an alternative mining method.

Phytomining offers an environmentally friendly and inexpensive technology to recover valuable technical metals. Certain plants developed different techniques to avoid possible poisoning with pollutants. They have the ability to concentrate elements and compounds from the environment and to metabolize them in their tissue. These properties can be used as a more environmental friendly method for detoxifying soils and waters<sup>[4]</sup> and harvest metals from the burnt plant material. The use of the plant extraction methods of metals to receive metals is called phytomining. It is also possible to directly mine nanoparticles from plant surfaces<sup>[5], [6]</sup>. The advantages of the nanoparticle phytomining process are amongst other things lower costs than the traditional processes and the less harmful environmental effects. The aim of this research work is to investigate the potential of tungsten phytomining and the potential of natural resources for tungsten nanoparticles.

## METHODS

Two important preconditions for tungsten phytomining and productions are:

- \_ Find locations with elevated tungsten concentration in soil and vegetation
- \_ Find a plant species which is capable of hyperaccumulating tungsten and which is easy to harvest

Plants which are growing in abandoned tungsten mines in Queensland and Portugal have been already investigated and also the effects of the waste of tungsten bullets on American military grounds has been of scientific interest [7]. In Austria endemic plants like *Trisetum flavescens*, *Calluna vulgaris*, *Anthemis arvensis*, *Digitalis grandiflora*, *Pinus sylvestris*, *Pinus cembra*, *Pinus mugo*, *Quercus robur* [8], [9], [10], [7] have been studied as possible tungsten accumulators.

At an onsite visit at Mittersill, the Austrian tungsten mining area, an amount of plants and soil have been collected. No elevated tungsten concentration could be found. Another consideration approach was to find plants which use tungsten in their metabolism. A currently ongoing research project [11] is working on the biochemistry of tungsten in the soil-plant-continuum. They investigate tungsten accumulation in leguminous plants especially soy. Molybdenum (Mo) is an essential micro nutrient for the nitrogen balance of leguminous plants. Particularly in the aspect of the chemical similarity of tungsten and molybdenum soy could be a good candidate to start searching for tungsten sedimentations. Various trials of soy plants have been hydroponically cultivated with tungsten concentrations between 0 and 1000mM. Secondary ion mass spectrometry (SIMS) measurements from the cooperating research group already have shown, that soy plants are accumulating tungsten in their roots and shoots.

Special analytical techniques are needed to study the dried

soy plant parts. Energydispersive X-Ray spectroscopy (EDX) is used for the elemental analysis and chemical characterization of the sample plants. Scanning Electron Microscopy (SEM) is used as an imaging method which helps to understand the topography and spatial distribution of the samples. During this research work the FEI Quanta 200 FEG was used for SEM and EDXS. The acceleration voltages of 20kV and 10kV are used. The samples are mounted on aluminum stubs and sputtered with Au-Pd. The peak positions of the characteristic x-ray radiation of tungsten are at 1.774 kV and 8.651 kV. The samples consist of root, stem and leaf parts. In the area between endodermis and pericambium of the roots up to 8 weight percent tungsten with 26.7 percentage error can be found locally. The characteristic EDX spectrum is shown in Figure 1.

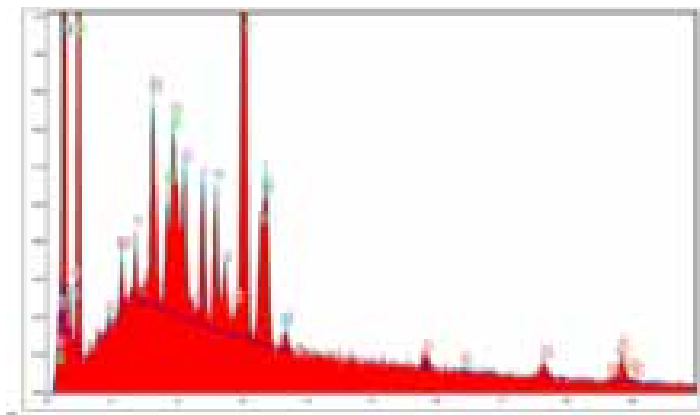


Figure 9: EDX spectrum of soy root

## RESUME AND FUTURE PERSPECTIVES

This research work was a first attempt to find tungsten nanostructures in plants. It was possible to localize tungsten in soy plant parts, but these results are just the beginning of new scientific questioning. More measurements with soy plants should be performed to improve the results and to learn more about the phytomining process.

Further other measurement techniques like Atomic-Force-Microscopy (AFM) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) should be used to learn more about the tungsten accumulation. FTIR has the advantage that it collects high spectral resolution data over a wide spectral range. With this measuring method we can see if our plants produce minerals with the extracted tungsten. These so called biominerals often form interesting structural features. Biomineralization is a common process in nature like seashell, bones, silicates in algae and diatoms [12]. The most common biominerals are the phosphate and carbonate salts of calcium, but there are already biominerals containing tungsten compounds [13]. Biomineralized tungsten and carbon compounds would be a sustainable achievement.

Further investigations can be also used to better understand the phytoextraction process. This knowledge is a great basis for biomimetic approaches like building sustainable heavy metal filters which can be used in polluted areas.

## ACKNOWLEDGEMENT

This research work has benefited greatly from the cooperation with Eva Oburger and Julian Preiner from the Department of Microbial Ecology and Ecosystem Science of University of Vienna and by using the equipment of the USTEM (University Service Center for Transmission Electron Microscopy) of the Vienna University of Technology.

## REFERENCES

[1] Shankar S., Praveenkumar G., and Krishna Kumar P. Experimental study on frictional characteristics of tungsten carbide versus carbon as mechanical seals under dry and eco-friendly lubrications. *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, (Vol. 54):p. 39–45, 2016.

- [2] Chaganti Srinivasa Reddy, Alla Zakk, and Eyal Zussman. Ws2 nanotubes embedded in pmma nanofibers as energy absorptive material. *Journal of Materials Chemistry*, (21), 2011.
- [3] Humberto R. Gutierrez, Nestor Perea-Lopez, Ana Laura Elias, Ayse Berkdemir, Ruitao Lv Bei Wang, Florentino Lopez-Urias, Vincent H. Crespi, Humberto Terrones, and Mauricio Terrones. Extraordinary room-temperature photoluminescence in triangular ws2 monolayers. *NanoLetters*, (13):p. 3447–3454, 2012.
- [4] Karman S.B., Diah S.Z.M., and Gebeshuber I.C. Raw materials synthesis from heavy metal industry effluents with bioremediation and phytomining: A biomimetic resource management approach. *Advances in Materials Science and Engineering*, (Vol.2015):21, 2015.
- [5] Gardea-Torresdey J. L., Parsons J. G., Gomez E., Peralta-Videa J., Troiani H. E., Santiago P., and Jose Yacaman M. Formation and growth of au nanoparticles inside live alfalfa plants. *Nano Letters*, (Vol2, No.4):p. 397–401, 2002.
- [6] Nilesh C. Sharma, Shivendra V. Sahi, Sudip Nath, Jason G. Parsons, Jorge L. Gardea-Torresdey, and Taransankar Pal. Synthesis of plant-mediated gold nanoparticles and catalytic role of biomatrix-embedded nanomaterials. *Environ. Sci. Technol.*, (Vol. 41):p. 5137–5142, 2007.
- [7] Clausen J. L. and Korte N. Environmental fate of tungsten from military use. *Science of the Total Environment*, (407), 2009.
- [8] Pyatt F. B. and Pyatt A. J. The bioaccumulation of tungsten and copper by organisms inhabiting metaliferous areas in north queensland, australia: An evaluation of potential health implications. *Journal of Environmental Health Research*, (Vol. 3 Issue I), 2004.
- [9] Majeti P., Freitas H., and Conde L. Plants growing in abandoned mines of portugal are useful for biogeochemical exploration of arsenic, antimony, tungsten and mine reclamation. *Journal of Geochemical Exploration*, (85):p. 99–107, 2005.
- [10] Pulford I.D. and Watson C. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees a review. *Environment International*, (29), 2003.
- [11] Oburger E. The biogeochemistry of tungsten in the plant-soil environment. FWF project P25942.
- [12] Gebeshuber I.C. biomineralization in marine organisms. *Springer Handbook of Marine Biotechnology*, (Chapter 58, Part XI (Marine biotechnological products in industrial application)):1279–1300, 2015.
- [13] Jung Kyu Kim, Ji ryang Jang, Noori Choi, Dahyun Hong, Chang-Hoon Nam, Pil J. Yoo, Jong Hyeok Park, and Woo-Seok Choe. Lysozyme-mediated biomineralization of titaniumtungstenoxide hybrid nanoparticles with high photocatalytic activity. *ChemComm*, (50), 2014.

**LAURA HENKEL, M. SC.,**

*Research Institute of Post-Mining, TH Georg Agricola University Bochum, Germany*

## **EVALUATION OF DENSITY STRATIFICATION IN FLOODED SHAFTS OF THE RUHR COAL BASIN**

### **Summary**

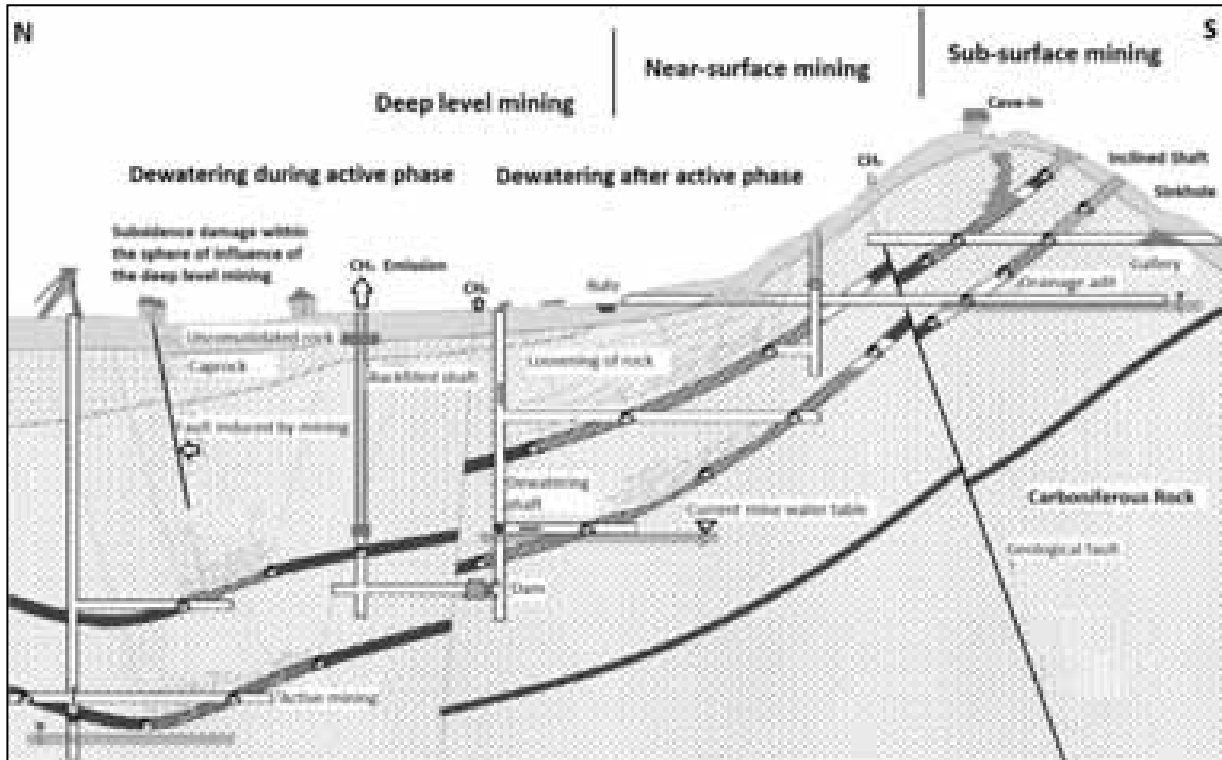
Pronounced distinctions have been observed between the different mineralised water bodies found at various localities in the flooded mine shafts of the Ruhr coalfield. The influx of highly mineralised water from the surrounding strata and mine workings and the percolation of low-mineralised surface water have resulted in density differences in the shaft water bodies. The formation of stable layering of this kind has been verified by depth-based geophysical measurements in combination with hydrochemical investigations on levelled water samples. Stable conditions are the result of convection currents that have developed due to the inflow of higher-tempered or mineralised mine water. The observed density stratification is therefore to be regarded as the result of a complex flow pattern that is determined by the temperature and mineralisation level of the water in the shafts. Density layers are also found in mine water bodies in other mining regions. However, there is also evidence of a lack of convective cells. Density stratification is an important criterion in the flooding of underground workings after mining operations have ceased. Understanding the development of the chemical composition and possible density layering of rising mine water in disused collieries plays a key role in any environmental impact assessment process.

### **Introduction**

In recent decades, the mining industry in Europe has been characterised by a very high rate of mine closure. One of the affected branches is the underground hard coal mining industry. By the end of 2018, the last remaining active coal mines in Germany's largest hard coal mining area, the Ruhr industrial region, will be closed (Figure 1). With a maximum population density of 2,800 people per km<sup>2</sup>, the Ruhr district is the largest urban agglomeration in Germany and one of the most densely populated coal mining areas worldwide. Early coal mining activities date back to the twelfth century. Since then, a total of about 10 billion tonnes of coal has been produced. The extensive mining process has reached a maximum depth of 1,500 m below the surface and has caused maximum subsidence ranging up to 25 m. It is necessary to sustain the existing drainage system to prevent built-up areas from being flooded or



impacted by mine water. Hence, water management measures will continue in perpetuity after coal mining has ceased. After mine closure the water management has to be adjusted in order to minimize costs for the pumping activities and minimize risks for the densely populated surface areas. This study investigates the hydrochemical and hydraulic behaviour of the mine water contributing to an optimized longterm water management in the Ruhr coalfield.

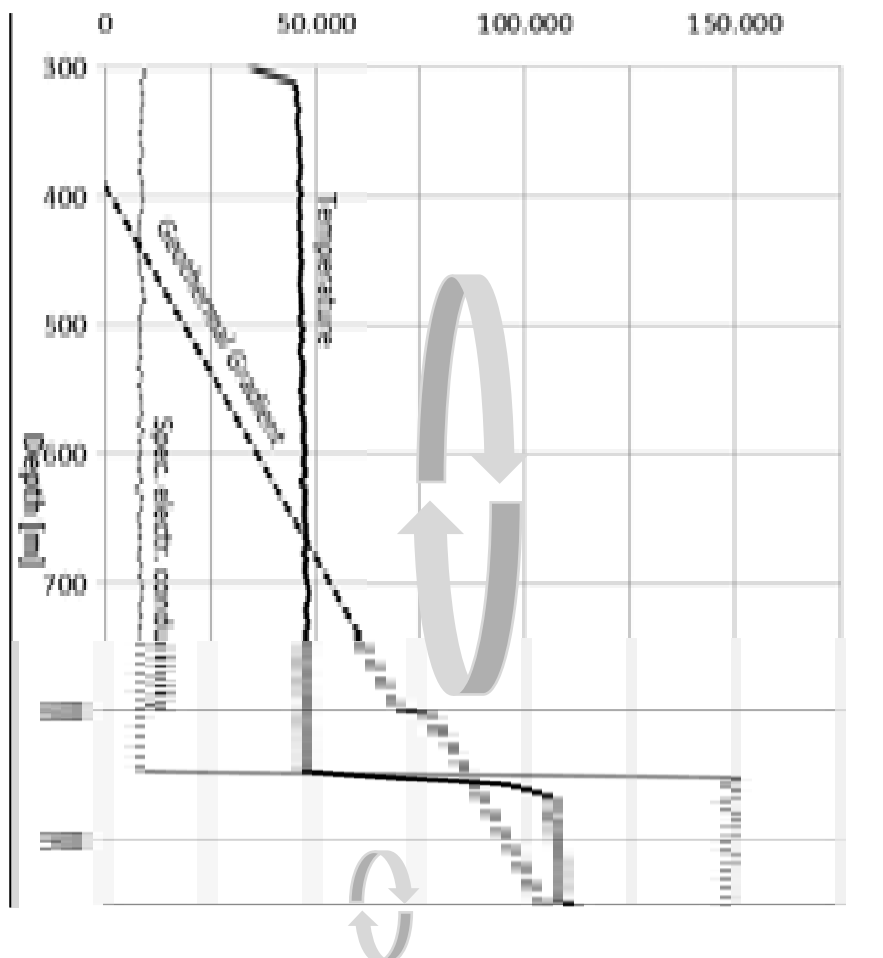


**Figure 1:** Schematic section through the Ruhr coalfield (after KAISER, 2002)

**Stratification in water-filled shafts and boreholes**

Countless shafts and boreholes create connections between the land surface and zones deep below ground. These shafts will fill with water to varying degrees, according to their position. Depending on the geology and tectonics of the surrounding rock, shafts and boreholes create pathways for heat and material flows between the groundwater reservoir, other geological strata and the atmosphere.

Density stratifications in the mine water columns have been identified at various sites in the Ruhr coalfield. These are characterised by significant changes in conductivity, temperature and mineralisation and as a result separate off various homogenous bodies of water. The individual bodies typically have constant levels of temperature, conductivity, mineralisation and density (Figure 2).



**Figure 2:** Conductivity and temperature log for a flooded shaft

The formation of a density stratification in the Ruhr coalfield has been identified both in shafts that have already been flooded as well as in shafts that are still undergoing this process. It is not related to the actual composition of the water, or therefore to the water type. It is known to exist between hydrogen carbonate and sodium chloride water and also between individual sodium water bodies of different concentration. The depth of the homogeneous water bodies can vary from just a few metres to as much as several hundred metres. However, the boundary layer is usually no more than a few decimetres in depth. According to present knowledge the formation of boundary layers is largely based on water inflow from the surrounding rock and on rock-specific properties. The depth-specific geothermal gradient, which indicates the change in temperature with increasing depth, essentially serves as a driver for a stable stratification. In the Ruhr coalfield the gradient is  $3.7\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  (LEONHARDT, 1983) and is constant over time (Figure 2). In an underground water column this gradient warms up the deeper-lying mine water and causes currents that can develop into convection cells (BERTHOLD, 2009). These prevent the mixing of inflows of a different composition, which leads to the formation of a further convection cell.

In geochemical terms, the mine water generally equates to a mixture of ground water and soil leachate that has been geochemically altered by the various processes taking place in and around the mine workings. As a result, processes such as gas dissolution and release, evaporation and condensation can produce a difference in concentration within the water column. It is therefore quite likely that stratification can occur in the water columns under the premise of hydraulic routing both in the basement rock and in the overburden.

Density stratification causes a natural demarcation to be formed that is unrelated to the lithology and geology of the deposits and strata. Because of the sharply defined convection cells stratification can be crucial for the protection of the near-surface, fresh groundwater and drinking-water horizons. However, further investigations are needed in this area, not only to provide a more complete understanding of the formation conditions but also to acquire data on the spatial and temporal formation of the process.

#### References

1. BERTHOLD, S. (2009): Geophysical evidence of free convection in groundwater measurement points and boreholes. Proceedings of DGFZ e.V., Dissertation, vol. 39, Dresden, 230 p.
2. KAISER, U. (2002): Das Bergbauinformationssystem (BIS) des Landes NRW, Altbergbau kolloquium, VGE Verlag GmbH, Essen, Germany pp. 68-96.
3. LEONHARDT, J. (1983): Strata temperatures of the Ruhr coalfield. In: Das Markscheidewesen, vol. 90, pp. 218-230.

**INGLE MANISH VIJAY**

*Postgraduate Research Scholar, Department of Mining Engineering, VNIT, Nagpur, India*

**THOTE N R.**

*Professor, Department of Mining Engineering, VNIT, Nagpur, India*

**PATIL A P.**

*Professor, Metallurgical and Materials Dept, VNIT, Nagpur, India*

## **AN ENVIRONMENTAL IMPACT ON ROCK BOLT SUPPORT IN UNDERGROUND MINES VIS-À-VIS CORROSION EFFECT**

**Abstract-** The effect of corrosion on the performance on the rock support and reinforcement in underground coal mines is not widely researched. The paper aims at increasing the strength and life expectancy of the Roof Bolt (rock reinforcement) of underground mines by investigating the corrosion effect caused by environmental conditions on the reinforcement system. Environmental conditions in underground mines are never homogeneous and are constantly changing with three main environmental influences which are atmosphere, groundwater, and rock mass that affects the installed ground support in terms of corrosion.

### **I. Introduction:-**

The purpose of rock support and reinforcement is to maintain excavations safe and open for their intended lifespan. Failure to achieve this outcome impacts on the safety of personnel and equipment and can also significantly influence the economics of a mining operation. Corrosion is an important factor that needs to be considered in the design and selection of the rock support and reinforcement. The types of support and reinforcement required in a particular location are dependent upon several factors that include the strength of the rock mass, the geometry of the excavation, the stresses present in the rock, the blasting practices, and the weathering and corrosion processes applicable at the site. One of the primary causes of rock bolt failure is rusting or corrosion and this can be counteracted by filling the gap between the bolt and the drill hole wall with grout. While this is not required in temporary support applications, grouting should be considered where the ground-water is likely to induce corrosion or where the bolts are required to perform a 'permanent' support function.



**Fig 1. Rock Fall due to failure of rebar mesh of Saoner Mine No 1**



**Fig 2. Corrosion of rock bolt of Saoner Mine No 1**

### **II. Rock Support and Reinforcement Principles:**

The purpose of rock support and reinforcement is to maintain excavations safe and open for their intended life spans; for mining applications this ranges from months to tens of years. There are a wide range of commercially available support and reinforcement products; however, it is important to clearly distinguish the difference between support and reinforcement. Windsor and Thompson (1993) characterise support as to include all methods which essentially provide surface restraint to the rock mass by installation of structural elements on the excavation boundary. Reinforcement is considered to include methods which modify the interior behaviour of the rock mass by installation of structural elements within the rock mass. The term ground support however, describes both support and reinforcement installed in the rock mass.

Primary ground support is applied during or immediately after excavation to ensure safe working conditions. It may provide part, or may form the whole, of the ground support regime. Any additional support or reinforcement applied at a later stage is termed secondary. Support or reinforcement may also be classified as being either active or passive. Active ground support imposes a predetermined load to the rock surface generally through the

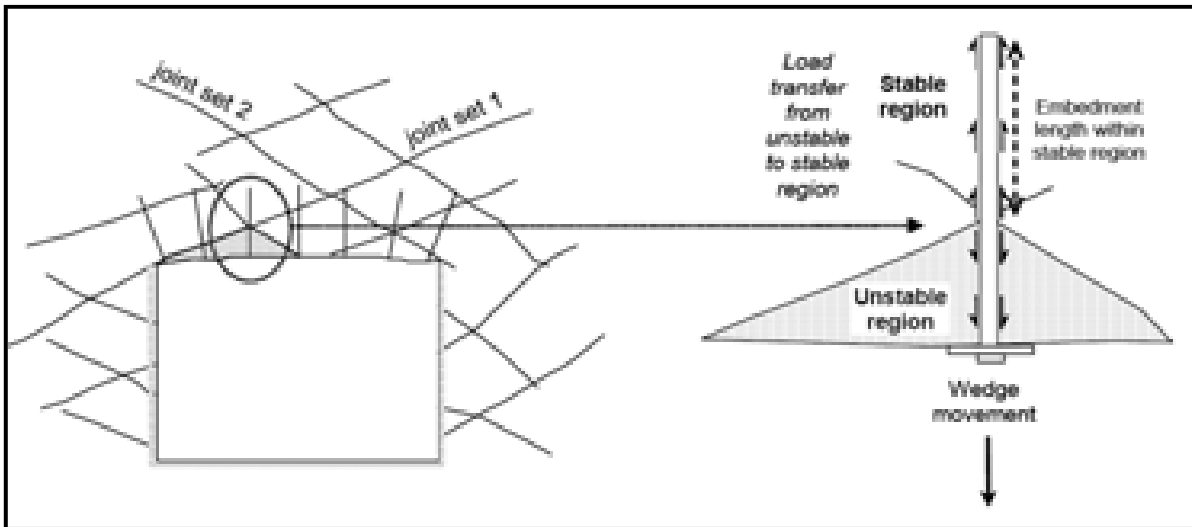
form of tensioned reinforcement. Passive ground support is not installed with an applied loading, but develops its loads as the rock mass deforms (Brady & Brown 1993).

Support methods work by providing a reactive force at the excavation face and respond to inward movement of the surrounding rock. The more complex behaviour of a reinforcing system is explained through the load transfer concept. The concept shown schematically in Figure 3 can be used to understand the stabilising action of all the

reinforcing devices and their effect on excavation stability. The concept can be explained by three individual components (Windsor & Thompson 1993):-

1. Rock movement at the excavation boundary, which causes load transfer from the unstable rock, wedge or slab to the reinforcing element.
2. Transfer of load via the reinforcing element from the unstable surface region to a stable interior region within the rock mass.
3. Transfer of the reinforcing element load to the rock mass in the stable zone.

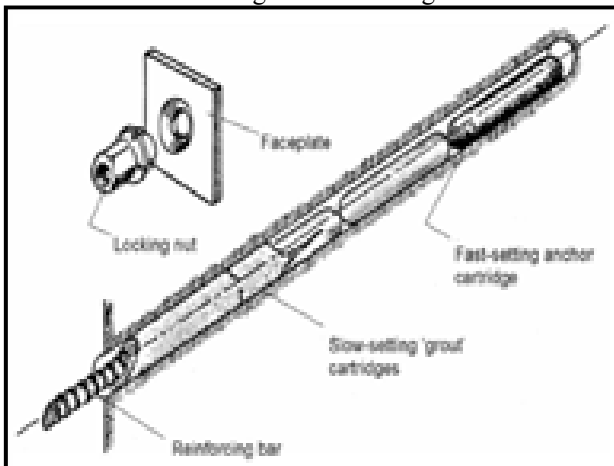
A supported rock block may fall due to failure of any of the three separate components of load transfer due to insufficient steel capacity (rupture of the reinforcing element) or inadequate load transfer (slippage). The critical embedment length is the minimum length of reinforcement that is needed to mobilise the full capacity or strength of the bolt.



**Fig 3. Load Transfer and embedment length concept (Villaescusa & Wright 1997).**

**Resin anchored Rock Bolt** Mechanically anchored rockbolts have a tendency to work loose when subjected to vibrations due to nearby blasting or when anchored in weak rock. A typical resin product is made up of two component cartridges containing a resin and a catalyst in separate compartments. This type of anchor will work in most rocks, including the weak shale and mudstones in which expansion shell anchors are not suitable. For 'permanent' applications, consideration should be given to the use of fully resin-grouted rock bolts.

This type of anchor will work in most rocks, including the weak shale and mudstones in which expansion shell anchors are not suitable. For 'permanent' applications, consideration should be given to the use of fully resin-grouted rock bolts. In these applications, a number of slow-setting resin cartridges are inserted into the drill hole behind the fast-setting anchor cartridges.



**Fig 4. Resin anchored rock bolt setup**



**Fig 5. Corroded Roof Bolt sample of Saoner Mine No 1**

### III. Case Study- Experimental Study of Corrosion of Rock Bolt of Underground Coal Mine.

A detailed investigation is being carried out on WCL (Western Coalfield Limited) Saoner Mine No. 1. This mine is located in Saoner, a town in Nagpur district located 36 km from Nagpur main city. Reported an annual production capacity of 3.24 lakh ton. The mining activity is carried out by Bord and Pillar method. The Resin anchored rock bolt is the principal support system in this mine with load bearing capacity of 8 t to 10 t.

The mine belongs to Kamathi series formation which is highly water bearing strata.

#### III Investigation on Corrosion Effect on Roof Bolt.

Study of corrosion effect of Roof Bolt was done at Saoner Coal Mine. Weight loss trial method was carried out on number of rebar rock bolt samples using 3% NaCl solution and Mine water solutions for different time duration. The corrosion rate was calculated in mils per year using weight loss method. The required equation is given below.

$$\text{Corrosion rate} = 534 \times W / (DAT) \quad \dots\dots(1)$$

where, W = Weight Loss in mg. D = Density of metal.

A = Area in sq.inch. and T = Time in Hours

The samples were collected from the mine and tested in a metallurgy department of VNIT. The Results depicted in table 1 and 2.

**Table No 1. Weight loss data of different samples in both NaCl and Mine water solutions**

<u>Sample No</u> <u>(Rebar samples)</u>	<u>Test Solution</u>	<u>Initial Weight</u>	<u>Final Weight</u>	<u>Loss in Weight</u>	<u>pH</u>	
		<u>gm</u>	<u>gm</u>	<u>gm</u>	<u>Before</u>	<u>After</u>
1	3% NaCl	185.6514	183.9931	1.6583	6.64	5.6
	Mine Water	185.0145	183.3953	1.6192	7.12	7.37
2	3% NaCl	179.9046	178.794	1.1106	6.64	7.44
	Mine Water	178.4248	177.0756	1.3528	7.12	7.89

**Table No 2. Configurations of rebar samples used for weight loss method**

<u>Sample No</u>	<u>Test Solution</u>	<u>Dimension (mm)</u>		<u>Total Surface Area</u>	<u>Duration</u>	
		<u>Length</u>	<u>Diameter</u>	<u>inch<sup>2</sup></u>	<u>Days</u>	<u>Hours</u>
1	3% NaCl	75	20	8.277	45	1080
	Mine Water	75	20	8.277	45	1080
2	3% NaCl	72	20	7.888	90	2160
	Mine Water	72	20	7.888	90	2160

#### IV. Results and Conclusion:-

The following table gives the loss in weight of the rebar samples monitored under both NaCl solution and Mine water solutions.

**Table No 3. Weight loss and Corrosion rate of the monitored sample**

<u>Sample No</u>	<u>Test Solution</u>	<u>Loss in Weight</u>	<u>Total Surface Area</u>	<u>Duration</u>		<u>Corrosion Rate</u>
		<u>gm</u>	<u>inch<sup>2</sup></u>	<u>Days</u>	<u>Hours</u>	<u>mpy</u>
1	3% NaCl	1.6583	8.277	45	1080	13.045
	Mine Water	1.6192	8.277	45	1080	12.738

2	3% NaCl	1.1106	7.888	90	2160	4.584
	Mine Water	1.3528	7.7911	90	2160	5.584

The improved understanding of environmental conditions in underground hard rock mines led to the delineation of two separate environments; namely, atmospheric and groundwater affected. Uniform corrosion rates have been established for a range of atmospheric and groundwater affected environments with atmospheric corrosion rates being found to be much less than groundwater affected. Atmospheric corrosion is controlled by the relative humidity of the atmosphere. It has been found that the load bearing capacity of bolt is decreased due to corrosion effect. As this being a watery mine, rate of corrosion was significantly higher.

#### V. References

1. Hutchinson, D.J. and Diederichs, M.S. 1996. Cablebolting in underground mines. Vancouver: Bitech
2. Aziz, N, (2002). A new technique to determine the load transfer capacity of resin anchored bolts
3. Kilic A M, 1999. The effects of grout properties to the bolt capacity
4. ASTM G1-90 1999, 'Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Tests Specimens'. ASTM International.
5. Bardel, E 2004, *Corrosion and Protection*, Springer, London.
6. Bieniawski, ZT 1989, *Engineering Rock Mass Classifications*, Wiley, New York.
7. Jones, DA 1996, *Principles and Prevention of Corrosion*, Prentice-Hall, Upper Saddle Rive, USA.
8. Aziz, N 2004, 'Bolt surface profiles - an important parameter in load transfer capacity appraisal', *Ground Support in Mining and Underground Construction*, eds. E Villaescusa & Y Potvin, Balkema, Perth, pp. 221-30.

**IVANOV YANKO VASILEV, KISYOV ATANAS IVANOV,  
TZANKOV CHRISTIAN VESELINOV, NIKOLOV SPAS PAVLOV**  
*University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia, Bulgaria*

## **APPLICATION OF ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY FOR INVESTIGATION OF LANDSLIDES**

### **Abstract**

*Landslides are a common natural hazard, often leading to disastrous situations. In the majority of cases, sliding processes are not accidental, which allows their monitoring and control. Conducted surveys demonstrate the effectiveness of Electrical Resistivity Tomography (ERT) for establishing the geometrical characteristics of landslides needed in the planning of preventive and strengthening activities.*

Landslides are often characterized with the most diverse combination of contrast differently oriented surfaces gradually changing their physical properties. Being a common natural hazard, which affects the stability of large rock or earth masses and create preconditions for their movement down the slope, they often lead to loss of human lives and damage to property and infrastructure, turning into a natural disaster.

### **Methodology**

The main difficulties in the investigation of landslides are associated with the subsurface geology and the hydrological conditions, often the depth and the lateral distribution of the sliding surfaces cannot be established by drilling or geological methods. Geophysics, on the other hand, offers flexible, noninvasive and relatively quick methods to obtain information about the internal structure of the rock and earth masses. The strong dependence of resistivity on moisture content favors the use of the electrical methods, while the high resolutions of the derived models make the Electrical Resistivity Tomography (ERT) the method of choice for investigation of landslides [1, 2, 3, 4]. The field set-up requires the deployment of an array of regularly spaced electrodes connected to a central control unit via multi-core cables. Resistivity data set is collected via combinations of systematical changes of the location of the four active electrodes (two current and two potential). The depth of investigation depends on the electrode spacing and the geometry of the used array. Incremental increase of the electrode spacing allows for successively deeper sub-surface levels to be investigated. The underlying resistivity distribution is computed by means of inverse modeling and used to produce a resistivity cross-section [5].

### Area of Investigation

Tectonically represented by the Strandzha anticlinorium the area between Cape Sozopol and the mouth of Rezovska River, flowing into the Black Sea in the Bulgaria's most southeasterly point, is 96 km long and formed by Upper Cretaceous volcanites. Landslides are typically small and relatively shallow but widespread in the whole region as a result of deluvial-proluvial covers sliding on clays or basic rocks (volcanic rocks and tuffs), or calcareous sandstones sliding on clays within the zone of Miocene sediments. Their activation (Fig. 1) usually occurs in waterlogging condition during the prolonged winter and spring rainfall (500 - 1000 mm) which reduce the internal soil strength and increase the downslope forces [5].



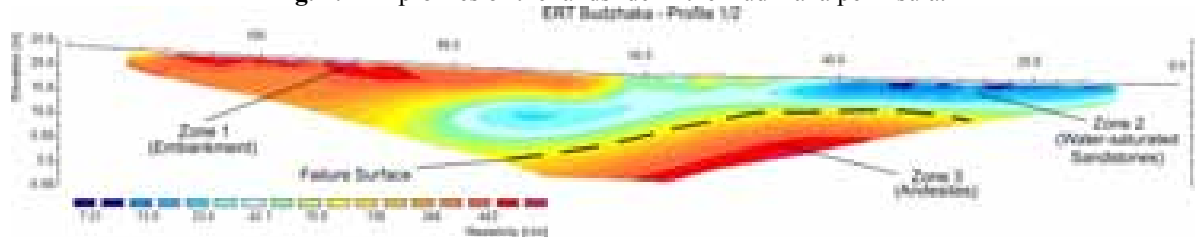
**Fig. 1.** Orthophoto mosaic of the landslide above the Alepu beach.

### Results

ERT surveys, conducted in the Budzhaka peninsula (Fig. 2) and the nature reserve Alepu (Fig. 5), cover the two typical types of landslides in the investigated area with the purpose of creating models of their internal structure and the interfaces with the bedrocks.

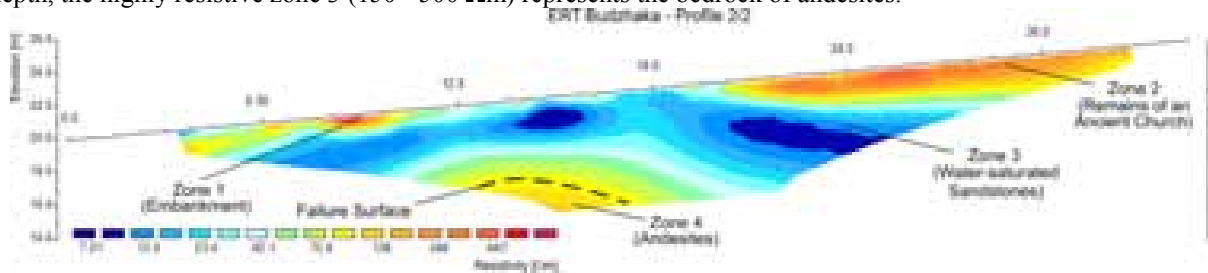


**Fig. 2.** ERT profiles of the landslide in the Budzhaka peninsula.



**Fig. 3.** Geoelectrical model of Profile 1, parallel to the coastline.

Near the surface (Fig. 3), the resistive zone 1 (150 - 480  $\Omega\text{m}$ ) is a result of embankment, while the body of the landslide composed from water saturated sandstones is outlined by the conductive zone 2 (10 - 50  $\Omega\text{m}$ ). In depth, the highly resistive zone 3 (150 - 500  $\Omega\text{m}$ ) represents the bedrock of andesites.



**Fig. 4.** Geoelectrical model of Profile 2, following the slope of the coastal cliff.

Near the surface (Fig. 4), the resistive zone 1 (150 - 480  $\Omega\text{m}$ ) is a result of embankment. The resistive zone 2 (150 to 350  $\Omega\text{m}$ ) corresponds to the remains of an ancient church visible on the surface. Below the first two zones lies the body of the landslide as the conductive zone 3 (10 - 50  $\Omega\text{m}$ ) and the localized highly water saturated sub-zones (7-10  $\Omega\text{m}$ ). In depth, the highly resistive zone 4 (150 - 500  $\Omega\text{m}$ ) represents the bedrock of andesites.



**Fig. 5.** ERT profile of the landslide in the nature reserve Alepu.



**Fig. 6.** Geoelectrical model of the profile, parallel to the coastline

Near the surface (Fig. 6), the resistive zone 1 (over 50  $\Omega\text{m}$ ) is gravel cover applied next to the asphalt road. The landslide process is practically stimulated by the highly conductive zone 2 (2 - 10  $\Omega\text{m}$ ) sliding over the bedrock of clays defining the resistive zone 3 (over 50  $\Omega\text{m}$ ).

### Conclusion

Driven by the influence of gravity, landslides usually do not happen accidentally unless enhanced by increased water content in the sediments along with other factors, which allows their monitoring and control. The conducted surveys demonstrate the effectiveness of ERT for reconstruction of the geometry of the landslide body, delineation of the possible failure surfaces and characterization of the water saturated zones whose increased pore pressure could weaken the slope and trigger the movement. Derived geoelectrical models shed a light on the internal structure of the landslides and help to understanding their mechanical behavior needed in the planning of strengthening activities for prevention of potential health and economic risk.

*Geophysical surveys were supported by Field Camp program of SEG Foundation and TGS.*

### References:

1. Griffiths, D.H, R.D. Barker, Two Dimensional Resistivity Imaging and Modeling in areas of Complex Geology, Journal of Applied Geophysics, 1993



2. Dimovski, S. et al., Application of electrical resistivity techniques for investigation of landslides, Int. Conf. on remote sensing techniques in disaster management, Croatia, 2008
3. Jongmans D., S. Garambois, Geophysical investigation of landslides: a review, Bulletin Société Géologique de France, 2007
4. Telford, W. M., P. Geldart, R. E. Sheriff, Applied Geophysics, 2<sup>nd</sup> Edition, 1990
5. Loke, M. H., R. D. Barker, Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method, Geophysical Prospecting, 1996
6. Добрев, Н., и колектив, Национална програма за превенция и ограничаване на свлачищата на територията на Република България, ерозията и абразията по Дунавското и Черноморското крайбрежие 2010-2015г., МРРБ, 2015

**HANS LESNY**

*TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Germany*

## **TOXICOLOGICAL AND MICROBIOLOGICAL INVESTIGATIONS WITH COORDINATION COMPOUNDS OF SILICON, GERMANIUM, AND TIN**

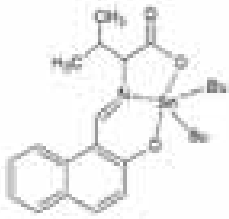
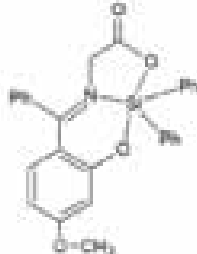
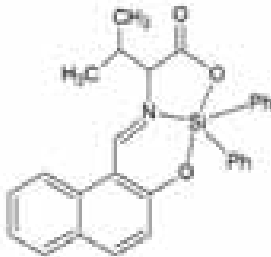
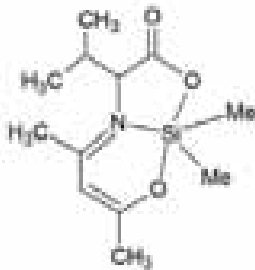
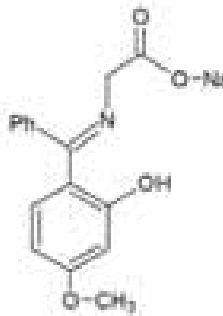
Antibiotic resistance is currently a major problem. For this reason, it is important to find new active substances with antibiotic properties. The focus is increasingly set on metal ions and their complexes.

Various investigations already confirmed the antibacterial effect of metal complexes having Schiff Bases (Chohan et al. 2001; Yousif et al. 2013). Zamudio-Rivera et al. (2005) investigated a tin complex for its antibacterial effect. The studies were carried out with the bacteria *B. subtilis*, *E. coli* and *P. aeruginosa* and showed concentration-dependent inhibitory properties of the complexes. Analyzes by Jain et al. (2004) showed fungicidal, insecticidal and nematocidal properties of silicon and tin compounds as well as a concentration-dependent effect. Some metal-organic tin complexes with Schiff Bases turned out to be more effective than traditional medication in the treatment of cancer cells (Gerasimchuk et al. 2007; Nath et al. 1997).

In this scientific work, complex compounds with Schiff Bases were investigated regarding their microbial properties. No data were available on the hydrolytic stability of the compounds, so this was initially tested by <sup>1</sup>H NMR spectroscopy. A comparison of the proton signals of solutions of the compounds in d<sub>6</sub>-DMSO in the presence and absence of D<sub>2</sub>O provided evidence for a chemical reaction of three complexes as well as a ligand. In contrast, the remaining compounds showed no measurable changes over a time span of 24 hours.

The complexes HL-01, HL-03, HL-05 and HL-07, which were characterized to be sufficiently stable as well as the free ligand HL-L2 (see table 1) were subsequently subjected to two toxicological *in-vitro* standard test methods.

Table 1: Structures of the toxicologically investigated complexes and ligands

sub- stance	structural formula	sum formula	<sup>1)</sup> molar mass	<sup>2)</sup> melting point
01	HL- 	C <sub>24</sub> H <sub>33</sub> NO <sub>3</sub> Sn	502,242	154-158
03	HL- 	C <sub>28</sub> H <sub>23</sub> NO <sub>4</sub> Si	465,581	160-164
05	HL- 	C <sub>28</sub> H <sub>25</sub> NO <sub>3</sub> S i	451,59 8	108-110
07	HL- 	C <sub>12</sub> H <sub>21</sub> NO <sub>3</sub> S i	255,39 0	126-134
L2	HL- 	C <sub>16</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>4</sub> N a	307,28 1	146-150

1) molar mass in g mol<sup>-1</sup>; 2) melting point in °C (Fels 2016)

The inhibition of the bioluminescence of *Aliivibrio fischeri* after 30 minutes exposure was determined in the luminous bacteria test according to EN ISO 11348-2. The test substances used ranged in a concentration from 1.22  $\mu\text{mol L}^{-1}$  to 10  $\text{mmol L}^{-1}$ .

Except the remarkably low  $\text{EC}_{50}$  value of the tin complex HL-01 of about 30  $\mu\text{mol L}^{-1}$  and of the silicon complex HL-05 with 3.7  $\text{mmol L}^{-1}$ , the average effect concentrations of all other tested species appeared with a concentration over 10  $\text{mmol L}^{-1}$ . The toxicity of the organotin compound was about two orders of magnitude higher, also exceeded the effect of the salts  $\text{ZnSO}_4$  and  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , which were used as positive controls.

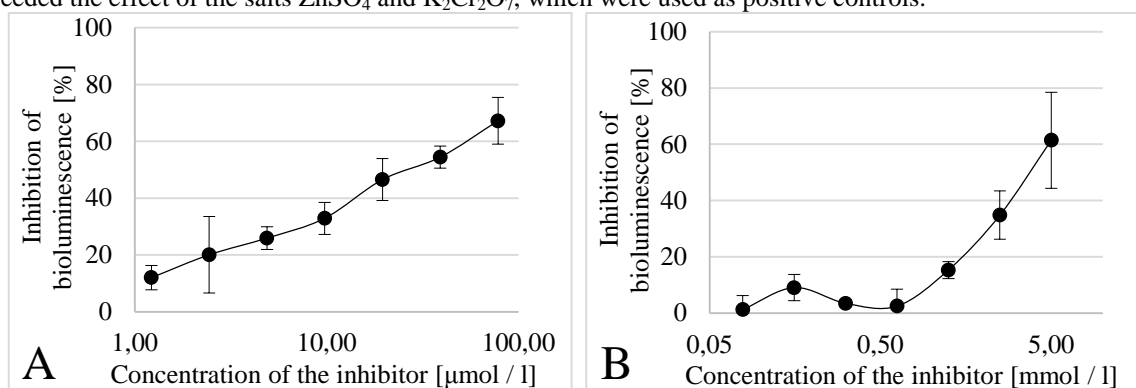


Figure 1: Inhibition behavior of *A. fischeri* in the presence of different concentrations of the substances HL-01 (A) and HL-03 (B)

The effect of the substances was investigated in the 24-hour agar diffusion test for the growth of a bacterial lawn of different prokaryotic and eukaryotic indicator organisms (cf. Table 2). In addition to the positive control of ciprofloxacin, the tin complex HL-01 showed the highest range of activity and inhibited the growth of both a Gram-negative bacteria (*Pseudomonas fluorescens*) and various Gram-positive prokaryotes (*Bacillus subtilis*, *Micrococcus luteus*, *Rhodococcus opacus*). Furthermore, the growth of the eukaryotes *Saccharomyces cerevisiae* was suppressed. When compared, the complexes HL-05 and HL-03 showed a clearly restricted spectrum of activity. Under the test conditions, no biocidal activity of the compounds HL-07 and HL-L2 could be detected. *Rhodococcus opacus* proved to be the most robust indicator organism, which is assumed to be due to the specific structure of the cell wall of this nocardioform Actinomycetes.

Table 2: Antibacterial effect of the complexes and ligands in the agar diffusion test

substance <sup>2)</sup>	zone of inhibition <sup>1)</sup> [mm]				
	<i>B. subtilis</i>	<i>P. fluorescens</i>	<i>R. opacus</i>	<i>M. luteus</i>	<i>S. cerevisiae</i>
HL-01	17 ± 2	11 ± 1	12 ± 1	11 ± 1	16 ± 1
HL-03	14 ± 1	0	0	10 ± 2	13 ± 1
HL-05	13 ± 2	10 ± 1	0	13 ± 1	13 ± 1
HL-07	0	0	0	0	0
HL-L2	0	0	0	0	0
Ciprofloxacin <sup>3)</sup>	49 ± 1	45 ± 0	43 ± 1	41 ± 4	~
Fluconazol <sup>3)</sup>	~	~	~	~	14 ± 1
negative control <sup>4)</sup>	0	0	0	0	0

1) mean value of three tests and standard deviation, including 6 mm hole; 2) 10  $\text{mmol / l}$  in DMSO; 3) 10  $\text{mmol / l}$  in DMSO, positive control; 4) DMSO without test substance; ~ not determined

Chohan, Z. H.; Munawar, A.; Supuran, C. T. (2001): Transition Metal Ion Complexes of Schiff-bases. Synthesis, Characterization and Antibacterial Properties. *Metal-Based Drugs* 8, 137–143.

Fels, S. (2016): Höherkoordinierte Komplexverbindungen des Siliciums, Germaniums und Zinns mit chiralen O,N,O'-Liganden, Dissertation, Technische Universität Bergakademie Freiberg

Gerasimchuk, N.; Maher, T.; Durham, P.; Domasevitch, K. V.; Wilking, J.; Mokhir, A. (2007): Tin(IV) Cyanoximates. Synthesis, Characterization, and Cytotoxicity. *Inorganic Chemistry* 46, 7268–7284

Jain, M.; Gaur, S.; Diwedi, S. C.; Joshi, S. C.; Singh, R. V.; Bansal, A. (2004): Nematicidal, insecticidal, antifertility and antifungal and antibacterial activities of salicylanilide sulphathiazole and its manganese, silicon and tin complexes. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements* 179, 1517–1537.

Nath, M.; Yadav, R.; Gielen, M.; Dalil, H.; Vos, D. de; Eng, G. (1997): Synthesis, characteristic spectral studies and *in vitro* antimicrobial and antitumour activities of organotin(IV) complexes of Schiff bases derived from amino-acids. *Applied Organometallic Chemistry* 11, 727–736.

Yousif, E.; Majeed, A.; Al-Sammarrae, K.; Salih, N.; Salimon, J.; Abdullah, B. (2013): Metal complexes of Schiff base. Preparation, characterization and antibacterial activity. *Arabian Journal of Chemistry*.

Zamudio-Rivera, L. S.; George-Tellez, R.; López-Mendoza, G.; Morales-Pacheco, A.; Flores, E.; Höpfl, H. et al. (2005): Synthesis, characterization, biocide and toxicological activities of di-n-butyl- and diphenyl-tin(IV)-salicyliden-beta-amino alcohol derivatives. *Inorganic chemistry* 44, 5370–5378.

HOLZLECHNER, MATTHIAS<sup>1</sup> REITSCHMIDT, SONJA<sup>1</sup> GRUBER, SABINE<sup>2</sup> ZEILINGER-MIGSICH, SUSANNE<sup>2,3</sup> MARCHETTI-DESCHMANN, MARTINA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Chemical Technologies and Analytics, Technische Universität Wien, Vienna, Austria;

<sup>2</sup> Institute of Microbiology, University of Innsbruck, Innsbruck, Austria;

<sup>3</sup> Institute of Chemical Engineering, Technische Universität Wien, Vienna, Austria

## THE BIOCONTROL FUNGUS TRICHODERMA ATROVIRIDE: VISUALIZING ANTAGONISTIC INTERACTIONS BY MASS SPECTROMETRY

Fungi are globally distributed and numerous occurring microorganisms. Besides their use as producers and agents for pharmaceuticals, enzymes, organic acids and foods, the fungal kingdom plays an essential role in natural ecosystems and comprises pathogenic and parasitic species.

The phytopathogens *Rhizoctonia spp.* account for 80% of plant diseases and demand for sustainable, ecofriendly strategies to prevent crop loss. Several fungal species are specialized in attacking pathogens by impeding their growth or direct killing of the pathogen. Such beneficial microorganisms are already commercialized as biological control agents (BCAs). The fungus *Trichoderma atroviride* is such a BCA. Nevertheless, the processes leading to such a beneficial behavior are complex and not fully understood. Especially sensing of the pathogen and the targeted growth of the BCA towards the pathogen are of interest. The active release of small molecules and enzymes and the subsequent penetration of the pathogen's cell wall and killing of the organism seem to be key events. Highly localized events during the sensing phase and spatial break-down mechanism appear to be important.

MALDI mass spectrometry imaging (MSI) is a powerful tool to visualize molecular distributions on surfaces and in tissue and therefore appears to be a promising method to investigate BCA-pathogen interactions. However, studying such microbial interactions *in vitro* is a difficult task if high sensitivity and accurate determination of a certain growth stages is demanded. Therefore, we developed a robust sample preparation strategy suitable to study *Rhizoctonia solani* - *Trichoderma atroviride* interaction directly from cultivation medium, including miniaturization, quick stopping of metabolism and immediate measurement of the sample in a high-vacuum instrument like a MALDI-TOF/RTOF mass spectrometer.

Mycelia plugs of *T.atroviride* and *R.solani* were inoculated on potatoe-dextrose agar (PDA) covered indium tin oxide (ITO) glass slides and incubated under appropriate conditions. Fungal metabolism was stopped when (a) fungal hyphae nearly reached each other or (b) were physically interacting. MALDI matrix (2,5- Dihydroxybenzoic acid) was applied by sublimation using a home-built sublimation apparatus (TU Wien) and subsequently recrystallized in a water/acetic acid atmosphere at 85 °C. Imaging measurements were performed on an UltrafleXtreme (Bruker Daltonics) and analyte identity was confirmed by MS/MS analyses. Data acquisition and imaging representation were carried out using flexImaging software v3.0 (Bruker Daltonics) and SCiLS Lab software v2015b (SCiLS).

MALDI MSI revealed several distinct local distributions of metabolites for both, non-interacting and interacting hyphae specifically. Localized analytes could clearly be assigned to the interaction partners. Potential representatives of secondary metabolites of these fungi, so-called peptaibols, amino acids with chain lengths of 11, 18 and 20 residues, could be detected together with other metabolites. Latter were predominantly released from *R.solani*. Interestingly, for *T.atroviride* analytes could be visualized already at a very early growth stage, where hyphae were clearly not interacting. We hypothesize that these secondary metabolites which migrated towards *R.solani* play a key role in the sensing phase for *T.atroviride*, which has to be proven in further experiments.

### Acknowledgements

This study was supported by the Austrian Science Fund FWF (grant V139-B20) and the Vienna Science and Technology Fund (grant LS13-086).

## ASSESSING THE LEVEL OF OVER EXPLOITATION OF GROUNDWATER IN HANOI CITY, VIETNAM

### Abstracts

Over-exploitation of groundwater is common in many urban areas and may cause land subsidence and in consequence severe problems for buildings. However, the biggest concern is that water resources will be exhausted in decades or even years and the water supply of the area has to be based on other aquifers or other resources. Hanoi City is a city rich in water resources. However, surface water is being polluted because of industrialization and poor infrastructure. Furthermore groundwater resources are overexploited. As consequence water supply is not sufficient for the whole city especially in summer. In order to help decision makers to supply water for the Hanoi city and ensure sustainable development it is highly recommended to assess the available groundwater reserves and potentials in this area. Therefore groundwater recharge was estimated by selected methods and compared to pumping rates in different area of Hanoi. Based on this, the level of over-pumping was calculated and plotted as map. This map of over-exploited groundwater can help decision makers to develop better strategies for the future.

**Keywords:** Groundwater recharge; exploitable groundwater; water table fluctuation; hydrograph analysis; groundwater exploitation potential coefficient; Hanoi; Vietnam.

KATJA SCHALDACH<sup>1</sup>, VOLKER HERDEGEN<sup>1</sup>, HANS-WERNER SCHRÖDER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>TU Bergakademie Freiberg, Institute of Thermal, Environmental and Natural Products Process Engineering

## NEW STRATEGIES FOR THE MATERIAL UTILIZATION OF AGRICULTURAL BY-PRODUCTS FROM TROPICS EXAMPLIFIED BY BIO-BASED CARBON ADSORBENT MATERIALS

### Background

With the worldwide growing demand on food also a huge amount of agricultural by-products accrues, especially in Asian countries. In Vietnam for example, annually approximately 75 Mio. t of agricultural by-products are produced [1]. The main amount of those by-products are residues from rice processing (rice straw, rice husks)

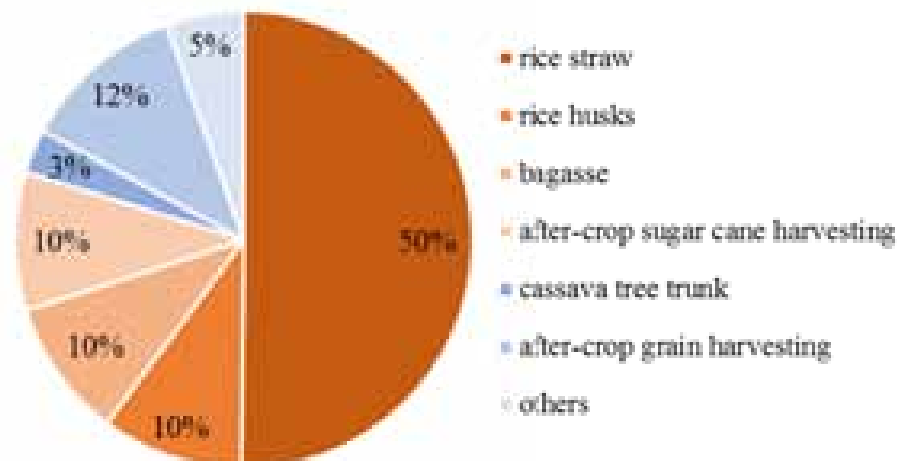


Figure 10. Agricultural by-products in Vietnam (2010) [1]

and sugar cane processing (bagasse) (cf. Figure 10).

These residues are often burned uncontrolled on the fields or in moist state in the sugar refinery. This procedure may cause severe environmental or health problems and does not utilize the material potential of the bio-masses. For the purpose of a value added use, the above mentioned agricultural by-products could be processed to

new, bio-based and sustainable products, such as e.g. adsorbent materials, soil improvers and fiber mats. Thereby, the new products could help to generate new perspectives in water and gas cleaning as well as in a more efficient agriculture by soil improvement and erosion control. This research approach is currently funded by the Ministry of Science and Technologies (Vietnam) and the Federal Ministry of Education and Research (Germany) in a Vietnamese-German cooperation project.

#### Research approaches

As mentioned above one research approach is the use of agricultural by-products for the production of adsorbent materials, which is important due to the growing demand for effective and cheap adsorbent materials to meet the more and more stricter legal regulations.

Depending on the area of application adsorbent materials have to meet several requirements, such as a high mechanical durability, low specific pressure drops in adsorber beds and a high adsorption capacity. For this reason pellets offer a good shape for adsorbent materials ensuring a bulk with good flow conditions because of their specific uniform shape. Therefore, investigations of



Figure 11. Pellets from rice husks



Figure 12. Coked pellets from rice husks

the production of pellets from rice husks, rice straw and wheat straw have been made – as example, pellets from rice husks are shown (cf. Figure 11). To build up a porous carbon structure with a high specific surface area, the biomass pellets are coked in a laboratory retort furnace under varying coking conditions (heating rate, final temperature and dwell time) (cf. Figure 12).

For the characterization of the biomass pellets and the coked pellets, the mechanical durability, the gross, bulk and tap density were determined. The specific surface area of the coked pellets was also measured to quantify their adsorption capacity. Thereby, high mechanical durabilities above 98 % and specific surface areas up to 700 m<sup>2</sup>/g has been reached.

To improve the adsorption capacity even more, a chemical activation of the biomasses was executed. Therefore, the above mentioned biomasses has been mixed with hot solutions of different chemicals (KOH, NaOH, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, ZnCl<sub>2</sub>) under varying conditions. This lead on the one hand to changes in the chemical composition of the used biomasses and on the other hand to an improved specific surface area at selected activation conditions up to values of 1000 m<sup>2</sup>/g.

In the talk results of the examinations of biomass pellets and coked pellets as well as of the chemically activated biomasses will be presented.

#### **References**

- [1] Delegation der Deutschen Wirtschaft in Vietnam (2014): Bioenergie in Vietnam 2014: Zielmarktanalyse - mit Profilen der Marktakteure  
(Delegation of the German Economy in Vietnam (2014): Bioenergy in Vietnam 2014: Target market analysis – with profiles of the market players)

**SHUKLA SAGAR**

*Postgraduate research scholar Visvesvaraya National Institute of Technology, Nagpur, India,*

**THOTE N.R.**

*Department of mining engineering Visvesvaraya National Institute of Technology, Nagpur, India*

## **ASSESSMENT OF AIR QUALITY IN TUNNELS**

**Abstract-** This review of air quality helps us to manage pollution in tunnels. The prime focus of this review is to consider all the pollutants such as carbon monoxide, nitrogen dioxide, etc. which directly or indirectly affect the health of tunnel users. The study is focused on having some standards for the pollutants and comparing with a case detail and determining conclusions which is necessary for tunnel safety by designing efficient tunnel ventilation system and comforts of user. This practice should be continued and wherever possible reinforced it.

### **I. INTRODUCTION**

Underground spaces is considered as not only means to meet certain needs of human society but perhaps a way of contributing towards the meeting of fundamental needs of human society. Tunnel within this context plays an important part in sustainable future as alluded by Bobylev (2006, 2011). This is because, as Guertin (1996, pp3)

states, tunnel “will play an important role in a sustainable future by providing necessary infrastructure while minimizing surface impacts”. According to Leendert (2002, pp 201) a tunnel project has impacts on four types of environment. He distinguishes as natural environment, the man-made environment, humans and society.

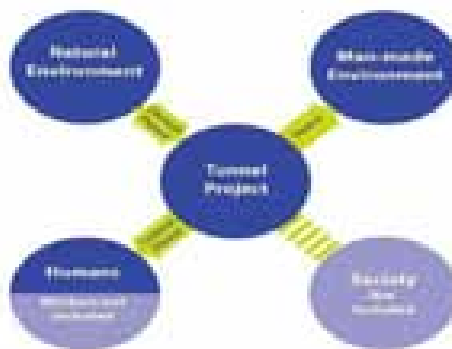


Figure 1- Four types of environment are affected by a tunnel project

The effects of a tunnel project leads to various environmental aspects such as emission (air pollution, smell, pollution of ground water, etc.), living conditions (noise, vibration and dust), habitat (degradation and fragmentation of habitat, etc.).

**II. AIR POLLUTION IN TUNNEL**

Air pollution in the tunnel is the total quantity of pollutant emissions generated by tunnel which is identical to that which is generated by any road. Pollutants emitted within tunnels are discharged at certain specific points such as tunnel portals, extraction vent, etc. thus generating an overconcentration of pollutants in a localized environment. Every tunnel is different, and its effect on health has to be judged accordingly. The concentration of air pollutants that occur within tunnel and consequent emission are highly variable. They depend on factors that determine vehicle emissions (traffic volume, speed, road gradient, fuel quality and tunnel length) and the rate of dilution (governed by the tunnel’s ventilation system and by traffic volume and speed). The pollutants currently governed by law are: Nitrogen dioxide, Sulphur dioxide, Lead, benzene, ozone, Carbon monoxide, particulate matter and heavy metals such as arsenic, cadmium, etc. The criteria for acceptable in-tunnel air quality have been shaped by two factors. Firstly, the evidence of adverse effects on human health from short-duration exposure to traffic-related and secondly air pollutants reduction of visibility in tunnels. The WHO guidelines state that concentrations of CO (see Table 1)[1].

Concentration	Exposed averaging time
100 mg m <sup>-3</sup> (90 ppm)	15 minutes
60 mg m <sup>-3</sup> (50 ppm)	30 minutes

Table 1 World Health organization guidelines for ambient air quality (carbon monoxide)

The WHO has issued guidelines regarding the acceptable levels of key air pollutants based on a synthesis of research from around the globe regarding the known effects of these pollutants on human health. The Guidelines cover a range of air pollutants, including those that are the most relevant to motor vehicles. The WHO guidelines have been widely used as a fundamental reference across the globe and inform the National Environmental Protection Measure (NEPM) for Ambient Air Quality. Table 2 summarizes the ambient air quality goals that would typically relevant to an assessment of a road tunnel project sourced from the Approved Methods.

Pollutant	Standard	Averaging period
NO <sub>2</sub>	246 µg/m <sup>3</sup>	1 hour
	62 µg/m <sup>3</sup>	Annual
PM <sub>10</sub>	50 µg/m <sup>3</sup>	24 hour
	30 µg/m <sup>3</sup>	Annual
SO <sub>2</sub>	712 µg/m <sup>3</sup>	10-minutes
	570 µg/m <sup>3</sup>	1 hour
	228 µg/m <sup>3</sup>	Annual
CO	100 µg /m <sup>3</sup>	15-minute
	30 µg /m <sup>3</sup>	1 hour

Table 2 summarizes the ambient air quality goals for different pollutants  
**III. CASE STUDY OF TUNNEL AIR QUALITY MONITORING**



The New Zealand Transport Agency currently manages Johnstone's Hill twin tunnels northwest of Orewa (opened in 2009). The tunnels are two identical semi-circular uni-directional tubes, approximately 12m wide, 9m high and 380m long. Several parameters are measured for this tunnel but carbon monoxide (CO), particulate matter (PM10), and nitrogen dioxide (NO2) are most important for checking or designing the tunnel ventilation system.

Parameters	Location	Instrument
CO	In tunnel (at 30m in from exit)	Continuous CO analyzer (WSL)
NO2	In tunnel (at 30m in from exit)	Continuous NO2 analyzer (WSL)
PM10	In tunnel (at 30m in from exit)	Continuous beta attenuation monitor (GNS)

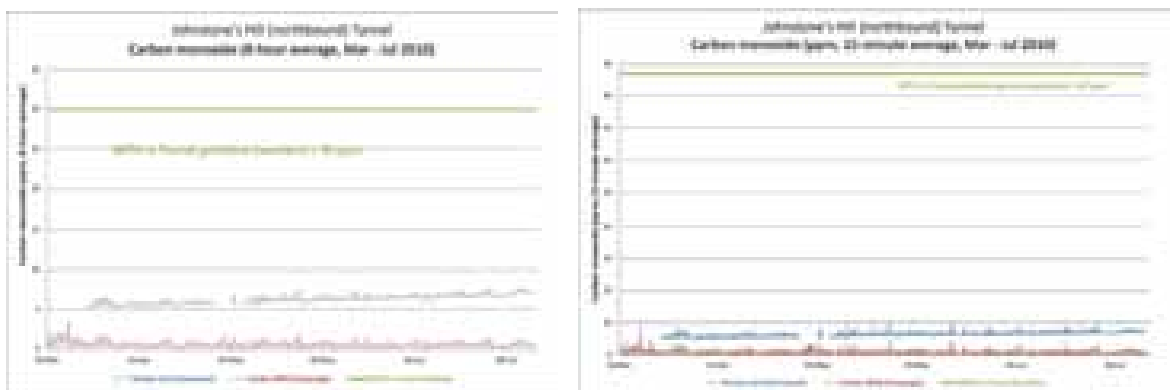
Table 3 shows Parameters measured at Johnstone's Hill Twin Tunnels

**In-tunnel air quality assessment:-**Table 4 shows the interim Transport Agency in tunnel air quality standards for CO and NO2.

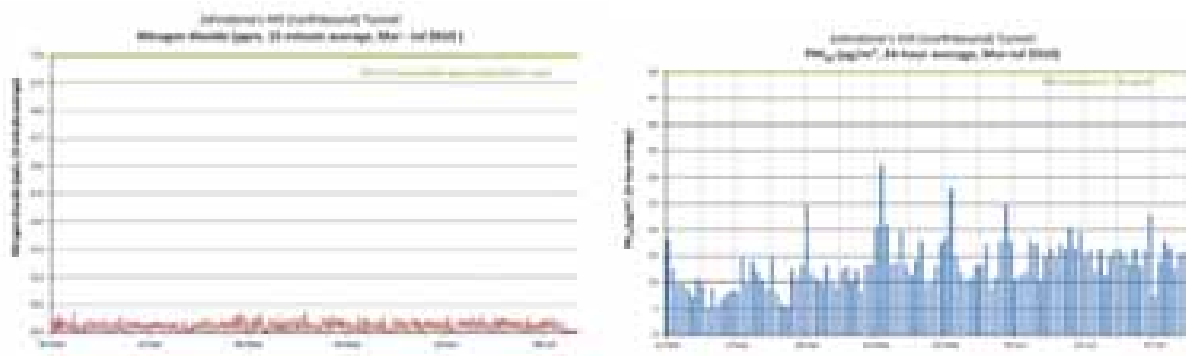
Air pollutant	Limit	Averaging period	Protection	Application
CO	200ppm	15-minute	Workplace	Design and compliance monitoring standard
	30ppm	8 hours	Workplace	
	87ppm	15-minute	General population	
NO2	1.0ppm	15-minute	Workplace and general population	Design standards only

Table 4 shows tunnel air quality standards for CO and NO2

**Discussion on result:**







All recorded levels were well below the relevant Transport Agency interim in tunnel air quality guidelines. Similarly the work was extended many more Indian case studies also.

#### IV. CONCLUSION

There is evidence of the effects of particles or traffic exhaust as a whole, it would be desirable to develop precautionary exposure limits for CO, NO<sub>2</sub> and PM. These limits provide the best means in the near future for protecting tunnel users from the effects of road vehicle emissions. The most effective long-term measure for reducing health risks associated with road tunnels is to adopt vehicles fitted with technologies and fuels that reduce emissions. The most serious risks and the greatest technical management challenges occur in congested conditions. Traffic management plans should be adopted to minimize or eliminate congestion within the tunnel. The public health and air-quality research will be useful in developing an NO<sub>2</sub> exposure limit for tunnel users. Emissions from road tunnels are generally indistinguishable from emissions from road traffic in general. The effects of subsets of PM are expected to be low but should be considered for investigation.

#### V. REFERENCES

- [1] Air quality in and around tunnel Final Report national Health and Medical research council with support from the Australian Government department of Health and Ageing.2008
- [2] Ian Longley, Sally Gray: Stock take of air quality in and around state highway tunnel
- [3] Ian Longley: Criteria for In-Tunnel and Ambient Air Quality
- [4] L.A. van Geldermalsen, A. van Dam-de Groot: Environmental aspects of Tunnels, Identification and quantification of environmental effects. pp 199-202
- [5] Bobylev, N 2011: comparative analysis of environmental impacts of selected underground construction technologies using analytic network process. pp 1030
- [6] Guertin. J.D.1996: Tunneling and underground space for sustainable development. 11(1) 3-4.

**SAKAMORNSNGUAN, KRITDAYA**

*Institute of Mineral Resources Engineering, RWTH Aachen University, Aachen, Germany*

## **AN ASSESSMENT OF MINING IMPACTS ON BIODIVERSITY: A CASE OF POTASH PROJECT IN THAILAND**

During the recent years, the development of new potash mining projects has gained more public attention as the applications for mining leases went through the approval process. There have been concerns about their impacts and movements to oppose these projects. One of the key concerns is related to environmental impacts. Despite the mandatory of environmental impact assessment, the government faces difficulties to compile the information into a comparable and easy-to-communicate form. The objective of this paper is to assess the impacts on biodiversity of one of the potash mining projects. This paper consists of four sections. In the first section, the project information is introduced. Then, the framework for assessing the impacts of a mining project on biodiversity is explained. The results are presented in the third section, followed by a short conclusion in the last section.

### **1. Project information**

The mining project in this study is an underground potash mine in Chaiyaphum province, Northeastern Thailand. According to the documents submitted by the company to the governmental authority during the mining lease application process (ASEAN Potash Mining PLC, 2014a, 2014b), the project is located on a carnallite deposit, which lies at the depth of between 80-300 meters. At the cut-off grade of 10% KCl and 0.5 meters ore thickness, the indicated resource within the mining lease area was estimated at 67.7 million tonnes KCl (potassium chloride) at an average grade of 15.78% and 211.95 million tonnes NaCl (sodium chloride) at an average grade of 43.78%.

The mining lease covers an area of around 3,800 acres, most of which are agricultural area. However, the surface area required for mine access and facilities is approximately 132 acres. An additional area of 1,098 acres is

needed for waste storage facilities. The extraction will take place at the depth between 100 and 300 meters from surface. Two vertical shafts with a diameter of 8 meters will be sunk by rock freezing technique to create the main mine access. Carnallite is to be extracted using a room and pillar method and drilling and blasting techniques. At full production, the annual extraction of carnallite and NaCl should be 7.8 and 3.1 million tonnes, respectively. The production period should last 23 years. Underground void will be backfilled with tailing materials consisting of NaCl and MgCl<sub>2</sub>(magnesium chloride) slurry to prevent ground subsidence.

Run-off mine will be processed by hot crystallization, which should recover more than 90% of KCl. The plant capacity is 1.1 million tonnes of 95% KCl. Together, NaCl and MgCl<sub>2</sub> by-products will be generated at the rate of 3.3 million tonnes and 2.0 million cubic meters annually. Part of the NaCl will be sold; the rest will be stored underground or in the waste storage facilities, which will later be backfilled.

## 2. Framework for assessing mining impacts on biodiversity

The impacts on biodiversity are assessed through a hierarchy of indicators shown in Figure 1. The overall impact level is determined from two main threats, namely, habitat loss and pollution. Each of the components in Figure 1 is rated as low, medium, or high impact level based on the risk assessment concept. The ratings are derived from the likelihood and consequence ratings of identified events, which are determined from sets of related factors and criteria specified in reference with literatures. The definition of the impact ratings in terms of likelihood and consequence is described through a risk matrix in Table 1. Their ratings are aggregated up the hierarchy by summation with weight. The ratings of indicators in the same rank of the hierarchy are weighted equally. An exception is applied to water pollution. The weights of 75% and 25% are assigned to distinguish the difference between certain and possible impacts.

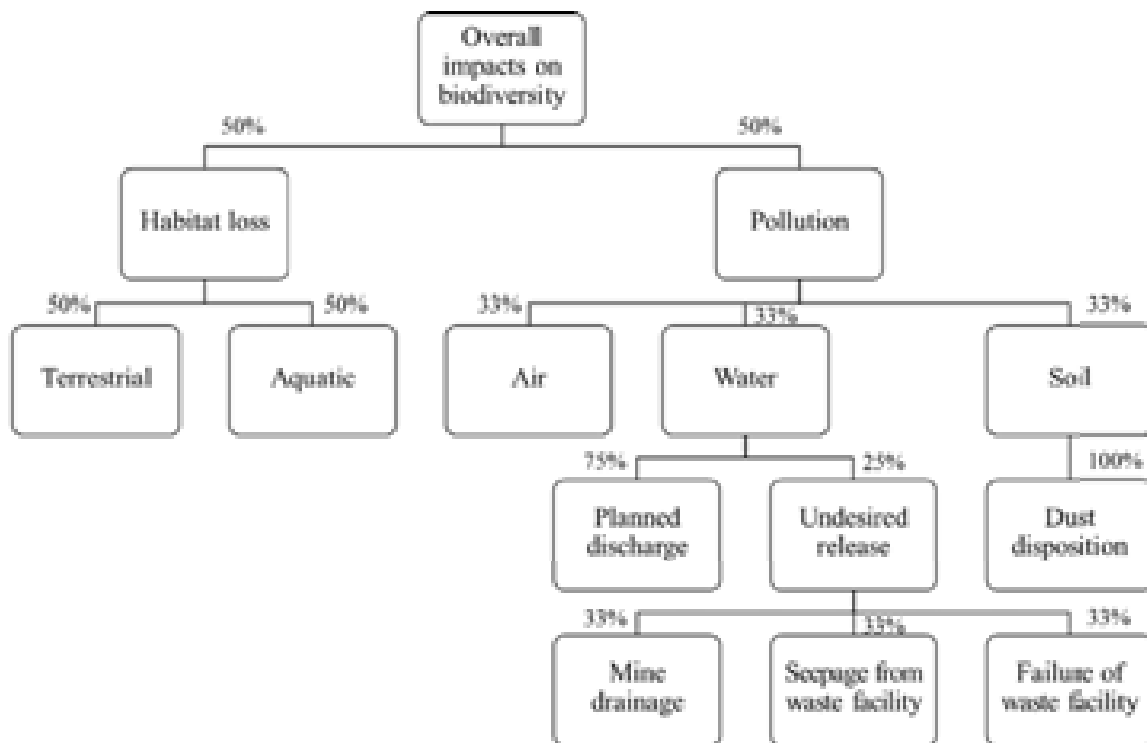


Figure 1. Components and hierarchy for assessing mining impacts on biodiversity.

Table 1. Risk matrix and risk rating criteria.

Likelihood	Consequence		
	Low (tolerable)	Medium (attention required)	High (critical)
Low (less likely to occur)	Low	Low	Medium
Medium (might occur)	Low	Medium	High
High (likely to occur)	Medium	High	High

## 3. Assessment results of the selected potash mining project

The assessment is carried out using the information from the documents company submitted to the governmental authority (ASEAN Potash Mining PLC, 2014a, 2014b) and some statistical data as the main data sources. The results show that the overall impact on biodiversity of the project is classified as moderate. The value is derived from low habitat loss and medium pollution. The details of the assessment results are shown in Table 2.

Table 2. Assessment results of the selected potash mining project.

No.	Components	Rating
1.	Habitat loss	Low
1.1	Terrestrial habitat loss	Medium
1.1.1	Loss of land cover	Medium
1.1.2	Effects of ground subsidence	Low
1.2	Aquatic habitat loss	Irrelevant
1.2.1	Direct removal of water body	Irrelevant
1.2.2	Indirect water disruption	Irrelevant
2.	Pollution	Medium
2.1	Air pollution	Medium
2.2	Water pollution	Low
2.2.1	Planned discharge	Irrelevant
2.2.2	Undesired release	Low
2.2.2.1	Mine drainage	Irrelevant
2.2.2.2	Seepage from waste facility	Medium
2.2.2.3	Failure of waste facility	Low
2.3	Soil pollution	Low
	Overall score	Medium

The assessment results, both the overall score and the details, provide useful information to decision-makers. The overall score can be compared with the assessment result of other projects of the same kind. The details identify the issues that require attentions and priority in terms of management and improvements.

#### 4. Conclusions

In this paper, the impacts of a potash mining project in Thailand are assessed through a hierarchy of components, each of which is rated based on the risk assessment concept. The ratings of the components are aggregated into one overall rating. The overall impact level of the case project is rated as moderate. It results from low impact rating on the topic of habitat loss and medium rating on the topic of pollution. No topic is rated as high impact, which is a good sign. However, attention should be paid to the topics with a moderate rating, including the loss of land cover, air pollution, and seepage from waste facility, as the impacts can be significant. There might be possibility to avoid, prevent, or reduce these kinds of impacts; otherwise, measures to deal with these issues should be identified.

#### References

1. ASEAN Potash Mining PLC (2014a) *Environmental Impact Assessment, Bamnet Narong Potash Project*. Bangkok.
2. ASEAN Potash Mining PLC (2014b) *Underground Mining Plan, Mining Lease Application No. 1/2547, Mining Lease Mark No. 31708, ASEAN Potash Mining PLC*. Bangkok.

**WESTERMANN, SEBASTIAN; DOGAN, TANSEL; REKER, BASTIAN;  
GOERKE-MALLET, PETER; MELCHERS, CHRISTIAN**  
*Research Institute of Post-Mining, Technische Hochschule Georg Agricola Bochum*

## MINE WATERREBOUNDANDITS ENVIRONMENTAL IMPACTS

### Introduction

Germany has a long tradition as a mining country, coal, salt and different ores have been extracted from underground for centuries. Currently an approximate 180 million tonnes of lignite and more than 500 million tonnes mineral raw materials are being produced by surface mining. In 2018 the century-long underground hard coal mining will end in the Federal Republic of Germany by the closure of the last two collieries in North Rhine - Westphalia. However, the responsibility of the mining companies does not end by the completion of the production phase. The companies have a responsibility in the future as well in order to deal with the mine water perpetual and environment-friendly. These tasks are referred to as eternal or perpetual obligations in Germany, which include long-term maintenance of mine water levels in environment-friendly way, the polder measurements for regulation of the near surface groundwater conditions as well as groundwater treatment on former and contaminated colliery sites (e.g. former coking plant sites). The concepts for the solution of these tasks have been worked out for years by the mining companies.

### In which ways can mine water rise?

The process of mine water rebound is described as the rising of the water level in the underground mine workings. It depends on geological and hydrogeological properties of the deposit and its overburden as well as the

changes caused by mining activities. The rebound can result from the reduction or the cessation of the water drainage, which is defined as a passive flooding or self-flooding. The mine water rebound can be also initiated or accelerated by a feeding of water, which is defined as an active or an external flooding. The process of the mine water rebound can be controlled and regulated by the use of pumps, thus slowing down the rebound process through water drainage or setting the maximum height of the mine water level. As soon as there is no pumping or use of permanent drainage adits, the mine water rebound takes place in an uncontrolled way rising up to the original hydraulic level, which predominated before the start of mining activities. For more than 20 years the legal frameworks have not allowed an uncontrolled mine water rebound in the Federal Republic of Germany.

**Why is the mine water being lowered?**

Mines, as for example in the Ruhr-Area, are often connected to each other by a network of underground routes. Mine water drainage provides not only the capability of dry working in the mines themselves, where the raw material is produced, but also protects the mine workings of the active mines from accidental mine water breakthroughs from neighbouring abandoned mines. For this purpose, mines that are hydraulically connected underground are being combined into so called water provinces. At the end of the production process, as the mining ends and the withdrawal from the mine is completed, the removal of the mine water can be reduced or even ceased as long as hydrogeological, mining and ecological circumstances permit this.

**What are the advantages of the mine water rebound?**

The raising of mine water levels that have been kept low before respectively the complete decommissioning of mine water drainage will reduce the costs of energy and necessary effort for technical maintenance, as the actual number of pump works can be reduced by decommissioning or consolidation. By permitting the mine water level to rise, a smaller amount of mine water has to be pumped out of the mine, which leads to a lower strain on the water recipients considering both the amount of water that has to be processed and the mineralisation of this water, thus improving the ecological conditions in the water recipients. As a side effect, stability of the mine workings is improved, diminishing the risk of subsidences.

**Which impacts and risks on the environment are connected to the mine water rebound?**

The rise of mine water levels may lead to some risks for humans, the ecologic system and infrastructure, especially if it takes place in an uncontrolled or even unnoticed way because of the lack of regulation mechanisms respectively measurement points. Highly mineralised water might as a result of hydraulic potential equalization be mixed up with drinking water resources, contaminating these and rendering them useless. In areas of subsidences the diminishing depth to water table may lead to polder areas which can only be regulated by technical measurements. As experienced in many German hard coal mining areas, the rising of mine water levels often leads to uplifts of the surface which under certain circumstances result in damages to buildings. This has for example taken place in the Erkelenz Area. Furthermore, because of the poor solubility of gases in liquids the leakage of gases like methane is being promoted at least during the initial phase of the mine water rebound, which increases the risk of explosions.



Action fields connected to post-mining (clockwise from bottom left): 1.) THGA, 2.) THGA, 3.) Boese & Farenkopf, 4.) Krattsch, 5.) DMF, 6.) Baglikova, 7.) EOLN, 8.) city of Bochum, 9.) GvH, 10.) EPTAS

In an actual study, which is being worked out right now at the Research Institute of Post-Mining, TH Georg Agricola University the scientific knowledge for a sustainable concept on long-term and environmental-friendly mine water maintenance in the hard coal mining areas of North Rhine - Westphalia and Saarland are to be elaborated. In the scope of this evaluation a multitude of actual and already completed water rebound processes has to be considered during a systematic and unified view on the topic. This focuses on the analysis of the process both in space and time as well as the connected impacts and interdependencies to the quantity and quality of the mine water, the process-related surface movements and gas migrations near the surface.

Based on this overall view universal interdependency of the mine water rebound are to be separated from local specialties so that the knowledge found can be transferred to other coal mine districts and upcoming mine water rebound processes. Especially the Ruhr Area, the Saarland coal mine district and the mine Ibbenbuerenshall benefit from this evaluation.

Due to the gained knowledge and deepened comprehension of the process and the potential impact of the mine water rebound, strategies and tasks for long term mine water draining that are sustainable, environment friendly and economic can be established. Recommended methods for an extensive monitoring are harmonized to this.

**KLIMA KINGA MALGORZATA**

*AGH University of Science and Technology in Krakow*

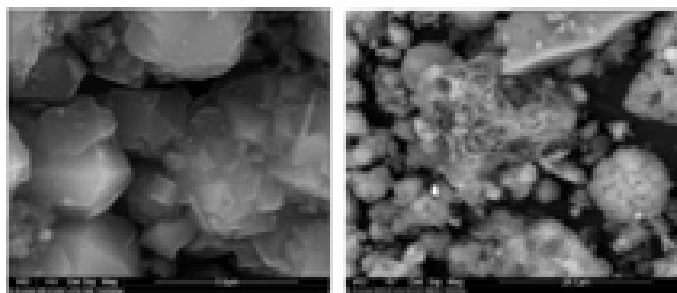
## **COMPARISON OF DIFFERENT TYPES OF ZEOLITES FROM FLY ASH USED FOR PURIFYING FLOWBACK WATER FROM PROVISION OF HYDROCARBON DEPOSITS**

### **1. Introduction**

An aim of this work was to evaluate the efficacy of zeolite application from fly ash in the purification process of flowback fluid obtained after the treatment of hydraulic fracturing in provision of unconventional hydrocarbon deposits. The environmental aspect has an increasingly important role in the widely comprehended industry. One of its branches, including the oil and mining industry, is closely observed in terms of pro-ecology activities. Development of science gives rise to new and more efficient technology, as currently it is important to reduce the so-called ecological footprint. In the light of current situation, the use of fly ash, i.e. substance legally treated as waste, can be used for purification of other waste, which is flowback fluid. Seeking alternative options of recovery and reuse of reaction products or waste is associated with the sequence of studies and experiences aimed to determine the usefulness of method, and in further reasoning, searching for methods to optimize processes and their application on the industrial scale. This optimization can help to solve technical, economic and environmental aspect of hydraulic fracturing treatment.

### **2. Methods and materials**

Studies were conducted on fly ashes differing in original composition and origin. Reactions of zeolite synthesis were conducted using hydrothermal method (HT), in which two zeolite materials were received, signed appropriately Q1 containing zeolite Na-P 1, and Q2 mixture of zeolite A and Na-X. Identification of compounds was carried out with X-ray diffractometry method, and confirmed by microphotography of individual structures (Fig. 1).



*Figure 1. Zeolite structures in the sample of Q1, Q2*

Flowback fluid is the starting material that constitutes fluid from the borehole, which in accordance with the law is classified as the waste liquid. Analysis based on pH measurement and content of individual ions constituted the initial comparative value of contained heavy metals and changes of reaction nature.

### **3. Chemical removal**

Implementation of above assumptions was carried out with constant test portion of 40 g zeolite per liter of flowback fluid. Elemental analysis was brought to identification ions group of their relatively high content in the original sample and meeting criterion of belonging to heavy metals. The influence of time on removal chosen group of ions for four selected temporary steps in 15 min to 120 min was also examined for Q2 sample. Measurement of pH reaction was conducted both for the analysis of sorbent impact on adsorption process, as well as the time for its

efficiency. This parameter has an important role due to the need to restore a slightly alkaline nature of flowback fluid to its reapplication in continued treatment of hydraulic fracturing.

#### 4. Results and discussion

Based on obtained results, it is possible to evaluate the suitability of individual zeolite materials in terms of purifying flowback fluid. An effective adsorbent of iron ions, copper and cadmium turned out to be zeolite mixture of A and Na-X, characterized by a reduced sorption surface. Zeolite Na-P1 has high affinity for ions of manganese, nickel, lead and strontium (not included on the graph of Fig. 2). Acidic nature of flowback fluid effectively was reduced for both zeolite materials.

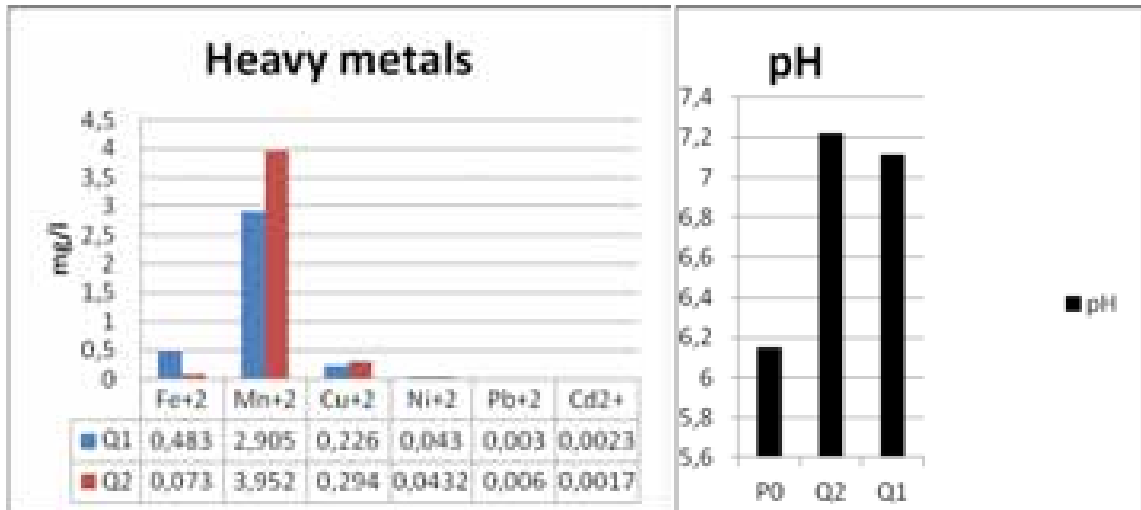


Figure 2. Comparison of content changes of individual ions and post-reaction liquid nature after the contact with sorbent Q1 and Q2

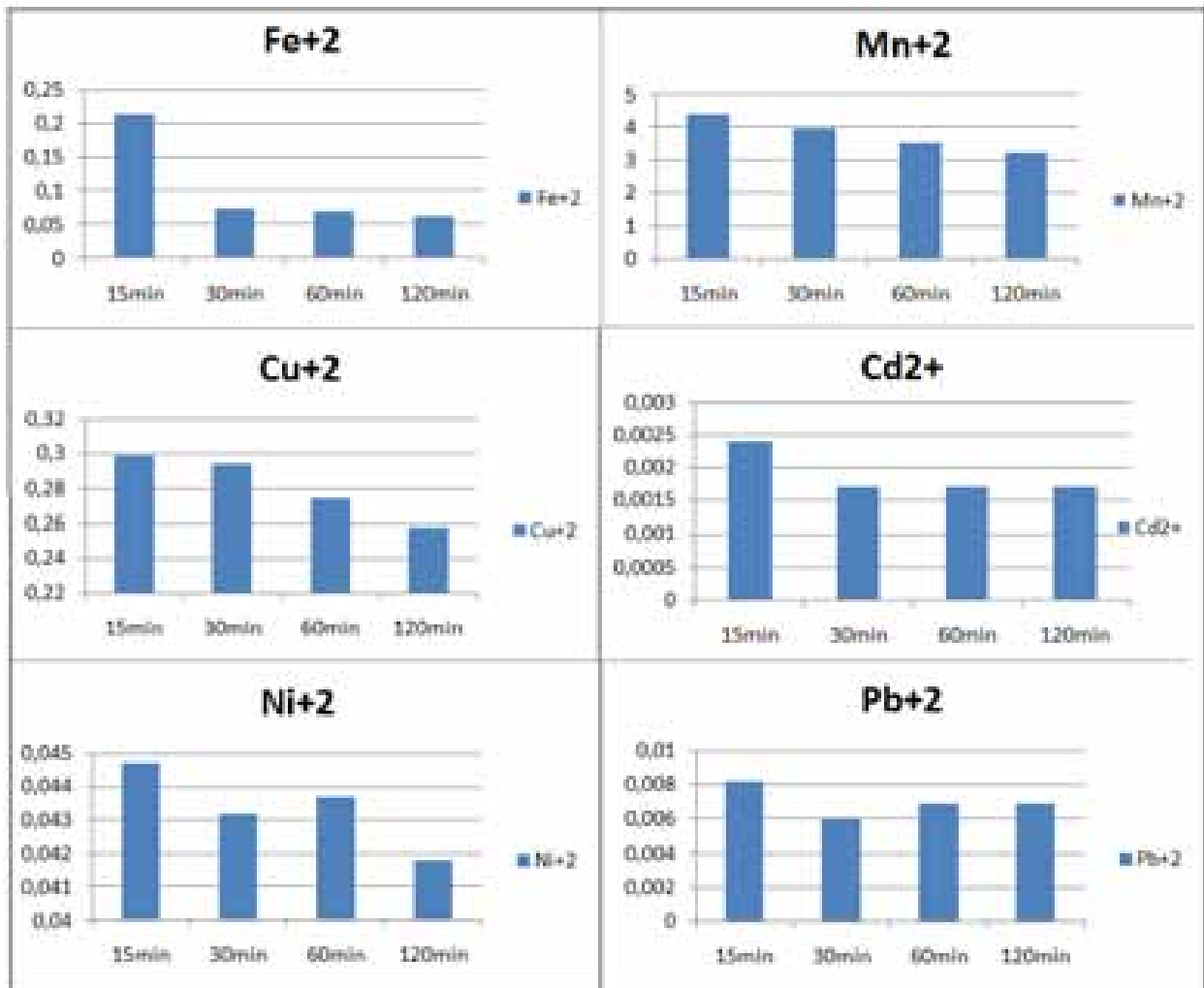


Figure 3. Content changes of individual ions in post-reaction liquid in subsequent time steps

The influence of time on the absorption efficiency in contact with Q2 material was observed for iron ions, manganese and copper. In case of nickel and lead ions, the decline in content of these ions is small, while in cadmium the lack of time factor impact on adsorption efficiency is observed. For Ni<sup>2+</sup> and Pb<sup>2+</sup> ions, there has been observed an increase in their content in subsequent time steps, which is associated with the sorption-desorption cycle of these ions, present originally in the fly ash.

Summing up the above analysis, it is possible to state that synthetic zeolite can be used as adsorbent in the purification process of flowback fluid in provision of hydrocarbon deposits. The type, mass and time of liquid contact with zeolite affect the efficiency of process and it is a condition of the final result of waste treatment classified according to the Polish waste catalogue as waste resulting from exploration, mining, physical and chemical processing of ores and other minerals.

## 5. References

1. N.Czuma, K.Zarębska, P.Baran, W.Franus "The process of fly ash magnetic separation impact on hydrothermal synthesis of zeolites"
2. <https://www.aaa-usa.org/>
3. C.Howe, M.Gerrard "The Law of Green Buildings: Regulatory and Legal Issues in Design, construction, operations, and financing"
4. British Zeolite Association, <http://www.bza.org/zeolites.html>
5. T.H.Eyde "Zeolites": Mining Engineering 57 (2005)
6. E.Omar, A.Salama, N.A.Reiadb, M.Maha "A study of the removal characteristics of heavy metals from wastewater by low-cost adsorbents", Journal of Advanced Research vol.2, 2011
- 7.

**KLAUS KODYDEK, BSC**

*Vienna University of Technology, Dept. Of Urban Design & University of Applied Arts Vienna*

**ANGELIKA PSENNER DI DR., ELISE RICHTER POSTION (FWF)**

*Vienna University of Technology, Department of Urban Design*

## **REDISTRIBUTING RESOURCES IN THE URBAN ENVIRONMENT – TOOLS AND STRATEGIES TOWARD A MORE SUSTAINABLE AND RESILIENT URBAN FABRIC**

Set against a background of rising population growth, by 2029 the city of Vienna will reach its 2,000,000 million mark. Land, as a fundamental resource of our living space, is limited and not renewable. The question therefore arises how can Vienna redistribute its urban resources in order to face the demographic change in a more sustainable and resilient way.

Given those challenges the paper identifies the change in demand for urban resources. It highlights the impact of spatial redistribution and gives insight on how to activate the potentials within the built environment, but also on how to reclaim urban resources such as vacancies, voids, underused courtyards, or inefficient use of streetscapes. Various parameters such as the existing building stock or protagonists are being examined that prove to be decisive for sustainable and resilient strategies.

Based on the research focusing not only on architectural and spatial aspects, this paper describes how to activate the potentials within the built environment. Reflecting on various approaches and strategies for conversion, adaptive reuses, recycling sites undergoing urban transformation, and a strong emphasis on the implementation process for the utilization of urban resources is put.

Given this perspective the paper is therefore addressing the following issues:

- What are the key drivers in the urban environment?
- How can resources be redistributed in the urban environment in order to achieve an optimized, more diverse usage of the urban environment?

**Keywords:** urban resources, urban environment, urban research, Vienna

**PUNTOS KONSTANTINOVSKI CYRYL JANI**

*AGH University of Science and Technology in Kraków*

## **EARTH PYRAMIDS “KUKLICA” AS GEOTOURIST ATTRACTION OF MACEDONIA**

The paper presents rock formations located near Kuklica village in the Republic of Macedonia. The aim of the author consisted in the demonstration of a relationship between man and the natural environment in a location of

earth pyramids occurrence and its immediate vicinity. A particular stress was put on its geotouristic development and the environment protection. In addition to that, the paper presents the reader with details of the structure of this interesting geological site, describes mechanisms leading to its formation and facilitates drafting of a geotouristic valorisation assessment in a view of raising of the touristic appeal of the North-East Region.

The paper sums up the results of observations and field documenting activities carried out in August 2012. The samples collected on the area under study were analysed at the mineralogical, geochemical and engineering-geology laboratory of the AGH University of Science and Technology in Kraków (Poland). The scientific papers and the tourism-related publications concerning the immediate vicinity of Kuklica were collected and studied. Several illustrations and diagrams were made to facilitate visualisation of various aspects of the earth pyramids. Graphs were made with the Grapher 11 programme, maps and 3D models of the rock formations were developed using the Surfer 13.0.383 programme, while Inkscape 0.91, GIMP 2.8.18 or CorelDRAW Graphics Suite X7 were used to prepare geological cross-sections along with diagrams and drawings (based on bibliography, photos, observations and maps from town hall in Kratovo). In addition to that, the geotouristic valorisation of the immediate vicinity of the earth pyramids was carried out on the basis of the following criteria: substantive criteria, criteria pertaining to the location, culture, the range of information about the site and its development with the best possible preservation of valuable landscape forms, the flora and the fauna. The author consulted the substantive issues with his tutor Professor Eng. Marek Doktor and he also consulted the laboratory research with Doctor Eng. Robert Kaczmarczyk. Moreover, interviews were made with the following persons: Mr Miloš Dimitrovski – the President of the IZVOR organisation in Kratovo; Mr Stevče Donevski – the Director of the NGO “Kratovo's Cave Art”; Mr Saško Jordanov – the Head of the Environment Department of the Environment Protection at the Ministry of Environment and Physical Planning in Skopje; Mr Cane Ančov – the Head of the Department of Tourism, Construction and Environmental protection of the Kratovo Municipality, and with the inhabitants of Kratovo, Kuklica and Ketenovo.

The north-east part of Macedonia is one of the least visited parts of Europe and at the same time one of the very few unique areas where the environment still exists in its intact form. The area of the earth pyramids occurrence described in the paper is located nearly 10 km to the SW of the Kratovo town (10441 inhabitants [1]), close to the village of Kuklica. The concentration of geological objects covers an area on the right-hand side of the Kriva Reka river, on the top part of the slope of Dubica Mt. (772 m above sea level). The area contains rock formations that are unique with regard to their shape and origin, and that were created by intensive erosion combined with land surface denudation [2]. Similar geomorphological landforms occur also in, e.g.: Cappadocia (Turkey) or in Đavolja Varoš (Serbia). “Kuklica” has a definite legal status granted by the highest government bodies of Macedonia. It was announced a Monument of Nature (MoN) (in the Macedonian language: Spomenik na Prirodna) by way of an Act dated 1 August 2008 and its area covers 55.7 ha [3]. There are 2 groups of earth pyramids on the area of the “Kuklica” MoN (Fig.1). The first (and the largest) group is situated in the NW part of the protected area. It occupies an internal edge of a vast crag (1/6 of the entire area of the Monument of Nature), that is located at the elevation between 470 and 580 m (above sea level). The second group occupies the NW part of the Monument of Nature. It is located at a lower elevation, i.e. between 410 and 435 m above sea level. Even though its area is smaller (ca. 15000 m<sup>2</sup>), the geological forms contained within it are much more interesting than those present in the first part.

The area under study is located in the immediate vicinity of the earth pyramids, situated between Zabel and Polica hills (the east – west direction) and the village of Kuklica and the car park (the north – south direction). A gradual fall of the terrain (on the S side of Dubica Mt.) in its central part creates an “amphitheatrical” niche, that contains the largest earth pyramids (>5 m in height), whose number is close to 20. (Fig.2) These are the pyramids that confirm the unique character of the rock formations, as they consist of a distinctive “torso” (5-9 m) and a “head” (ca. 0.3 m), thanks to which they resemble a human figure (Fig.3). That is how the name Kuklica originated: from the Macedonian word “kukla” – a doll. The legend has it, that this is a petrified wedding party (“Vesela Svadba”), which was preserved in the names of each pyramid, e.g. “Nevesta” – the bride [4]. Towards the hill slopes, the pyramid height is decreasing (<5 m) and also continuous erosion occurs, as a result of which the depression is being widened in the northern direction and also to a smaller extent towards the NW and NE creating a scree around the pyramids. The number of the pyramids is close to 130, but their greatest concentration occurs on Zabel Hill. The earth pyramids and the scree are surrounded with grassy vegetation [5]. The study area is located in the thermophilic oak woodland zone, where the prevailing role is played by “gaberot” and “blagun” varieties of oak [6]. Around the stream and the river one can also notice fruit trees, acacias and shrubs. A surprising fact is the encounter of cactaceous plants that are locally present within the scree. According to the estimations made by the IZVOR, on the “Kuklica” MoN area, the presence of the following species was recorded: snakes (including the poisonous “poskok” snake), scorpions, the wolf, the lynx, the fox, turtles, spiders, lizards, as well as numerous insects (including bees, wasps, cicadas or crickets). More than 20 species of birds were observed, that included the eagle, falcons, gulls, woodpeckers, swallows, storks and ducks. Kuklica is located within a range of the warm temperate continental climate. As regards the location of Kratovo, the average temperature is around 12.2 °C, the precipitation sum amounts to 508 mm, and the average precipitation is 42.3 mm [7]. The wind speed reaches the annual average of 2.9 m/s. The dominating wind direction is the north-east [8].

The rock formations consist chiefly of andesitic volcanic tuff and dacite-andesite ignimbrite [9]. The first type forms the “torso”, and the latter one forms the “head” of the earth pyramids. The geological cross-section



illustrates a varied lithology of the volcanic deposits that are stratigraphically laid (Fig.4). The subbase, composed of the Eocene flysch [10] is covered by a 20-meter-thick layer of volcanic tuff of the “older” eruption phase. This, in turn, is covered by a layer of tuff (2 meters in thickness) representing the “younger” phase. The top (0.3 m) layer is composed of dacite-andesite ignimbrite [11]. The process of formation of the unique shape of the pyramids may be schematically (Fig.5) shown in the cross-section as having four phases, like in Ritten (Italy) [12]. The water from heavy rainfall that occurs periodically and comes from the southern direction penetrates fissures of the exposed ignimbrite outcrops and deepens them. The water, percolating still deeper and destroying the soil, encounters the tuff layer. Then, erosional niches that become larger and larger are formed that separate the tuff that is susceptible to the direct action of the precipitation from the tuff covered by the ignimbrite lumps (from the earth pyramids). During the final phase, the gravity force causes the fall of the “heads” off the “torsos” leading to the exposure of the tuff and resulting in the levelling of the rock formation.

Paraffining, drying and pycnometric methods (as per the PN-B-04481 and PKN-CEN ISO/TS 17892-3 standards) were used to determine the volumetric density of ignimbrite ( $2.60 \text{ Mg/m}^3$ ) and tuff ( $2.23 \text{ Mg/m}^3$ ). After that the average soil moisture content (1.36 wt %), the volumetric density of the grain skeleton ( $2.25 \text{ Mg/m}^3$ ) and density of solid particles for tuff ( $2,649 \text{ Mg/m}^3$ ) were obtained. Afterwards worked out porosity of the tuff (16,946 [-]) and void ratio which amounted to (0,204 [-]). Furthermore, thin sections of the ignimbrite and tuff samples (prepared by Associate Professor Eng. Magdalena Dumańska-Słowik) were analysed under the petrographic microscope. After consultations with Mateusz Sęk MSc Eng, author carried out quantitative planimetric analyses to know how much clastoclasts are in 2 kind of rocks [13]. Crystalline-vitroclastic tuff (Fig.6) is contained mostly by hipautomorphic plagioclases (24%), K-feldspars (25%), amphibols (10%) and biotite (7%). These clastoclasts and additionally ore minerals (1%) are situated in illite and silica background (33%). Moreover vitrocrystalline ignimbrite (Fig. 7) is predominantly composed by clastoclasts: plagioclases (28%), K-feldspars (11%), hornblende (5%) and biotite (often with zircon) (4%) located in for the most part vitroclastic silica matrix (52%) with cristobalite clastoclasts and ore minerals (4%). Above and beyond author performed analysis (f.ex. in XRAYAN) of XRD and XRF measurements, which Paweł Gawel MSc Eng and Doctor Eng. Monika Wójcik-Bania have done in geochemical laboratory. Very helpful to make chemical description of the tuff were: TAS diagram (Fig.8) (to classify tuff as trachy-andesite), AFM diagram (Fig.9) (to categorise series of magma as calc-alkaline) and XRD diagram (Fig. 10) (to recognise reflexes of minerals in tuff). These studies are necessary to make composed characterisation about this rock [14], to elaborate genesis of earth pyramids, describe volcanism processes (similar proportions of silica and alkali minerals in rocks) and sedimentation of pyroclastic materials near Kuklica after volcanic eruptions [15].

The geotouristic valorisation (Fig.11) was carried out for the area under study [16]. The average didactical value of the site implied by the individual criteria amounted to 69.05 %. It was calculated on the basis of compilation of the substantial value (79.17 %), location (58.33 %) and cultural value (33.33 %) and also of the available scope of information about the site (66.67 %). The geotouristic attractiveness got an average value (66,67 %), and was calculated from the didactical value and the touristic development (58.33%). In order to provide better protection of the environment and the earth pyramids, it is necessary to implement measures for protection during higher intensity of the visitor traffic and measures preventing the degradation of the earth pyramids. At present, there exists a stone path connecting the car park and the biggest pyramids. There are also benches and an entrance gate at the side of the car park. An important issue is the installation of protective barriers, fencing of the whole site, installation of toilets and waste bins. It would also be worth to improve the geotouristic infrastructure (information boards, paths, improved marking, new hotels (there is only one hotel situated in Kratovo), development of agritourism in the neighbouring villages) and to promote the area (the geoproduct “Kuklica”, a greater number of publications and a wider access and availability of information about the site as a symbol of the region). In addition to that, “Kuklica” could be connected with other interesting geotouristic sites near Kratovo (there are at least 12 of such sites within a distance of 20 km, e.g. “Kokino”) and to create a network of connections between them that would be well organised in the logistical and infrastructural sense (an idea of, e.g. the future “geopark” could be used).

The site has unquestionable geotouristic potential, which could have a significant impact on the development of the region. The protection of the geological and natural heritage of “Kuklica” is very important in relation to its substantive value, which was proved by the research and geotouristic valorisation. An adequate development and promotion play a key role in the protection of the rock formations (also in terms of protecting it against the idea of construction of a water storage reservoir that would flood the site – an idea of constructing the “Vakuf” dam put forward during the Yugoslavia era).

## References

- [1] Državen Zavod za Statistika na Republika Makedonija 2002 Census of Population, Households and Dwellings in the Republic of Macedonia, 2002 final data – Book X Skopje Printed in Printing House at General Administrative Services at the Government of the Republic of Macedonia, p. 37
- [2] [10] Milevski I.: Zemjani Piramidi vo Kuklica-Kratovsko, 2000, <http://www.kuklica.50webs.com/>, [access 07.05.2012]
- [3] [11] PREDLOG za donesuvanje po itna postapka na Zakon za proglasuvanje na lokalitetot „Kuklica”,

za spomenik na prirodata so Predlog-Zakon, od 27.08.2008 godina, Skopje, <http://www.pravo.org.mk/documentDetail.php?id=831>

[4] Angeleska K.: *Petrified wedding party in Kuklica* balkon3.com/en/petrified-wedding-party-in-kuklica/ [access 01.12.2016]

[5] Kostadinovski M.; Matevski V.; Čušterevska R.; Čarni A.: Dry Grassland Communities of Erysimo-Trifolietum in the Northeastern Part of the Republic of Macedonia. DOI:10.2478/v10028-012-0004-3 2012 HACQUETIA 11/1, p. 91-111

[6] MED; Frankfurt Zoological Society; ProNatura: Prirodata na Osogovo, Proektot „Osogovskite Planini vo Balkanskiot zelen pojas”, [bmw], [bdw], ApoloImages, <http://www.mes.org.mk/PDFs/Popular%20issues/prirodata%20na%20osogovo%205.pdf>, [access 04.08.2016]

[7] CLIMATE-DATA.ORG, <http://pl.climate-data.org/location/44273/>, [access 16.08.2016]

[8] Javno Predprijetie za Državni Patišta na Republika Makedonija: Izveštaj za procena na životnata sredina i socijalnite aspekti i Plan za upravuvanje so životnata sredina za izgradba na državni pat A2, Delnica: Rankovci-Kriva Palanka 2015 Skopje [http://www.roads.org.mk/UserFiles/files/ZivotnaSredina/2015/R\\_KP\\_full1.pdf](http://www.roads.org.mk/UserFiles/files/ZivotnaSredina/2015/R_KP_full1.pdf) [dostep 03.08.2016], p. 112-175

[9] Milevski I.: Geomorphological Characteristics of Kratovo-Zletovo Palaeovolcanic Area. Thessaloniki 2010 Scientific Annals of the School of Geology, Aristotle University, Thessaloniki, p. 475

[12] Ritten Renon: Die Rittner Erddpyramiden, <http://www.ritten.com/de/sonnenplateau/highlight/erdpyramiden.html>, [access 25.11.2016]

[13] *Metody badań mineralów i skał* pod red. Bolewski A.; Żabiński W.; Warszawa 1988 Wydawnictwa Geologiczne, SBN 83-220-0266-1, p. 234-244

[14] Majerowicz A.; Wierzchowski B.: *Petrologia skał magmowych*. Warszawa 1990 Wydawnictwa Geologiczne, ISBN 83-220 0335-8, p 102

[15] Boev B.; Yanev Y.: Tertiary magmatism within the Republic of Macedonia: a review. „Acta Vulcanologica” Instituti Editoriali e Poligrafici Internazionali, Pisa-Roma, 2001, nr 13 (1-2), s. 57-71

[16] Dmytrowski P., Kicińska A., 2011. Waloryzacja geoturystyczna obiektów przyrody nieożywionej i jej znaczenie w perspektywie rozwoju geoparków. Problemy Ekologii Krajobrazu, T. XXIX, [http://www.paek.ukw.edu.pl/wydaw/vol29/dmytrowski\\_pek\\_29\\_2011.pdf](http://www.paek.ukw.edu.pl/wydaw/vol29/dmytrowski_pek_29_2011.pdf), [access 29.07.2016], p. 11-20

**JANUSZ KOTOWICZ<sup>1</sup>, KLAUDIA DUBIEL<sup>2</sup>, ŁUKASZ BARTELA<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> *Institute of Power Engineering and Turbomachinery, Silesian University of Technology, Poland*

## **AN ECONOMIC ANALYSIS OF THE INTEGRATION CONCEPT OF THE STIRLING ENGINE WITH THE COGENERATION SYSTEM BASED ON THE BIOMASS GASIFICATION**

### **1. Introduction**

In the last years a growing interest in the biomass technologies is observed in Poland. This is due, among other, to the need for the achievement of the objectives of the adopted Climate and Energy package, and thereby reducing the use of the conventional energy sources, combustion of which increase the CO<sub>2</sub> emission. The thermal gasification can be a particularly attractive way of utilization of waste biomass, due to favorable ecological characteristics and high efficiency of conversion of biomass to useful gaseous fuel. The obtained gas can be used for combined heat and power production, for example in the systems with the gas piston engine. Additionally, the heat flux, of which the carrier is the process gas, can be used in the installation of the Stirling engine, which contributes to increasing electricity production in the system.

### **2. Analyzed systems**

Two cogeneration systems were analyzed. The reference cogeneration system includes: a gasification reactor (GG), a wet cleaning unit of the process gas (GCI) and a gas piston engine (PE). The usable heat is obtained within the piston engine system and in a process gas cooler (GC), whose task is to cool gas to the temperature required by the cleaning unit, while the electricity is produced only in the piston engine. In the advanced system the extension of system concept by Stirling engine was proposed. The Stirling engine (SE) can be powered by heat from the raw process gas cooler by membrane heat exchanger, which is an integral part of the Stirling engine. The gas, after leaving the heat exchanger, is directed to the process gas cooler, where, similarly as in the reference variant, in the first step gives off heat to the water, then is cooled down. The electricity is produced by both, the piston and the Stirling engines. The reduction in the heat production within all system can be obtained due to the installation of the Stirling engine. The main assumptions regarding the biomass gasification were presented, among other, in [1-3]. The schematic diagrams of both analyzed systems are shown in Fig. 1. It was assumed, that both systems work for the municipal users, with variable heat demand, depending on the ambient temperature, in accordance with Fig. 2. Within the heating system, apart from the cogeneration unit, the peak gas boiler (GB) works in order to ensure the required heat power.

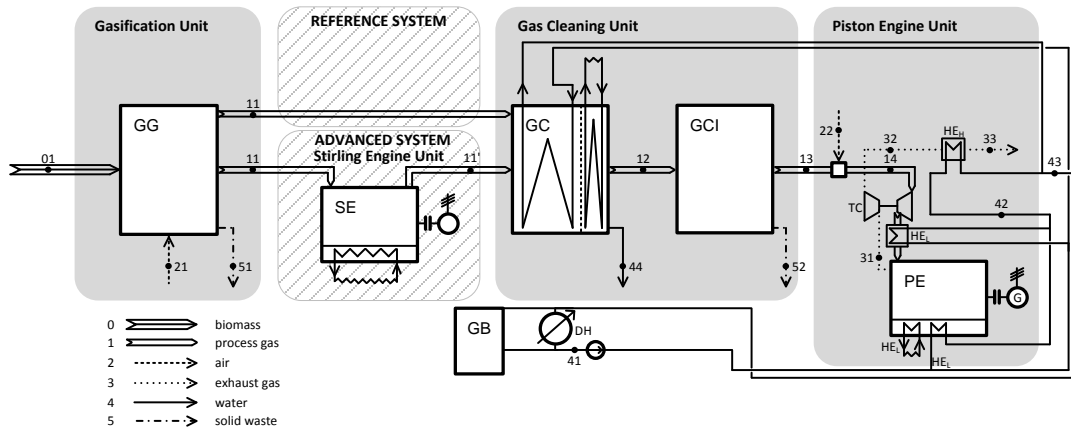


Fig.1. The diagram of the analyzed systems

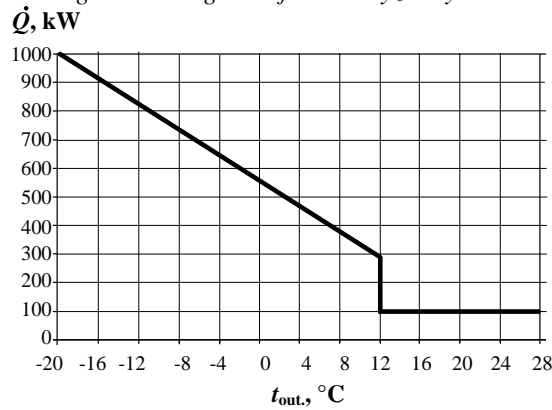


Fig. 2. The characteristics of the heat demand for heating networks

The relation of the maximum thermal power of the gas boiler ( $(\dot{Q}_{GB})_{max}$ ) and the maximum thermal power of the district heating system, which is the sum of the maximum thermal power of the cogeneration system ( $(\dot{Q}_{CHP})_{max}$ ) and the maximum heat power of a gas boiler, gives the  $\beta$  indicator:

$$\beta = \frac{(\dot{Q}_{GB})_{max}}{(\dot{Q}_{CHP})_{max} + (\dot{Q}_{GB})_{max}}. \quad (1)$$

For the purpose of performing the analyzes a numerical model of Stirling engine, using the Ansys CFX software, and own codes implemented in the Fortran and CFX-Perl, was created [3, 4]. As a measure of the utilization of the energy potential of the process gas the degree of cooling of the gas leaving the Stirling engine's heat exchanger was proposed ( $\Delta T_{SE}$ ):

$$\Delta T_{SE} = T_{11} - T_{11'}. \quad (2)$$

### 3. Economic analysis

Within the economic analyzes, as an assessment indicator, the NPVR (Net Present Value Ratio) was applied. The NPVR can be defined as a ratio of the NPV indicator (Net Present Value) and the size of investment cost  $J$ :

$$NPVR = \frac{NPV}{J}. \quad (3)$$

The power of individual devices, including the power of the gas boiler ( $\beta$  indicator) have been optimized to ensure maximum NPVR value. Additionally, the value of the break-even unit investment cost for purchase of the Stirling engine ( $i_{SE}^{be}$ ), which allows the advanced system to ensure the same NPVR value as in the reference system, was determined:

$$i_{SE}^{be} = i_{SE}(NPVR_{ADV} = NPVR_{REF}). \quad (4)$$

Relation of the  $\beta$  indicator and  $i_{SE}^{be}$  value as a function  $\Delta T_{SE}$  shows Fig.3.

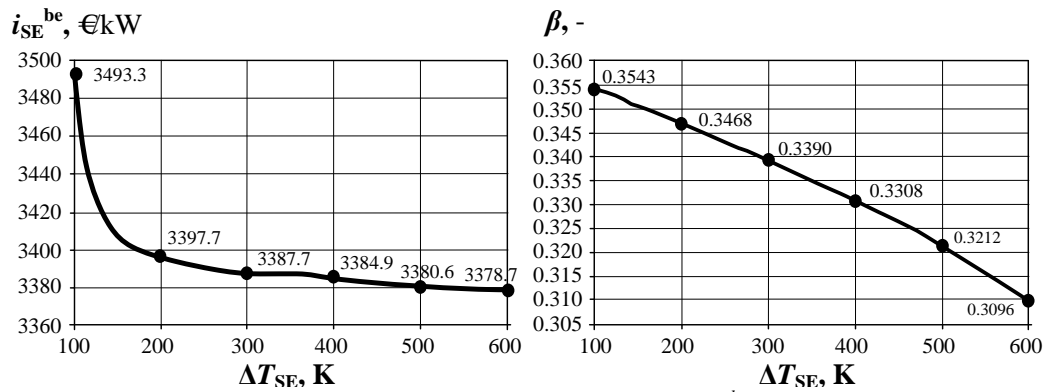


Fig. 3. The value of the break- even unit investment cost of Stirling engine ( $i_{SE}^{be}$ ) and  $\beta$  indicator as a function of the degree of cooling of the process gas ( $\Delta T_{SE}$ )

Next, the sensitivity analyses of the NPVR indicator for the several of risk factors ( $y$ ): the sale price of the electricity ( $C_{el}$ ) and heat ( $C_q$ ), the purchase price of biomass ( $C_B$ ) and natural gas ( $C_{NG}$ ), the maximum heat demand ( $\dot{Q}_{max}$ ), the working time ( $\tau$ ), the operation and maintenance cost, referring to investment cost (O&M), the personnel costs ( $K_p$ ) and total investment cost ( $J$ ), was performed. The values were changed in the range +/- 30% of nominal values, which were adopted as  $C_{el}^{nom} = 75 \text{ €/MWh}$ ,  $C_q^{nom} = 10 \text{ €/GJ}$ ,  $C_B^{nom} = 2 \text{ €/GJ}$ ,  $C_{NG}^{nom} = 9 \text{ €/GJ}$ ,  $\dot{Q}_{max}^{nom} = 1000 \text{ kW}$ ,  $\tau^{nom} = 7000 \text{ h}$ ,  $O\&M^{nom} = 2 \%$ ,  $K_p^{nom} = 1200 \text{ €/person month}$ , with the employment of 4 persons. The total nominal unit investment cost of the reference system was adopted as  $J^{nom} = 0.977 \text{ M€}$ . For advanced system  $J$  depends, among others, on the degree of cooling of the gas and for  $\Delta T_{SE} = 100 \text{ K}$  was  $J^{nom} = 1.065 \text{ M€}$  and for  $\Delta T_{SE} = 600 \text{ K}$   $J^{nom} = 1.660 \text{ M€}$ . For these nominal assumptions the value of the NPVR was -0.1142. The results of the analyzes of the impact of the values deviation from the assumed nominal levels for the reference system and two cases of the advanced system:  $\Delta T_{SE} = 100$  and  $600 \text{ K}$ , are presented in Fig. 4.

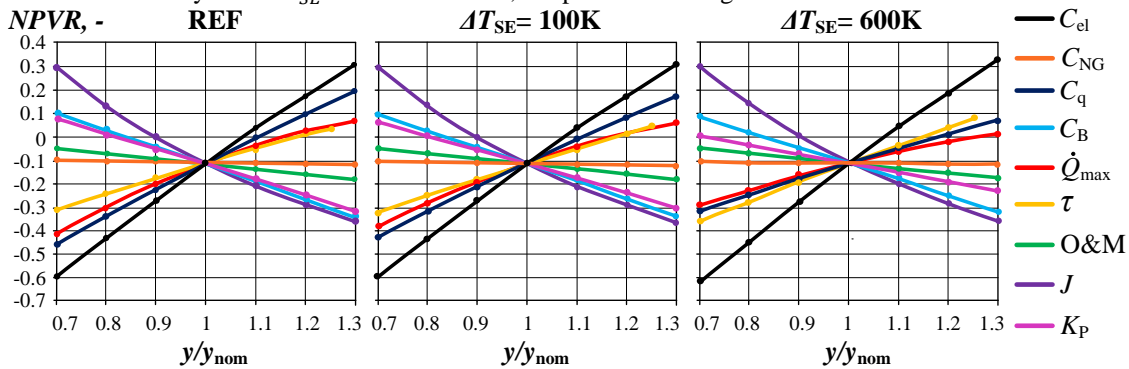


Fig. 4. The results of the sensitivity analyzes

The Stirling engine installation within the cogeneration system allows to limit the impact of such quantities as: heat demand ( $\dot{Q}_{max}$ ), the price of heat ( $C_q$ ), the personnel costs ( $K_p$ ), and, to a smaller degree, the biomass cost ( $C_B$ ). The working time and price of electricity have more significant influence on the financial result in the case of the advanced system, which can be explained by, among others, producing a larger amount of the electricity in the

whole system. The importance of these factors increases when the degree of cooling increases ( $\Delta T_{SE}$ ). The price of natural gas ( $C_{NG}$ ), value of investment cost ( $J$ ) and O&M costs are relatively unimportant.

#### 4. Summary

Profitability of the cogeneration systems based on biomass gasification depends on the economic environment of investment. The low cost of biomass, the revenues from the sale of electricity and heat and development of technology could cause that these types of systems would be competitive to conventional systems.

Scientific work funded by the National Science Centre within the framework of the research project No. 2014/13/B/ST8/01869.

#### Bibliography

1. Skorek- Osikowska A., Bartela Ł., Kotowicz J.: The influence of the size of the CHP (combined heat and power) system integrated with a biomass fueled gas generator and piston engine on the thermodynamic and economic effectiveness of electricity and heat generation // Energy 67 (2014) 328-340.
2. Kotowicz J., Sobolewski A., Iluk T.: Energetic analysis of a system integrated with biomass gasification // Energy – 2013 – vol. 52 – p. 265-278.
3. Remiorz L., Bartela Ł., Kotowicz J.: An analysis of the use of a Stirling engine in a combined heat and power plant based on biomass gasification // Rynek Energii – 2014. – vol. 115 – № 6. – p. 132–138.
4. Remiorz L., Chmielniak T.: Wirtualny prototyp silnika Stirlinga // Modelowanie Inżynierskie – 2011. –vol. 10 – № 41 – p. 347-352.

## TRANSIENT STATES CHARACTERISTICS OF FREE-PISTON STIRLING ENGINE OPERATING WITHIN MCHP UNIT

**Abstract:** In the article the basic information concerning the free-piston Stirling engine are presented and the experimental setup is described. The test bench is located at the Institute of Power Engineering and Turbomachinery of Silesian University of Technology in Gliwice, Poland. System consists of the Viessmann Vitotwin 300-W  $\mu$ CHP module and thermal energy storage tank. The characteristics of the start-up and cooling phases are presented.

**Key-words:** Stirling engine, microgeneration, distributed generation

### 1. Introduction

Stirling engines, based on the patent from 1816 by Robert Stirling, have been forgotten because of the dynamic development of the internal combustion engines. In recent years growing interest of this type of engines can be noticed because of the potential application in micro-cogeneration – the simultaneous production of electricity and heat in domestic scale. The development of micro-cogeneration is related to the energy policy which leads to increase the significance of the distributed generation.

All of Stirling engines can be distinguished between two basic categories [1,2]:

- kinematic Stirling engines – reciprocal piston motion is converted to rotational output with crankshaft and the displacer is actuated by a mechanical linkage;

- free-piston Stirling engines (FPSE) – no rotating parts. Displacer is actuated by the pressure variation and the output power is generated using linear alternator attached to the working piston.

Free-piston Stirling engine was invented in 1964 by William T. Beale at Ohio University, USA. Modern version of this engine has multiple advantages: quiet operation, multiple fuels available, long and maintenance-free operation. These aspects made FPSEs a potential solution for distributed generation.

The most popular engines are produced by Microgen, and they are basic machinery of  $\mu$ CHP units by major gas boilers companies: Viessmann, Baxi, Vaillant, Remeha [2,3].

### 2. Object of investigation

There is lack of possibilities to obtain a single Microgen engine, however, the  $\mu$ CHP units mentioned earlier are commercially available. Analysis of the engine combined with auxiliary burner within  $\mu$ CHP unit is sufficient for considering the micro-cogeneration advantages. The analyzed object is Viessmann Vitotwin 300-W with thermal power up to 26 kW (5,7 kW with engine and the rest with auxiliary burner). The main parameters of the used engine [4]: electrical output: 1000 W, characteristics of electrical output: nominal 230 V, frequency: 50 Hz, working gas: helium at 23 bar charge pressure.

The main characteristic of FPSE within  $\mu$ CHP unit is operation in on-off cycles. The electric power during stable work is almost constant and it is not considered in the article.

The aim of the research was to investigate the relationship between the time and power of the engine during transient states: start-up and cooling phase. They are important especially when the engine operates for short periods of time, e.g. in the summer. The unit is prepared to produce heat for heating system as well as hot tap water. The unit is expected to operate as long as possible with basic load (FPSE – on, auxiliary burner – off) so usually the heat tank is used. During winter it is possible to maximize the time of the base load operation, however in summer, when the heat demand is low, the Stirling engine turns off and on very often. This is when the transient states may significantly influence the overall efficiency and economic effectiveness of such systems.

The micro-cogeneration unit is equipped with independent measurement system which allows to estimate the effectiveness parameters of the whole installation and is described in detail in [5,6]. However, there is limited possibility to determine the desired characteristics (which describe the engine itself) with this system, thus service software ACS790 by Siemens was used. It is software for commissioning, operating and supervision of HVAC plants [7] and it allows to communicate with the Vitotwin regulator via Siemens OCI700 interface [8]. This setup brings the possibility to gather information from internal sensors of the Viessmann Vitotwin module.

### 3. Results of experimental investigation

According to the methodology described earlier, the electric power ( $N_{el}$ ) and the temperature of the hot end of the engine ( $T_h$ ) were measured. Figure 1 presents the change of these parameters during the start-up phase.

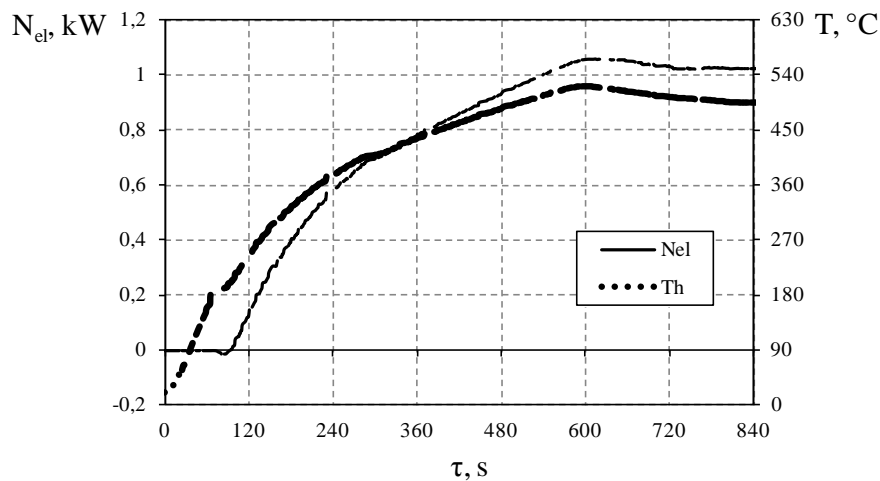


Figure 1. The start-up phase of the engine operation

The start-up phase begins when the gas burner turns on. The figure clearly presents that the engine starts operation when the hot-end temperature reaches about 200 °C. It takes about 75 seconds for the gas burner to heat up the engine to the required temperature. When the engine starts, the electric power follows the hot-end temperature until the both reach their maximum values. The engine operates stable with hot-end temperature varying from 490-510 °C with almost constant electric power 1 kW. It is postulated that the peak of the power and temperature at near tenth minute of operation is connected with thermal inertia, in the next minute and later the operation is stable. Figure 2 presents the change of measured parameters during the cooling phase.

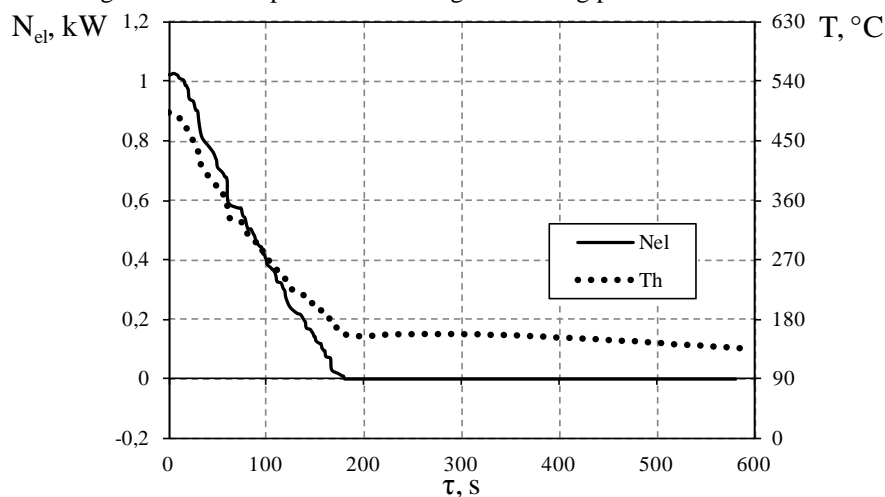


Figure 2. The cooling phase of the engine operation

When the regulator of the  $\mu$ CHP module decides to stop the gas burner (e.g. the heat tank is full) the cooling phase begins. It takes about 3 minutes for the engine to stop. Figure 2 presents when the engine stops the cooling of the engine's hot end significantly slows down. During the first three minutes of the cooling phase the engine still generates the electricity despite the gas burner is off. After the engine is stopped the heat is slowly dispersed.

#### 4. Summary

The transient states characteristics of the linear free-piston Stirling engine were presented. The start-up phase lasts about 10 minutes and the cooling phase about 3 minutes. The time of the star up phase is probably connected with the power of gas burner used. The transient states should be considered when modeling the  $\mu$ CHP units operation because it can affect the estimations of economic effectiveness especially during the summer season when the heat demand is low.

#### Acknowledgement

The investigation presented in this paper have been carried out within the framework of the research project no. 2014/13/B/ST8/01869 financed by National Science Centre.

#### References

1. Żmudzki S.: *Silniki Stirlinga*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1993
2. Harrison J.: *Stirling engine systems for small and micro combined heat and power (CHP) applications*, Small and Micro Combined Heat and Power (CHP) Systems, Woodhead Publishing Limited, Cambridge 2011

3. Bouvenot J.-B., Andlauer B., Stabat P., Marchio D., Flament B., Latour B., Siroux M.: *Gas Stirling engine  $\mu$ CHP boiler experimental data driven model for building energy simulation*. Energy and Buildings 84, 2014, 117-131
4. [www.microgen-engine.com](http://www.microgen-engine.com) [available: 12.02.17]
5. Kotowicz J., Uchman W., Janusz-Szymańska K.: *Stanowisko badawcze układu mikrogeneracyjnego opartego na silniku Stirlinga*. Rynek Energii 6(127), 2016, 70-75
6. Remiorz L., Skorek-Osikowska A.: *Research stand with a micro-cogeneration unit based on a free-piston Stirling engine*. Rynek Energii 4(113), 2014, 117-124
7. <http://www.buildingtechnologies.siemens.com/bt/global/en/products/building-automation-systems/synco-system/engineering-and-commissioning/pages/acs790.aspx> [available: 12.02.17]
8. [http://www.buildingtechnologies.siemens.com/bt/global/en/products/building-automation-systems/synco-system/engineering-and-commissioning/pages/oci700\\_01.aspx](http://www.buildingtechnologies.siemens.com/bt/global/en/products/building-automation-systems/synco-system/engineering-and-commissioning/pages/oci700_01.aspx) [available: 12.02.17]

**JANUSZ KOTOWICZ<sup>1</sup>, MICHAŁ JURCZYK<sup>2</sup>, DANIEL WĘCEL<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup> *Silesian University of Technology, Faculty of Energy and Environmental Engineering, Institute of Power Engineering and Turbomachinery*

## PROBLEMS OF HYDROGEN STORAGE

**Key words:** energy storage, pressure tanks, hydrogen generator

### **Abstract**

The article describes hydrogen storage technologies and presents research results conducted on the Silesian University of Technology in the Division of Metrology and Power Processes Automation, concerning the possibility of hydrogen storage in low-pressure tanks. The characteristics of the tested tanks are presented and possibility of their cooperation with the hydrogen generator is examined.

### **1. Introduction**

The main power sources used by energy sector are fossil fuels. Through the conversion processes occurring in conventional power plants, chemical energy contained in non-renewable fuels is converted into electricity. However, deposits of raw materials such as coal, lignite, oil and natural gas are slowly depleted, and therefore alternative sources for the production of electricity are still sought. One of the solutions is use of renewable energy sources. These sources use solar energy, wind or tidal power to generate electricity. However, the amount of energy produced by renewable energy power plants depends largely on weather conditions occurring at a time [1]. These power plants are characterized by a variable amount of electricity delivered into the power system, which may be not relevant to the needs. That adversely affect on the operation of energy systems. When capacity of renewable energy is relatively small compared to the power of whole power system, variations in power appearing in the production of electricity from renewable energy sources are completely compensated by existing elements of this system. However, further increase in the power capacity of renewable energy sources will force the need of search other solutions [2]. One way to control amount of electricity in power systems is use energy storage technology. An example of this type solution is storage energy surplus in the form of hydrogen produced by water electrolysis process [3].

### **2. Use of hydrogen**

Hydrogen is used as a raw material for long time, primarily in petroleum and chemical industries. In most cases, hydrogen is produced in methane reforming process or by coal gasification and immediately consumed. Hydrogen used as rocket fuel or fuel for fuel cells require storage. In the case of fuel cells, a relatively high hydrogen purity (at least 3.0 - that is, 99.9%) is required. Therefore, in order to ensure proper and long-term operation of the fuel cell, hydrogen must be obtained by certain production methods. Hydrogen production for energy purposes is justified only, when waste energy is used to this process (e.g. energy from energy valleys or waste disposal). Energy from renewable energy sources (sun, wind, waves, geothermal energy) can also be used to hydrogen production, then hydrogen is treated as an energy carrier.

### **3. Hydrogen storage**

Hydrogen storage is a very problematic process. It is connected with the characteristics and properties of hydrogen. In relation to its weight, hydrogen has among fuels the highest high heating value (HHV-141.6 MJ/kg) [6]. HHV value with reference to volume are much smaller for hydrogen (12.73 MJ/m<sup>3</sup>) than for other fuels, because this gas is characterized by a very low density (under normal conditions, it is about 0.0899 kg/m<sup>3</sup> [6,7]). Consequently, the amounts of energy per unit volume at atmospheric pressure is very low. Therefore, it is necessary to apply technology which can increase amount of stored energy per volume and weight units, which is very important in the mobile systems case. There are several possibilities to store hydrogen. The most popular methods of hydrogen storage can include: compression (gas pressure even to 70 MPa), condensation, or bound hydrogen in the form of metal hydrides or compounds [8]. Compressed hydrogen can be stored in pressure tanks, excavations after oil and gas, underground aquifers or salt caverns. In this case the main problem arises from the hydrogen diffusion through the walls and all fittings due to the very small hydrogen particle size.

Using of cryogenic hydrogen storage methods involves higher energy effort than in gas compression technology. Gas is condensed and then is stored in very low temperature around  $-253^{\circ}\text{C}$  [9]. This method requires also well-insulated tank, however it is not able to completely eliminate the problem associated with evaporation of hydrogen.

Another way to hydrogen storage are tanks with adsorbent coatings. The principle operation of that tank is based on the ability to penetrate hydrogen inside the crystal structure of metals. Hydrogen molecule dissociates after gets closer to the surface and then isolated hydrogen atoms penetrate into the crystal structure. Metal hydrides tanks are equipped in a coatings constructed usually by two types of metal alloys:  $\text{AB}_2$  and  $\text{AB}_5$  [10]. The desorption process may take place under reduced pressure and at ambient temperature. A significant problem with this method is time of charging and discharging tank, high mass of the container and high sensitivity on various impurities, but it is also a very safe hydrogen storage method, because the amount of hydrogen escaping from tanks is very small.

#### 4. Research of low-pressure tanks with physical metal hydrides

The object of the study was the adsorption pressure tank, which was used to hydrogen storage process. Hydrogen during research was produced by water electrolysis process. Figure 1 shows change of the analyzed parameters values during the charging process of the tested tank.

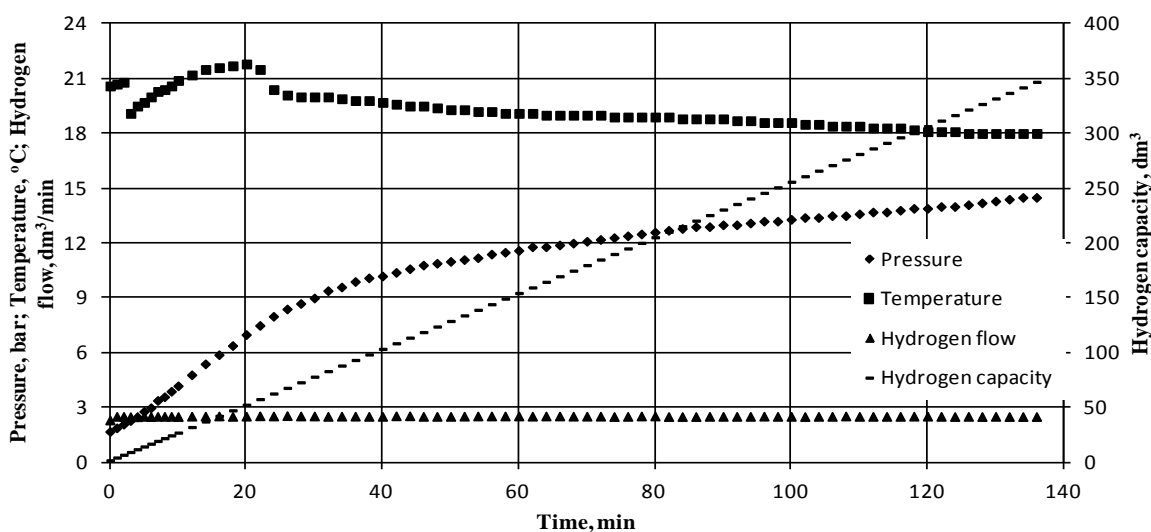


Fig. 1 Change of the analyzed parameters values during the charging process

Adsorption as an exothermic process, causes that the temperature of container is raising up, while filling it with hydrogen. Accordingly, container cooling during charging process is required. For this purpose can be used e.g. a water bath. Tank cooling reduces the temperature, which has a beneficial effect on the speed of the process and the durability of materials used in the construction of reservoirs. A stream of hydrogen was maintained on constant level during the experiment and was about  $2.5 \text{ dm}^3/\text{min}$ . The maximum amount of hydrogen stored in this type of tanks depends on the capacity of containers and design constraints associated with maximum pressure of stored gas.

The desorption process occurring during emptying of the tank is endothermic. Therefore, during the process of emptying the tank, temperature is decreasing. In this case is important to appropriate heating of the tank to provide an adequate temperature to ensure continuity duration of the desorption process and durability of adsorbent layers in the reservoir.

#### 5. Summary

As a result of shrinkage of the natural resources on Earth, proper management of energy resources is essential. Processes associated with energy storage could help to optimize the operation of power energy systems. One of the possibilities is to use energy storage systems which use surplus energy in the power systems for hydrogen production in electrolysis process, which can be used as an energy carrier. The effective hydrogen storage is possible by using a low-pressure vessels, provided with a special layer, which can bond hydrogen gas inside own structure.

#### Acknowledgments

The results presented in this paper were obtained from research work financed within statutory research funds.

#### Literature:

1. Węcel D, Ogulewicz W.: *Identification influence of the electrolyzer power supply method on efficiency hydrogen fuel production*. Rynek Energii, 4(89), 2010
2. Węcel D, Ogulewicz W., Kotowicz J., Jurczyk M.: *Dynamic of electrolyzers operation during hydrogen production*. Rynek Energii, 1(122), 2016
3. Kotowicz J., Bartela Ł., Węcel D, Dubiel K.: *Hydrogen generator characteristic for storage of renewably-generated energy*. Energy Vol. 118, 2017



4. Kothari R., D. Buddhi D., Sawhney R.I.: *Comparison of environmental and economic aspects of various hydrogen production methods*. Science Direct, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12, 2008
5. Ursua A., Gandia L. M., Sanchis P.: *Hydrogen Production From Water Electrolysis: Current Status and Future Trends*. IEEE Vol. 100, 2012
6. Abbasi T., Abbasi S.A.: *'Renewable' hydrogen: Prospects and challenges*, Science Direct, Renewable and Sustainable Energy Reviews 11, 2015
7. Mazloomi K., Gomes C.: *Hydrogen as an energy carrier: Prospects and challenges*, Science Direct, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 2012
8. Basniev K.S., Omelchenko R.J., Adzynova F.A.: *Underground Hydrogen Storage Problems in Russia*, 18th World Hydrogen Energy Conference, WHEC 2010
9. Valenti G.: *Hydrogen liquefaction and liquid hydrogen storage*, Science Direct, Compendium of Hydrogen Energy, 2016
10. Kumar S., Jain A., Ichikawa T., Kojima Y., Dey G. K.: *Development of vanadium based hydrogen storage material: A review*, Science Direct, Renewable and Sustainable Energy Reviews 72, 2017

**JANUSZ KOTOWICZ<sup>1</sup>, MICHAŁ JURCZYK<sup>2</sup>, DANIEL WĘCEL<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup> Silesian University of Technology, Faculty of Energy and Environmental Engineering, Institute of Power Engineering and Turbomachinery

## **HYDROGEN AS AN ENERGY CARRIER IN POWER TO GAS TO POWER SYSTEMS**

**Key words:** energy storage, hydrogen, Power to Gas to Power systems

### **Abstract**

The article describes hydrogen properties as energy carrier. Possibilities of hydrogen use in energy systems are listed. Technology Power to Gas to Power as a way of energy storage is presented. The characteristics of Power to Gas to Power pilot-plant and problems with its operation in commercial scale are presented.

### **1. Introduction**

Hydrogen despite the fact that is the most common element on Earth and in the Universe is not easy to use for energy purposes. This is due to the fact that hydrogen rarely occurs as a free element. Much more often hydrogen occurs as a chemical compound, and in such form cannot be used as an energy carrier. Currently generated hydrogen is used in production process of nitrogen fertilizers, methanol, synthetic rubber and lubricants and it is also widely used for the synthesis of ammonia or petroleum desulfurization. Despite the fact that hydrogen has a number of important characteristic for the global economy in relation to fuels, the use for energy purposes is small and usually in laboratory systems. The most important characteristics of hydrogen as an energy carrier include:

- highest value of combustion energy per mass unit,
- low energy of initiation point (more efficient combustion),
- wide range of flammability (limits from 4% to 70% in air mixture),
- product of hydrogen combustion is pure water (what decreases environmental pollution),
- practically an inexhaustible supplies (unfortunately, in the water form).

The use of hydrogen for energy purposes is still far from being achieved, mainly due to the huge installation and production costs and also problems with the exploitation of high power operation systems. It is also treated as a very dangerous gas. This results a large social resistance associated with the use hydrogen as a fuel. In this regard there are still many problems associated with the production, storage, transport and use of pure hydrogen which have to be solved 1, 3.

In the energetic sector and transport hydrogen as a fuel is primarily used in PEM fuel cells. There is still no high power fuel cell systems based on hydrogen, the largest units have power about 1 MW, but there are perfect for use in industrial installations, households and transport. The main advantage of this technology is the low operating temperature, quick start and high flexibility. The main problems for this group of fuel cells is use of very expensive electrode material (platinum) and purity requirements for the fuel. Stored hydrogen can also be used in gas turbines. It is supplied to the turbine, together with other flammable gases and can be transported by existing infrastructure to natural gas transmission.

### **2. Idea of Power to Gas to Power installations**

In Power to Gas to Power installations electrical energy is converted into a gaseous fuel, which is stored or transported and then used to produce electricity. This technology is used for energy surplus storage in the form of hydrogen and reusing it in periods of high electricity demand. Electricity surplus are generated mainly in power plants based on renewable energy sources (wind farms and photovoltaic power plants). These installations can be connected to the power grid or work on a separate network (locally). The main elements of the installation are: electrolyzers which produce hydrogen and oxygen in water electrolysis process, gas storage facilities and power generators which use stored gas (Fig.1). Alkaline electrolyzers or electrolyzers with polymeric membrane (PEM) are most

frequently used. As a gas store are commonly used pressure vessels, low-pressure tank with metal hydrides or cryogenic vessels. It is also possible hydrogen injection to the existing pipelines network. Whereas, role of electric generators in most cases perform PEM fuel cells. The use of gas turbines for this purpose is limited, because they cannot be supply by pure hydrogen.

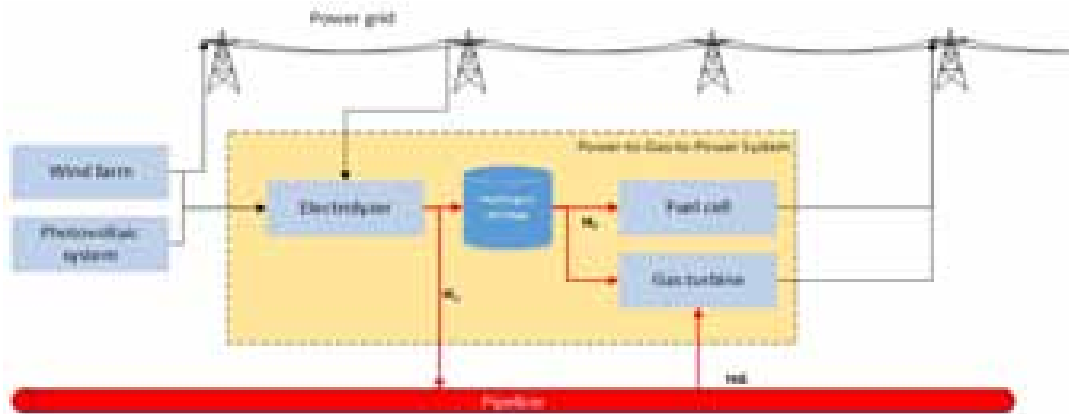


Fig. 1 Diagram of Power to Gas to Power system

Currently, there is great interest in the use of hydrogen for energy storage <sup>3</sup>. It is associated with very rapid increase of installed capacity in the power plants characterized by unstable electricity production. Although share of wind and solar power plants which use photovoltaic cells in global electricity production is about 5%, but per a few years growth of installed power capacity of these kind of units is still at 15-30% level<sup>4</sup>. It should also be noted that current global energy sector largest number of funds are invested in renewable energy technologies. <sup>4</sup>

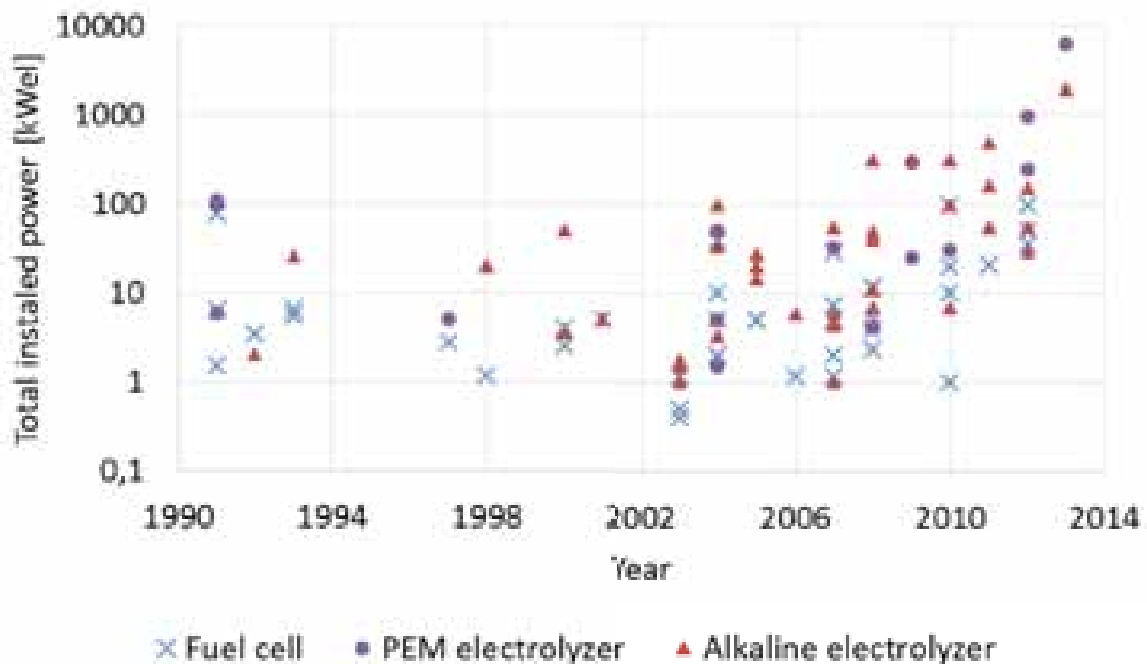


Fig. 2 Installed power in Power to Gas to Power pilot plants

Therefore, a number of energy storage projects in hydrogen is executed all over the world <sup>5</sup>. In most cases, low power systems are constructed. The electric power of electrolyzers is usually lower than 1 MW, and power of fuel cells reaches 100 kW. Hydrogen can also be used in: petrol stations, aggregates with internal combustion engines, CHP (*combined heat and power*) systems or it can be converted to methane. This leads to lower power of installed fuel cells in relation to the power of used electrolyzers.

### 3. Summary

Power to Gas to Power installations are more and more frequently built and tested as units for energy storage, derived from wind farm and solar power plants. These installations will occur primarily in countries where unstable renewable energy sources are a significant part of the electricity production in power systems. The development of energy storage in hydrogen, is related to the potential large amount of stored energy, comparable to PSH systems (*Pumped Hydroelectric Storage*). Unfortunately, existing installations, compared to other energy storage technologies have relatively low electrical efficiency which does not exceed 40%. At the same time the high cost and short lifetime make it necessary to conduct further research on this type of systems.

### **Acknowledgments**

The results presented in this paper were obtained from research work financed within statutory research funds.

### **Literature:**

1. A.G. Ter-Gazarian: Energy Storage for Power Systems. The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2011
2. Kotowicz J., Bartela Ł., Węcel D., Dubiel K., Hydrogen generator characteristics for storage of renewably-generated energy. Energy, DOI:10.1016/j.energy.2016.11.148
3. Fuel Cell Technologies, Market Report 2015. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, DOE/EE1485, August 2016
4. REN21. 2014. Renewables 2016 Global Status Report. Paris. ISBN 978-3-9818107-0-7
5. Gahleitner G.: Hydrogen from renewable electricity: An international review of power-to-gas pilot plants for stationary applications. International Journal of Hydrogen Energy, 38 (2013), 2039-2061

**E.LUDWIG, A.LIMBECK P.LINHARDT**

*Institute of Chemical Technologies and Analytics,  
Vienna University of Technology, Vienna, Austria*

## **CORROSION OF COPPER IN COMBINATION WITH POLYMERS**

High voltage semiconductor devices (chips) are widely used, e.g. in cars. They consist of different material-layers, operate at high electrical voltage and are exposed to harsh environmental influences, e.g. changing temperatures and humidity. These factors can lead to corrosion of the chip metal. To protect the chip metal-layer, it is usually covered by an isolating polymer-layer, typically polyimide.

To determine the effects on the system copper/polyimide by external influences mentioned above, samples were exposed to a cycling stress test. Stressed samples were analyzed to detect possible material changes and to obtain an understanding of degradation processes.

Samples were cut from a silicon wafer with an oxide barrier-layer, carrying a layer of copper, structured as an interdigitated comb with 50  $\mu\text{m}$  spacing, covered by a  $\sim 4\mu\text{m}$  polyimide-layer. Sample size was  $10 \times 10 \times 0,75 \text{ mm}^3$ .

Samples were cycled, each cycle consisting of two steps:

Step one: 7 hours exposure to electrolyte (e.g. 3% NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, pH1)

Step two: 17 hours storage in a climate chamber w/o electrolyte (80°C, 80%RH, 40V)

Monitoring of the insulation properties was done with EIS after each cycle. After either sample failure by short circuit or after 10 cycles, samples were analyzed.

Surface changes were observed by digital microscope and SEM. Spots with visible degradation were investigated by FIB-cuts. Methods used to determine polymer changes were ATR-FT-IR and LIBS. LA-ICP-MS was used to analyze possible diffusion and re-distribution-phenomena in the polymer-layer.

Different polymer degradation and failure times were observed for different electrolytes. Copper diffusion through the polyimide was identified. Chloride seems to move quickest through polyimide. Surface modifications were also detected.

**BARBORA MIKLOVÁ, MAREK STAF, VERONIKA VRBOVÁ**

*University of Chemistry and Technology, Prague, Czech Republic*

## **INVESTIGATION OF CO<sub>2</sub> CAPTURE FROM FLUE GAS USING HYDROTALCITE-LIKE COMPOUNDS IN FLUIDIZED-BED REACTOR COMPARED WITH FIXED-BED REACTOR**

### **Introduction**

Since the year 1990 an increase in total carbon dioxide emissions is observed in the atmosphere and the trend continues till present. This increase contributes significantly to the total greenhouse gases emissions, which affect climatic changes e.g. melting of glaciers or rise in sea level [1, 2]. Based on the above mentioned problems, the United Nations exert pressure on countries, by using international conventions, to try to restrict carbon dioxide emissions. The last convention, the Paris Agreement, entered into force on 4. 11. 2016 and the ratifying countries hereby present their emissions commitments and strategies till the year 2020 [3]. All of these aspects are powerful driving forces lead to development of new technologies for decreasing carbon footprint in the atmosphere. These

technologies are collectively called Carbon Capture and Storage (CCS) and consist of three separate steps: capture, transportation and storage. Post-combustion capture is a technology, which can be implemented, in fact, in three different ways: absorption, adsorption and membrane separation.

This work is focused on adsorption process when CO<sub>2</sub> is captured on laboratory prepared sorbents called hydrotalcite-like compounds. According to the literature, these sorbents were proven as a suitable material among other possible substrates [4, 5].

Hydrotalcite-like compounds (HTLCs), which are known as layered double hydroxides or anionic clays, were prepared in a laboratory to capture CO<sub>2</sub> from flue gas. HTLCs were synthesized according to a study published by Yang and Kim [6]. They describe two methods for producing these sorbents, low supersaturation method, where it is necessary to control the value of pH and high supersaturation method. The second one provides better results, mainly when the molar ratio is Mg/Al = 2 and it is impregnated with 20 wt. % K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> [6, 7].

### Material and methods

For purposes of measurement, HTLCs were prepared in laboratory using high supersaturation method. Two solutions (solution 1: Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O + Al(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 9H<sub>2</sub>O and solution 2: NaOH + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) were mixed together and then the precipitate has been crystallised with permanent stirring for 18 hours at 65 °C. After this step, the solution was filtered and dried in an oven at 100 °C and then calcined at 450 °C for 2 hours. The impregnation step was performed after the calcination. The impregnation process was made by incipient wetness method, when the adequate amount of K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> was impregnated on the hydrotalcite to achieve the loading of 20% of K. Then the sample was calcined again at 450 °C for 8 hours and then it was prepared for the measurement.

HTLCs were characterized by determining specific surface area and pore size distribution. Coulter SA 3100 (producer Beckman Coulter GmbH, Germany) was used for this purpose. It is a universal analyser, which is used to measure the specific surface area and the pore characterisation of solid materials. Further utilisation is in measurement of adsorption isotherm, from where is determined BET surface.

Testing of sorption properties were performed in a laboratory apparatus with a fixed-bed as well as in a fluidized-bed reactor. The particle size for the fixed-bed was in the range 0.5 – 2 mm and for fluidized bed up to 0.5 mm. The temperature in both reactors was set at 500 °C for calcination and 400 °C for carbonation. The temperature of sample was continuously measured by Ni-CrNi thermocouple and it was recorded by thermometer with datalogger Greisinger GMH 3250 (producer GHM Messtechnik GmbH Standort Greisinger, Germany). Calcination step was realised under nitrogen atmosphere while carbonation step under CO<sub>2</sub> (13.58 mol. %) in nitrogen. Gas exiting the reactor was cooled down and analysed in an infrared analyser ASEKO AIR LF. The total amount of gas passed through was measured by a wet gas meter at the end of the apparatus.

### Results and discussion

Measurements of BET surface and total pore volume were performed for HTLCs before testing of cyclic calcination/carbonation and after the experiment ended. The comparison among all hydrotalcite compounds is shown in fig. 1, where "HTLC 2" refers to HTLC before the measurement and "HTLC 2 after" indicates the sample after the experiment and the same labelling is for the other tested samples. When the unimpregnated hydrotalcite, labelled as HTLC 2, is compared with the impregnated samples (HTLC 3 and HTLC 4) it is clearly seen that the highest value, for both the pore volume and BET surface, achieves HTLC 2. This effect is caused due to impregnation process, when potassium carbonate clogged pores. Higher values for HTLC 4 in this chart are probably caused by better application of the impregnation process.

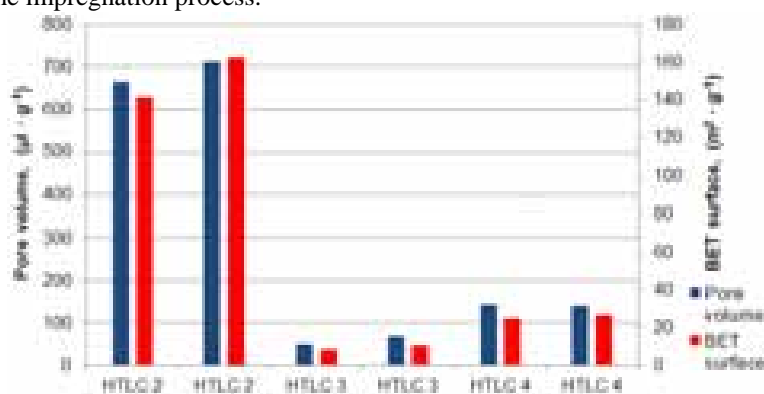


Fig. 1.: Comparison of pore volume and BET surface among hydrotalcites.

Sorption properties of HTLCs were tested in two different apparatus. One apparatus was equipped with a fixed-bed reactor and the second one had a fluidized-bed reactor. Each experiment included 10 cycles of calcination/carbonation. The unimpregnated sample (HTLC 2) and impregnated sorbent (HTLC 3) were tested in the fixed-bed reactor. Based on the received values of CO<sub>2</sub> captured higher capacity for HTLC 3 was determined. According to these results, when the impregnated sorbent achieved higher values, it was decided to test the impregnated HTLC also in the fluidized-bed reactor. The average sorption capacity of HTLC 4, achieved via fluidization regime, was a little bit lower compared to the fixed-bed reactor. The sorption capacities measured in the both apparatuses for all samples are listed in fig. 2. In this chart the quantity of CO<sub>2</sub> released in each cycle is also shown. The amount of

released CO<sub>2</sub> is higher than the captured amount. This effect suggests that there are physical sorption and chemisorption contributing together. Since the larger part of CO<sub>2</sub> is captured by physical sorption on the monolayer surface and the rest is bounded by chemisorption in a multilayer surface. As one can see in the graph, capture of carbon dioxide is quite stable among the cycles; this is caused by reversible chemisorption step. However, there are little drops of the capacities, which is due to irreversible chemisorption process.

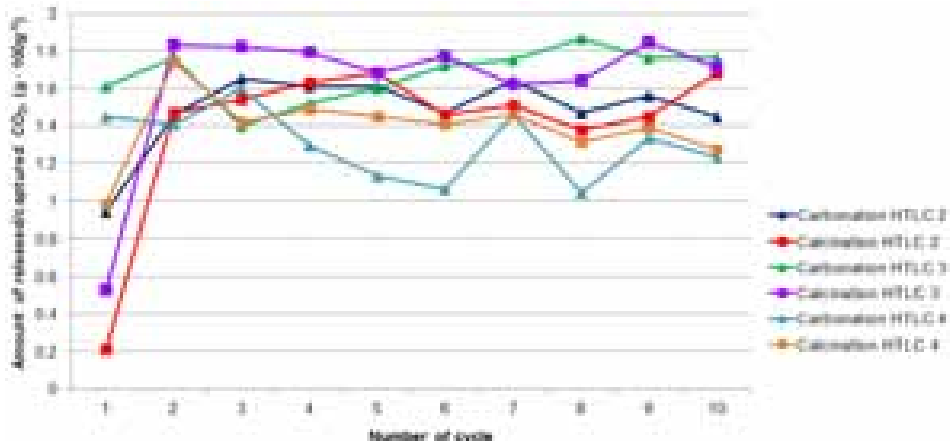


Fig. 2.: Captured/released CO<sub>2</sub> in carbonation/calcination step in each cycle.

### Conclusion

The laboratory prepared hydrotalcite compounds were measured in 10 cycles of calcination/carbonation in order to investigate their stability and sorption capacities of CO<sub>2</sub>. Testing of these properties was performed in two different apparatuses; concretely in the apparatus with the fixed-bed reactor and the fluidized-bed reactor. Three different HTLCs were tested, the unimpregnated HTLC 2, and two impregnated by K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> HTLC 3 and HTLC 4. HTLC 2 achieved the average CO<sub>2</sub> capture 1.49 g CO<sub>2</sub> · 100 g<sup>-1</sup> and HTLC 3 had the average capture 1.68 g CO<sub>2</sub> · 100 g<sup>-1</sup>. HTLC 4, which was tested in the fluidized-bed reactor, reached the average capacity 1.30 g CO<sub>2</sub> · 100 g<sup>-1</sup>. The hydrotalcite from the fluidized regime in comparison with the hydrotalcites from the fixed-bed reactor reached lower values of CO<sub>2</sub> capture, by an average of 0,28 g CO<sub>2</sub> · 100 g<sup>-1</sup>. Even if CO<sub>2</sub> capture on HTLCs is not so high it can be stated that they are stable during the cycles of calcination/carbonation. Further more these materials do not require high temperatures of regeneration (only 500 °C) and it is very fast. From these experiments can be concluded that a hydrotalcite compounds could be useful in the process of removing CO<sub>2</sub> and also at industrial scale.

### References

1. IPCC. [http://www.ipcc-data.org/observ/ddc\\_co2.html](http://www.ipcc-data.org/observ/ddc_co2.html) (accessed Jan 20, 2017).
2. Ramanathan, V.; Feng, Y. Air pollution, greenhouse gases and climate change: Global and regional perspectives. *Atmos. Environ.* **2009**, *43*, 37–50.
3. United Nations Framework Convention on Climate Change. [http://unfccc.int/paris\\_agreement/items/9485.php](http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php) (accessed Jan 20, 2017).
4. Figueroa J. D.; Fouth T.; Plasynski S.; McIlvried H.; Srivastava R. D. Advances in CO<sub>2</sub> capture technology—The U.S. Department of Energy’s Carbon Sequestration Program. *International Journal of Greenhouse Gas Control* **2008** *2* 9–20.
5. Bhatta, L. K. G.; Subramanyam, S.; Chengala, M. D.; Olivera, O.; Venkatesh, K. Progress in hydrotalcite like compounds and metal-based oxides for CO<sub>2</sub> capture: a review. *Journal of Cleaner Production* **2015**, *103*, 171–196.
6. Yang, J.; Kim, J. Hydrotalcites for adsorption of CO<sub>2</sub> at high temperature. *Korean J. Chem. Eng.* **23** (1), 77 (2006)
7. Miguel, C. V.; Trujillano, R.; Rives, V.; Vicente, M. A.; Ferreira, A. F. P.; Rodrigues, A. E.; Mendes, A.; Madeira, L. M. High temperature CO<sub>2</sub> sorption with gallium-substituted and promoted hydrotalcites. *Separation and Purification Technology* **127**, 202 (2014).

ZLATAN MUJKIĆ<sup>A</sup>

<sup>a</sup> School of Business and Management, Operations Management and Systems Engineering, Lappeenranta University of Technology, Lappeenranta, Finland

# APPLICATION OF PINCH ANALYSIS IN REVERSE LOGISTICS OF SUPPLY CHAIN OF CRITICAL MATERIALS

## Abstract:

The extraction rate of rare materials has increased to meet the demand caused by the emergence of sophisticated electric and electronic products, new chemical technologies, and energy generation methods. In consequence, it has caused the rise of the materials price. Therefore, the companies decided to re-design their current business models by implementing reduce, reuse, recycle (RRR) principles. Those changes should lead to the reduction of extraction rate of raw materials. The objective of this work is to explore the various alternative supply chains of critical material (CM), aiming at implementation of reverse logistics. The result of such activities is closed loop supply chains (CLSC). We used the well-established Pinch Analysis (PA) method to show that recycling of the collected scrap of critical metals is economically justified, and can contribute to the reduction of environmental impact of critical metals extraction, processing and use.

**Key words:** Critical material, pinch analysis, closed loop supply chains.

## Introduction:

Reverse SC involves activities such as collecting and recovery of scrap from products at the end of life cycle. The main player in reverse logistics of SC are economy, governments and consumers. The combination of forward and reverse SC is CLSC (Amin & Zhang 2013). Closing the loop of supply chains (SC) has for objective to reduce the loss of quantities and qualities of materials by utilizing RRR. Some measures of CLSC include preventing entering contamination alloys during the waste management and refinery processes (Hatayama et al. 2014).

CLSC network design give a good and efficient system of material flow related to the environmental concerns. Closing the loop of supply chain can have a positive effects on efficiency, reusability and recyclability of materials and products. In the environmental aspect closing the loop has positive impacts, due to the reduce waste (Özkır & Başlıgil 2013).

The objective of this work is to demonstrate the application of PA method in the process of scrap collecting and predicting the optimal rates of collected critical materials to be used for recycling.

## Pinch analysis:

Over the past forty years PA has been developed as a power graphical method for various application. It first appeared in the work of (Linnhoff & Flower 1978), later water pinch (Wang & Smith 1994) and hydrogen pinch (Towler et al. 1996). Besides this pinch analysis has is used in various areas of engineering (Bandyopadhyay & Desai 2015).

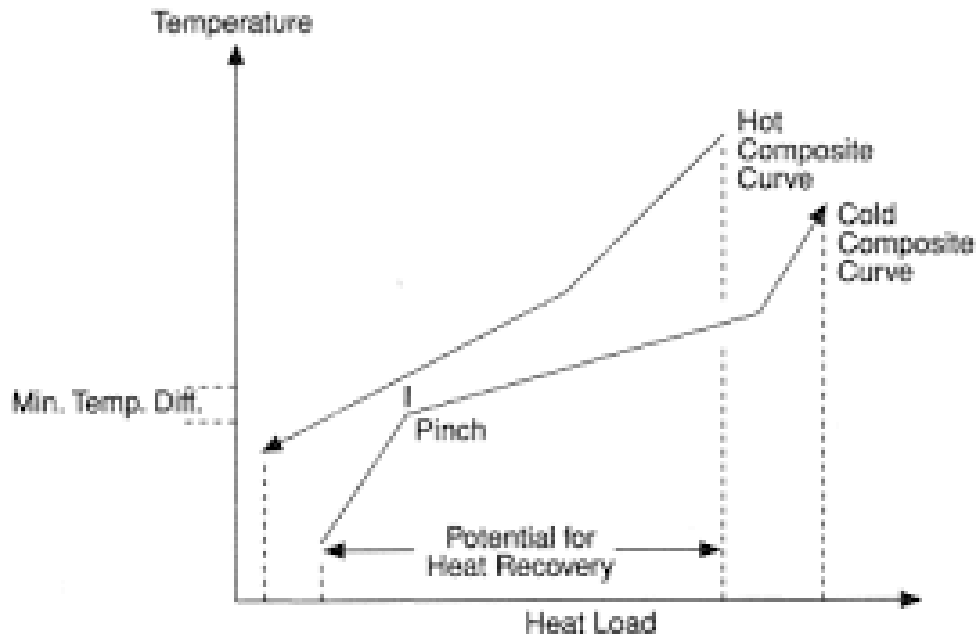


Figure 13. Composite diagram of utility pinch analysis

Figure 13. Minimum utility consumption in heat exchangers, the closest point between the hot and cold composite curves is called pinch point (PP). The value of PP is the determining factor in heat recovery rate in heat exchangers.

## From pinch analysis to material of pinch

Material pinch analysis is used to quantify how much of scrap can be recovered for recycling under given conditions and limitations. Collected data on the quantity “source” and quality “sink” for recycling process PMA is used to find optimal level of material recycling which minimizes usage of raw material (Hatayama et al. 2014). In

material pinch analysis (MPA) the instead of the hot (source) and cold (sink) composite curves, one should use different quantities and qualities of gathered scrap from different sources (Ekvall et al. 2014).

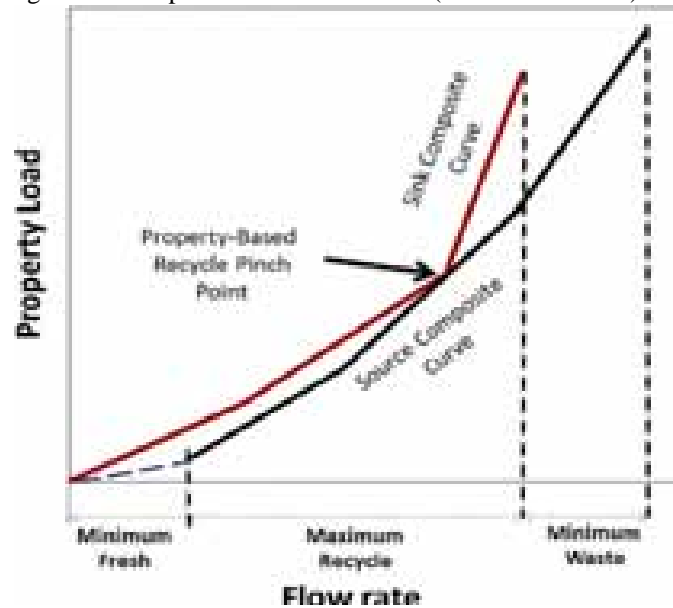


Figure 14. Composite diagram of material pinch analysis

Similar to minimization of utility consumptions and composite diagram *Figure 13*. For minimizing the usage of raw material by collecting scrap for recycling, *Figure 14*. is used to represent recycle rate of collected scrap. Where PP present the optimal recovery rate point, while the difference between sink and source composite curves presents the required usage of raw “minimum fresh” and recycled “minimum waste”.

#### Conclusions:

The applications of PA in various field of industries, show how well established is PA. This is a good starting point to incorporate PA with scrap collecting to show how much scrap can be recycled. The MPA is a powerful tool for predicting optimal level of scrap recycle rate, also recycling of scrap can have positive impacts on economical and environmental sustainability.

#### Acknowledgment:

Author is grateful for the financial support from Sigma Agile, a part of Erasmus Mundus Action 2 scholarship program, as well as support from Saint-Petersburg Mining University for the invitation to participate on the International Forum - Contest ‘Topical Issues of Rational Use of Natural Resources’. Also author is grateful to his supervisor Andrzej Kraslawski, who was of great support during the making of this work.

#### References

1. Amin, S.H. & Zhang, G., 2013. A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return. *Applied Mathematical Modelling*, 37(6), pp.4165–4176.
2. Bandyopadhyay, S. & Desai, N.B., 2015. Cost optimal energy sector planning: A Pinch Analysis approach. *Journal of Cleaner Production*, 136, pp.246–253.
3. Ekvall, T. et al., 2014. Material pinch analysis: a pilot study on global steel flows. *Metallurgical Research & Technology*, 111(6), pp.359–367.
4. Hatayama, H., Daigo, I. & Tahara, K., 2014. Tracking effective measures for closed-loop recycling of automobile steel in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 87, pp.65–71.
5. Linnhoff, B. & Flower, J.R., 1978. Synthesis of heat exchanger networks: I. Systematic generation of energy optimal networks. *AIChE Journal*, 24(4), pp.633–642.
6. Towler, G.P. et al., 1996. Refinery Hydrogen Management: Cost Analysis of Chemically-Integrated Facilities. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 35(1988), pp.2378–2388.
7. Wang, Y.P. & Smith, R., 1994. Wastewater minimisation. *Chemical Engineering Science*, 49(7), pp.981–1006.
8. Özkır, V. & Başlıgil, H., 2013. Multi-objective optimization of closed-loop supply chains in uncertain environment. *Journal of Cleaner Production*, 41, pp.114–125.

**POWIDEL ANNA MARIA**

*Wroclaw University of Environmental and Life Sciences, Wroclaw, Poland*

# WATER ISSUES IN FOOD INDUSTRY

## Introduction

Food industry companies, due to their character of working, can have negative influence on natural environment. In comparison to other industry branches, food industry uses big amounts of water, utilizing surface water and ground water, and generates onerous wastewater which can get in on to natural waters and soil. Furthermore it is a source of waste – organic waste are significant. It also emits particulates and gases to the atmosphere. In case of food production, water issues are substantial. The dairy industry is the food industry branch, which uses water the most and generates plenty of wastewater (Casani et al. 2005, Kasztelan and Kierepka 2014, Konieczny and Szymański 2005, Malińska 2005, Meneses et al. 2017).

## Water and sewage economy in food industry

Food industry plants use water mainly from their own ground water intake. Water is involved in various processing stages: rinsing, blanching, heating, pasteurization etc. Most of water is used for washing raw materials, especially in fruit and vegetable industry, sugar beet and potato processing. Water is also used during cleaning the installation, machinery etc. and cooling.

Wastewater are generated at various stages of technological process, e.g. during washing and processing raw materials. Amount and composition of sewage depend on type of industry, technology, seasonality of production and amount of used water. One food plant can produce from several to several thousand cubic meter of wastewater per day. Sewage composition is also very important – it can have many heavy substances and due to this fact, wastewater must be properly treated (Casani et al. 2005, Konieczny and Szymański 2005, Malińska 2005, Meneses et al. 2017).

## Ways to minimize negative influence of food industry on environment in the field of water and sewage economy

There are many ways to improve environmental parameters in dairy plants. The choice depends on financial resources, company's size, environmental policy or type of production.

Amount of used water can be minimized by measuring and monitoring its usage or by providing an optimal combination of pasteurizer, centrifuge and homogenizer. What is more, closed circulation of cooling water or limited number of rinses in the CIP (*Clean-in-Place*) system can be applied. Water used during production can be reused by dint of various techniques i.a. membrane filtration. Water reused in this way can be used while cooling, washing and even as process water. Membrane filtration allows to remove pollutants from water, including organic ones, and microorganisms as well. It includes microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis. Membranes can be manufactured from organic or inorganic materials. Polymer membranes are used mostly, mainly because they are cheap. Other ways of water purification are i.a. sand filtration and disinfection with ozone, chlorine or ultraviolet radiation (UV) (Casani et al. 2005, Bodzek 2013, Hadryjańska 2008, Meneses et al. 2017). As an example, during milk production bottle washing water can be treated with sand filtration and gas chlorine. Condensate from evaporators can be reused as well by purification with pre-filtration, nanofiltration and ultraviolet radiation (Casani et al. 2005).

Sewage from dairy industry have high level of BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) and COD (*Chemical Oxygen Demand*), variable pH, big amount of suspended matter, nitrogen, phosphorus, proteins, fats, milk residues etc. Wastewater is generated through i.a. washing the floor, machinery, cooling systems, technological installation. It can be rich in organic substances like proteins or fats. Due to this fact there is a risk of anaerobic transformations which lead to emitting toxic hydrogen sulfide and odours. Furthermore fats can minimize sewer patency. Reducing production of sewage includes their purification and reusing, as mentioned above. Company can have its own sewage farm. Dairy industry wastewater must be properly treated before it gets into sewage system. Mechanical-chemical treatment using flotation process (in order to separate suspended matter) and coagulants and/or polymers is used most often. Mechanical method includes i.a. grid filtering, use of separators and flotators, especially DAF (*Dissolved Air Flotation*) flotators. Nowadays biological methods are used more and more – with microorganisms which metabolize carbon, nitrogen and phosphorus, using simultaneously ferrum or aluminium coagulants (Hadryjańska 2008, Kasztelan and Kierepka 2014, Konieczny and Szymański 2005, Malińska 2005).

## Summary

Food industry impacts negatively on environment in many ways. Nevertheless, amount of utilized water and amount and composition of sewage seem to be the biggest problem. Therefore it is needed to improve existing solutions or implement the new ones in order to minimize harmful impact of industry on environment (Meneses et al. 2017).

## References

1. Bodzek M. 2013. Przegląd możliwości wykorzystania technik membranowych w usuwaniu mikroorganizmów i zanieczyszczeń organicznych ze środowiska wodnego (An overview of the possibility of membrane techniques application in the removal of microorganisms and organic pollutants from the aquatic environment). *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 16 (1): 5-37.
2. Casani S., Rouhany M., Knøchel S. 2005. A discussion paper on challenges and limitations to water reuse and hygiene in the food industry. *Water Research* 39: 1134–1146.



3. Hadryjańska B. 2008. Pro-ecological activities of dairy firms in Wielkopolska as a factor of their competitive position. *Journal of Agribusiness and Rural Development* 4 (10): 25-35.
4. Kasztelan A., Kierepka M. 2014. Oddziaływanie przemysłu spożywczego na środowisko w Polsce (Impact of the food industry on the environment in Poland). *Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu, Roczniki Naukowe*, Vol. XVI, No. 2: 109-116 (<http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/201571/2/16-2-Kasztelan.pdf>, date of access: 14.02.2017).
5. Konieczny P., Szymański M. 2005. Ścieki przemysłu spożywczego – charakterystyka, zagrożenia, korzyści (Sewage of food industry – characteristics, risks, benefits). *Eko-net.pl* 3 (10): 16-23 ([https://www.researchgate.net/publication/272086168\\_Scieki\\_przemyslu\\_spozywczego\\_-\\_charakterystyka\\_zagrozenia\\_korzysci](https://www.researchgate.net/publication/272086168_Scieki_przemyslu_spozywczego_-_charakterystyka_zagrozenia_korzysci), date of access: 14.02.2017).
6. Malińska K. 2005. Problemy ochrony środowiska w przedsiębiorstwach przemysłu spożywczego (Environmental protection problems in food industry companies). Conference Paper (Conference: Environment and health. VII All-Poland Popular Science Session), Częstochowa University of Technology (<http://www.ietu.katowice.pl/wpr/Aktualnosci/Czestochowa/Referaty/Malinska.pdf>, date of access: 14.02.2017).
7. Meneses Y. E., Stratton J., Flores R. A. 2017. Water reconditioning and reuse in the food processing industry: current situation and challenges. *Trends in Food Science & Technology* 61: 72-79.

**THOMAS PUTZ**

*Vienna University of Technology / Technische Universität Wien*

## **SYNTHESIS OF FORMALDEHYDE-FREE PHENOLIC RESINS OUT OF BIOMASS FEEDSTOCK**

Since its invention in 1907 phenol-formaldehyde-resins are still irreplaceable for their use in adhesives, binders, composite matrixes and fire retarding materials. With formaldehyde being classified as toxic and carcinogenic by the World Health Organisation, and phenol having the potential to cause serious health problems as well, replacing these chemicals with less harmful substances is of significance. Methanol, the usual precursor in formaldehyde production is mainly produced out of fossil fuels like coal or methane, while phenol production uses crude oil as feedstock. Although the actual date of reaching peak oil is a highly discussed topic, there is consensus among scientists that eventually mankind will have to find alternative resources for replacing fossil fuels. Besides, the connection between CO<sub>2</sub>-emissions and climate change highlights the necessity for accessing renewable carbon sources.

The first generation of biomass-derived chemicals and fuels, such as bioethanol or biodiesel, has already found its share on the market. While our planet's population is growing fast concerns arise, that first generation bio-fuels and –chemicals are in direct competition with global food supply. As a result second generation biofuels based on lignocellulosic feedstock are on the march. Lignocellulose, the main structural material in plants, is available in large amounts throughout the planet. As being indigestible for humans it is non-competitive to mankind's nourishment. Moreover, agricultural food production generates tons of lignocellulosic by-products, such as cereal straw, being therefore abundant for production of bio-derived chemicals and fuels. Lignocellulose consists mainly of cellulose (40-50%), hemicellulose (16-33%) and lignin (15-30%).

Cellulose is a homopolymer of glucose and hence cleavage of the polymeric bindings delivers glucose out of cellulose. Via acidic catalysed hydrolysis the β-1,4-glycosidic bindings connecting the glucose molecules are split and therefore glucose is obtained. Then the glucose is treated with high temperature, which leads to dehydration and formation of 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF). Since 5-HMF is an aldehyde containing the typical –CHO functional group it reacts in a chemically similar way as formaldehyde, enabling the use of 5-HMF as a formaldehyde substitute in phenol-formaldehyde-resins.

Lignin is a copolymer of aromatic lignols, mainly consisting of monomers like coniferyl, sinapyl and p-coumaryl alcohols. Making these phenolic compounds accessible via hydrolysis and hence creating phenol-alike reactive sites, enables the lignin-derived components to partially replace phenol in phenolic resins.

**KAROLINA RZEPIELA, MICHAŁ SOBEK, ŁUKASZ GRABOWSKI**  
*Silesian University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering*

# THE GREENPOWER POLAND CHARITY AS AN OPPORTUNITY TO PROMOTE AND DEVELOP RENEWABLE SOURCES OF ENERGY

## 1. Introduction

In response to the current and future challenges related with energy and environment, automotive industry is focused mostly on input environmental-friendly innovations into their systems. Reducing energy consumption abstracted from natural sources and substituting it by renewable energy while powering electrical vehicles create opportunities for significant improvement of environmental state.

Climate changes caused by growing carbon dioxide emissions can be limited by transforming our sociological and economic system. Transport is a sector with the highest CO<sub>2</sub> emission in Europe within last decades, that is why popularizing electrical, economic vehicles and renewable energy sources by Greenpower Poland foundation can affect improvement of quality of the environment. Ecological character of foundation, educational activities, promotion around young people and initiation of a low-weight, electrical vehicles racing league allows to get to a wide range of audience [1].

## 2. The Greenpower Poland foundation

The Greenpower Poland foundation was established on February 2014 by current and former members of Silesian Greenpower team – students project at the Silesian University of Technology which is aiming to construct lightweight electric cars. The precursor of the foundation is a British organization Greenpower Education Trust, which encompasses more than 500 racing teams and organizes electric cars racing in the UK. The main goal of the foundation is to educate young people in engineering, new technologies, mechanics, aerodynamics and to spread ecological thinking among young people. The innovative activity of the Foundation is to acquire knowledge in a practical way by setting up teams of young designers whose task is to build an electric car taking part in races on the professional racetracks. As a part of the foundation's activities, workshops for junior high school and high school students are organised, a lot of different issues are presented to them, such as modelling elements in the CAD environment, the calculation using the finite element method (FEM) and the ability to work in a team (Figure 1). Promoting ecological lifestyle among young people is a great way to inoculate awareness and opportunities of renewable sources of energy.



Figure 1. Workshop for pupils

## 3. Greenpower Poland races

Greenpower Poland Racing is based on equal opportunity idea. Participants' bolides are equipped in two 12V batteries with 36 Ah capacity each, passing the energy to 240 W brushed motor. All participants are obligated to obey technical regulations, specifying mechanical parameters and drivers' safety. It is necessary to choose right parameters for car design, which will guarantee the lowest power consumption, minimize air friction and guarantee the highest safety for drivers. The race time, limited to one or one and a half hour (depends of a class), forces participants to discover new energy saving solutions. For the first time Greenpower race took place in Poland on 3rd and 4th of September 2016 on Poznan racetrack as a Poland Car Racing Championship side event (Figure 2). In compe-

tion took part pupils and students from Poland together with pupils from Great Britain. The foundation main goal is to organise electrical vehicles racing league taking part on racing tracks in Poland.



Figure 2. Firt race in Poland, Poznan track

4. Promotion of renewable energy sources in the context of electric cars

The Greenpower Poland Foundation is an eco-friendly organization, which is actively involved in many events related with automobile and ecology. Through its activities, the foundation inspires to polemicize about saving energy and its renewable sources. It is expected that renewable energy sources will be competitive with conventional, which will allow to power electric cars with no additional cost. Process of gradual transformation from economy based on fossil fuels resources to economy based on ecological technologies is already perceptible in Poland. Acquisition of renewable energy sources on a large scale is associated with difficulties. Private companies are reluctant to invest in renewable technologies, because the benefits are distant and energy costs will usually not be significantly lower than the costs of conventional energy. Ecological formulas' races are an excellent opportunity to make influence on society and to inform about need of using energy from renewable sources [1,2].

5. Technical solutions used to reduce energy consumption

- Aerodynamic analysis

One of the most important factors that affect the results achieved by the car is an aerodynamic shape of the vehicle. Geometrical form of the vehicle is created using 3D modelling. Acceptable dimensions of the car are defined in the Technical Regulations of the Greenpower Poland foundation races. Participants are trying to design a car with the most streamlined shape to minimize the air drag forces. For the CFD method analysis a Finite Element Method is used. Numerical analysis allows to obtain results such as the value of force of pushing air and a  $C_x$  drag coefficient. In addition, analysis of pressure distribution around the vehicle's body is possible (Figure 3). Another element of the study is to analyse the air streams flowing around vehicle's bodywork to examine its effect on the vehicle (Figure 4). Minimization of a drag force values results in lower energy consumption and creation of more eco-friendly vehicles [3].

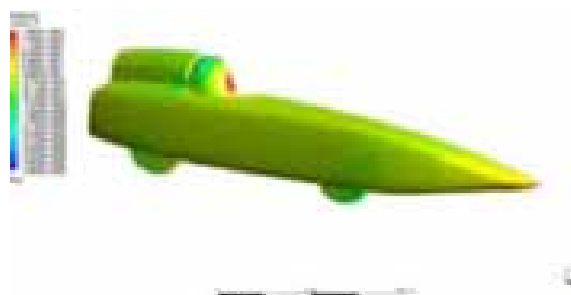


Figure 3. Air pressure distribution on SG2014 Bullet body [3]

- The use of lightweight materials

The designers of electric racing cars, in their vehicles, utilize material solutions which guarantee the least weight. The choice that contributes to the success is especially: aluminium frame and composite body. The choice of aluminium is justified by the fact, that this metal has the advantageous strength to density ratio, therefore it delivers low weight construction providing the appropriate driver's safety. Composite body based on a carbon fibre and epoxy resin, is a solution taken directly from modern F1 formula cars and ensures minimum weight, high strength properties and stiffness.

- Motor control

Effective engine control allows to operate with high speeds, adjust consumption of limited energy provided by two batteries to racing time and keep 240W brushed DC motor in a good condition (for example protect it from overheating). It was experimentally proven before, that the engine is able to work with 30A continuous current and over 60A peak current as long as adequate cooling is provide. For that reason, it is necessary to use special controller [4].

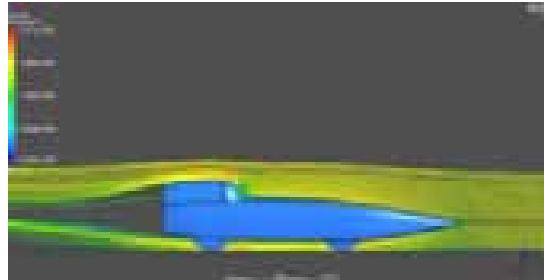


Figure 4. Air stream courses around SG2014 Bullet body [3]

## 6. Conclusion

The Greenpower Poland foundation activity contributes to influence on society under propagation ecological views. Engineering challenges and problems putting to youth, based on minimize energy consumption in electrical racing vehicles, without a doubt will help to create new solutions in terms of modern constructions, ecological technologies and using energy from renewable sources.

## References

1. Johansson B., Kelly H., Reddy A., Williams R., Burnham L.: *Renewable energy: Sources for Fuels and Electricity*. Island Press, 1993
2. Plutowicz A.: *The Premises of Renewable Energy Sources Market Development in Poland in the Light of Sustainable Development Idea*. Problems of Sustainable Development 2009, vol. 4, No 1, 109-115
3. Grabowski Ł., Baier A., Buchacz A., Majzner M., Sobek M.: *Application of CAD/CAE class systems to aerodynamic analysis of electric race cars*. Modern Technologies in Industrial Engineering 2015
4. Baier A., Baier M., Dusik D., Grabowski Ł., Miera A., Papaj P., Sobek M.: *Computer aided process od designing the mechatronic Silesian Greenpower Electric Car*. Selected Engineering Problems 2013, 4

**RENÉ SCHACH\*, CORNELIUS OERTEL, KATHARINA KOCH AND JÖRG MATSCHULLAT**  
*Institute of Mineralogy, Chair for Geochemistry and Geoecology*

## **WINTER CO<sub>2</sub> EMISSIONS FROM AGRICULTURAL SITES (SAXONY, GERMANY)**

### **Introduction**

CO<sub>2</sub> emissions from soils represent the second largest carbon flux of terrestrial ecosystems (Raich & Schlesinger 1992). Moreover, soil CO<sub>2</sub> emissions are ten times higher than the amount produced by fossil fuel combustion (Raich & Tufekcioglu 2000). CO<sub>2</sub> emissions in winter are not negligible, since more than 50 % of the assimilated carbon of the growing season can be liberated in the following winter (Aanderud et al. 2013). Since annual CO<sub>2</sub>-emission budgets are often determined based on measurements collected in the growing season (Shi et al. 2012), measurements during winter are recommended. Soil CO<sub>2</sub> emissions are predominantly caused by respiration processes of microorganisms and plant roots, and by oxidation of soil organic matter, respectively (Oertel et al. 2016). Thus, soil temperature, soil moisture, nutrient availability and soil properties influence CO<sub>2</sub> emissions significantly. During winter snow cover influences soil temperature, soil moisture and so CO<sub>2</sub> emissions (Hirano 2005). Soil microorganisms can be active down to soil temperatures of -5 to -7°C (Liptzin et al. 2009).

This study aims to compare CO<sub>2</sub> emissions of two agricultural study sites in the winter season – a silty sand soil in the upper part of Lusatia with a clayey silt soil in an area dominated by loess in central Saxony. Furthermore, these investigation plots differ in altitude, vegetation cover and nutrient availability.

### Material and methods

**Study sites:** The measurements of CO<sub>2</sub> emissions were taken on soil observation areas, being established by the Saxon State Office for Environment, Agriculture and Geology (LfULG) in the winter season 2014/2015. One of them is near the village of Spohla in Upper Lusatia, which is in close relation to an open-cast mining region (121 m a.s.l.; coordinates 51° 24' N, 14° 16' E; average temperature 9.0°C p.a.; annual precipitation 623 mm; soil texture: Ss; data by Barth & Forberg 2015), whereas the other one is located northwest of the village Naundorf (289 m a.s.l.; coordinates 51° 05' N, 13° 08' E; average temperature 9.0°C p.a.; annual precipitation 589 mm; soil texture: Ut3 ; data by Barth & Forberg 2015).

**Measuring CO<sub>2</sub> emissions:** The CO<sub>2</sub> emissions were measured with an opaque closed dynamic chamber system (SEMACH-FG) described in detail in Oertel et al. 2015a and Oertel et al. 2015b. However, the system consists of a cylindrical chamber to trap the emitted gas from the soil. The chamber is equipped with sensors for CO<sub>2</sub>-mixing ratio, volumetric water content (VWC), soil temperature, photosynthetic active radiation (PAR), air humidity and air temperature. The easily transportable and energy-independent system stores and visualizes the collected data on a portable computer. Measurements covered the winter period from December 2014 to March 2015. At both sites, three plots were chosen to measure CO<sub>2</sub> emissions. Each plot was analysed three times at each of the six campaigns. One week before the first measurements, collars were installed at each plot. During the measurements the chamber system is placed onto the collars to prevent CO<sub>2</sub> leakages. To avoid the trenching effect, the collars were not be pushed down into the root zone (Kutsch et al. 2012). Measurements were limited to five minutes due to rising temperatures and a decreasing CO<sub>2</sub> mixing ratio inside the chamber (Kutsch et al. 2012). The CO<sub>2</sub> emissions were calculated by linear regression from the 1<sup>st</sup> to the 5<sup>th</sup> minute. The first minute is not taken into account, since the influence of chamber deployment is too strong.

### Results

The CO<sub>2</sub> emissions measured in Naundorf exceed those recorded in Spohla significantly per measurement day. The average CO<sub>2</sub> emissions in Naundorf is with  $1.51 \pm 0.68 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  68 % higher compared with the rate in Spohla with  $0.90 \pm 0.53 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figure 1 and Table 1). Lowest emissions were measured on the 12<sup>th</sup> of February with  $0.53 \pm 0.13 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  at a soil temperature of 0.8°C and on the 15<sup>th</sup> of January with  $0.74 \pm 0.25 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  at a soil temperature of 1.4°C in Spohla and Naundorf, respectively. Highest CO<sub>2</sub>-emission rates were gained at the end of the calendar based winter at the 15<sup>th</sup> of March (Spohla:  $1.86 \pm 0.30 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , T<sub>Soil</sub>: 7.1; Naundorf:  $2.09 \pm 0.65 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , T<sub>Soil</sub>: 2,6°C). The range of soil temperatures of -2.5 – 7.4°C indicates a mild winter. Soil temperature is 2.7 K lower in Naundorf than in Spohla, caused by an altitude difference of 168 m. The pF value of Spohla (derived from VWC) is with 1.84 slightly lower than field capacity and indicates a lower air filled pore space. The pF value of Naundorf is with 2.0 in the range of the usable field capacity, showing a good balance of water and air filled soil pores. This fact is primarily caused by different soil types occurring at the investigated study areas. Moreover, the C/N ratio is even higher in Spohla than in Naundorf (Table 1). Both, pF Value and C/N ratio lead, despite of lower soil temperatures, to higher CO<sub>2</sub> emissions in Naundorf.

A comparison between summer and winter-season emissions offers 6.7 and 3.6 higher average CO<sub>2</sub> emissions in summer for Spohla and Naundorf, respectively (Table 1). Compared with the average CO<sub>2</sub> emissions from the meteorological winter (December – February), summer emissions are 8.7 and 4.4 times higher than in winter. Higher CO<sub>2</sub> emissions in summer are caused by higher soil temperatures and higher root density.

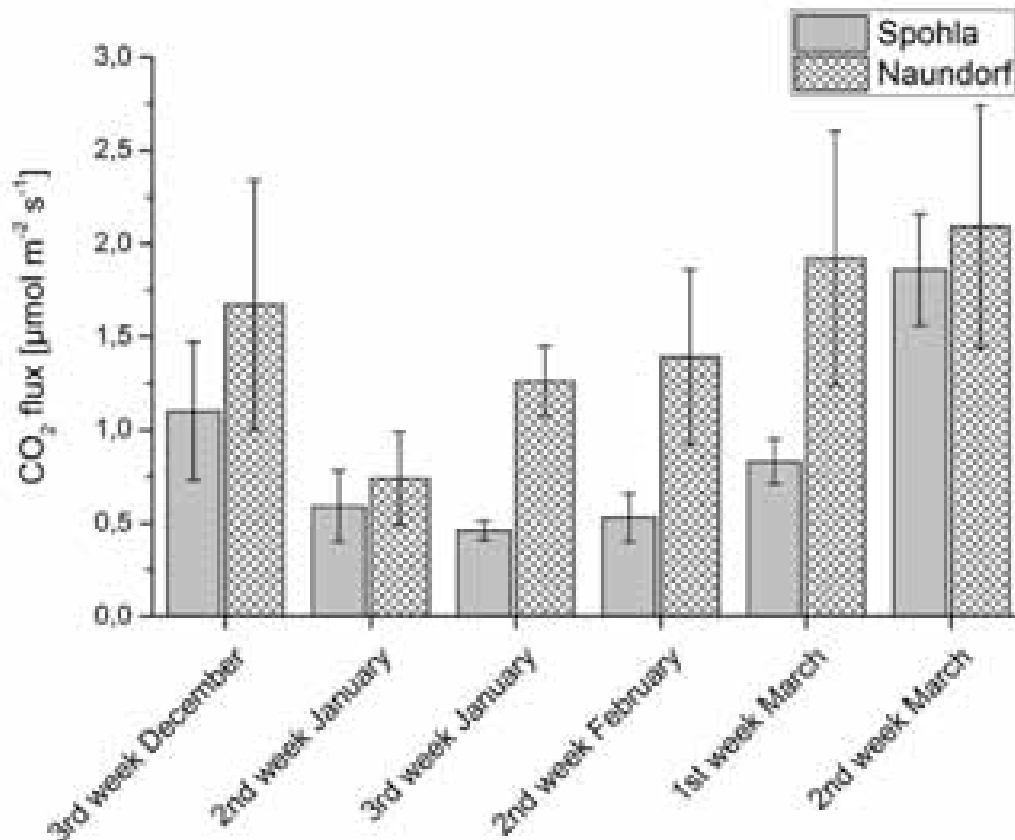


Figure 15: CO<sub>2</sub> emissions from agricultural sites in winter from December to March 2014/2015.

Table 1: Measurement results from winter and summer period from agricultural sites

Site	Measurement time	T <sub>air</sub> (avg.) [°C]	T <sub>soil</sub> (avg.) [°C]	VWC [%]	C/N-ratio [%]	Seasonal CO <sub>2</sub> flux [µmol CO <sub>2</sub> -C m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ]
Naundorf	winter 2014/2015 (December – March)	0.1 – 15.3 (8.0)	-2.5 – 5.9 (1.6)	35	3.8	1.51 ± 0.68
	winter 2014/2015 (December – February)	0.1 – 12.4 (7.6)	-2.5 – 5.9 (1.0)	36		1.27 ± 0.54
	summer 2012 (June - September)	12.9 – 26.3 (19.4)	15.6 – 18.6 (17.4)	17		5.54 ± 1.78
Spohla	winter 2014/2015 (December – March)	3.0 – 15.9 (8.7)	-0.1 – 7.4 (4.3)	20	18.3	0.90 ± 0.53
	winter 2014/2015 (December – February)	3.0 – 15.9 (8.8)	-0.1 – 6.8 (3.7)	20		0.69 ± 0.30
	summer 2012 (June - September)	23.8 – 31.9 (27.1)	16.3 – 24.0 (20.4)	11		6.05 ± 1.33

### Discussion and conclusions

The results show significant differences between the study sites and seasons. Luo and Zhou (2006) pointed out that microbial activity is increasing exponentially with increasing soil temperature. Consequently, higher CO<sub>2</sub> emissions should occur in Spohla due to higher soil temperatures. However, higher emissions were measured in Naundorf. It can be assumed that other conditions like for instance site-specific soil parameters and vegetation cover have a greater influence on soil CO<sub>2</sub> emissions. Since the study site in Naundorf offers a higher degree in vegetation cover, more root and aboveground plant respiration arise from that aspect. Therefore, CO<sub>2</sub> emissions from soils are also related to fine-root density (Shibistova et al. 2002). In addition, CO<sub>2</sub> emissions correlate with the rate of mineralized nitrogen (Luo & Zhou 2006). Thus, lower values of C/N relation lead to higher CO<sub>2</sub> emissions. The results were showing that CO<sub>2</sub> emissions in a mild winter account for 11 - 27 % of the CO<sub>2</sub> emissions from Saxon agricultural soils in summer time. This amount of winter emissions is not unimportant and has to be considered in the quantification of the annual CO<sub>2</sub> budget of soil respiration. Calculated winter emissions with a value of 10 % (e.g. Oertel et al. 2015a), are too low under mild conditions.

In conclusion, the comparison between different agricultural sites in Saxony illustrates that besides soil temperature and –moisture parameters like substrate- and nutrient availability as well as land-use management determine the amount of CO<sub>2</sub> emissions. For validation of the results, more field experiments are required during winter, especially under cold conditions below 0°C.

## References

1. Aanderud, Z.T., Jones, S.E., Schoolmaster D.R., Fierer N., Lennon J.T., 2013. Sensitivity of soil respiration and microbial communities to altered snowfall. *Soil Biology and Biochemistry* 57, 217–227.
2. Barth, N., Forberg, H. 2015. Boden-Dauerbeobachtungsprogramm des LfULG Sachsen – Standortcharakteristika. Hg. v. LfULG. Accessible online: <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/boden/BDF-Standort-charakteristika%281%29.pdf>, last checked on 04.08.2015
3. Hirano, T., 2005. Seasonal and diurnal variations in topsoil and subsoil respiration under snow-pack in a temperate deciduous forest. *Global Biogeochemical Cycles*, 19 (2), 1-10.
4. Kutsch, W.L., Bahn, M., Heinemeyer, A., 2012. Soil carbon dynamics. An integrated methodology. University Press, Cambridge, 288 S.
5. Liptzin, D., Williams, M.W., Helmig, D., Seok, B., Filippa, G., Chowanski, K., Hueber, J., 2009. Process-level controls on CO<sub>2</sub> fluxes from a seasonally snow-covered subalpine meadow soil, Niwot Ridge, Colorado. *Biogeochemistry* 95, 151–166.
6. Luo, Y., Zhou, X., 2006. Soil respiration and the environment. Elsevier Academic Press, Amsterdam, 316 S.
7. Oertel, C., Matschullat, J., Andreae, H., Drauschke, T., Schröder, C., Winter, C., 2015a. Soil respiration at forest sites in Saxony (Central Europe). *Environmental Earth Sciences*, 74, 2405-2412.
8. Oertel, C., Börner, E., Kempe, H., Matschullat, J., 2015b. Kammersystem für die Analyse von Gasflüssen von Ökosystemen. DE 10 2014 000 816 A1 2015.07.23.
9. Oertel, C., Matschullat, J., Zurba, K., Zimmermann, F., Erasmi, S., 2016. Greenhouse gas emissions from soils—A review. *Chem. Erde-Geochem.* 76 (3), 327-352.
10. Raich, J.W., Schlesinger, W.H., 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus B*, 44 (2), 81–99.
11. Raich, J.W., Tufekcioglu, A., 2000. Vegetation and soil respiration: Correlations and controls. *Biogeochemistry* 48, 71–90.
12. Shi, X., Zhang, X., Yang, X., Drury, C.F., McLaughlin, N.B., Liang, A., Fan, R., Jia, S., 2012. Contribution of winter soil respiration to annual soil CO<sub>2</sub> emission in a Mollisol under different tillage practices in northeast China. *Global Biogeochem. Cycles* 26 (2).
13. Shibistova, O., Lloyd, J., Evgrafova, S., Savushkina, N., Zrazhevskaya, G., Arneth, A., Knohl, A., Kolle, O., Schulze, E.D., 2002. Seasonal and spatial variability in soil CO<sub>2</sub> efflux rates for a central Siberian *Pinus sylvestris* forest. *Tellus, Series B: Chemical and Physical Meteorology* 54, (5), 552-567.

**MONIKA SCZYGIOL**

*Wrocław University of Environmental and Life Sciences*

## AGRICULTURAL BIOGAS PLANTS ON THE POLISH EXAMPLE

Primitive methods of extraction of biogas from products of decomposition of organic matter have been already used in the 13<sup>th</sup> century (Igliński et al., 2012). In times of industrial revolution, biogas didn't belong to the attractive energy sources. The major role was played by fossil fuels due to their easier way of extraction and storage. Exploitation of the fossil fuels made a contribution to the impoverishment of their resources, and progressive climate change. As a result of these disadvantageous phenomena originated the conception of using renewable energy sources, for instance biogas, on a broad scale. We can observe a progressive interest in biogas around the world. Nowadays, the major producer of biogas in the world is China. The leader in Europe is Germany (Podstawka, 2014). National authorities of Poland came to a conclusion that this direction of development of energetic will bring profitable effect for the country.

Considering geological features, it can be stated that Poland does have a potential for the development of biogas. Polish surface amounts to over 31 mln ha; 14,5 mln ha from them are agricultural lands. Fallow fields and waste grounds cover additional over 1 mln ha. Annual usage of natural gas in Poland amounts to about 16,5 billions m<sup>3</sup>. The country's productive possibilities cover only 4,5 billions m<sup>3</sup> per one year; the remaining part, which is 12 billions m<sup>3</sup> per a year, comes from import. Assuming that 10 mld m<sup>3</sup> of metan is needed for 1,9 mln ha of agricultural lands, and the fact that Poland has got over 1 mln ha of fallow fields can prove the statement that Poland has a potential to produce biogas (<http://stat.gov.pl/> & Ćwil, 2014 ).

Agricultural sector in Poland takes great part in the production, and also in generating of Gross Domestic Product. Concentrating of some part of production on renewable energy, especially using biogas, will be the major task of this sector (Węglarzy, 2014). Poland was encouraged to make a move in connection with European Union requirements, which impose an obligation, that 15% of the whole energy requirements of the country up to 2020 have to come from the renewable energy sources (Pilarska, 2013).

According to an act from 8<sup>th</sup> of January 2010 (Journal of Laws from 2010, No. 21, item 104) biogas was defined as a fuel gas received in a process of methane fermentation from agricultural raw material, side products of agriculture and processing, dung, and biomass. Biogas cannot be defined as a gas received from raw materials coming from wastewater treatment plants or landfill sites ([www.isap.sejm.gov.pl](http://www.isap.sejm.gov.pl)). The content of biogas depends on technological process and a quality of used substrates. The bigger contribution of methane, the bigger the calorific value of biogas. Technology of receiving biogas is based on the process of fermentation of methane, with the usage of anaerobic microorganisms. Biogas develops in a fermentation chamber, from which it is passed to a cogenerative aggregate which has the function of storage of heat and electrical energy. A cripple in a biogaswork is so called postferment. It has got a useful value and can be used as a valuable fertilizer (Czerwińska, Kalinowska, 2014 & [www.minrol.gov.pl](http://www.minrol.gov.pl)). Polish biogasworks (defined as installations) in the process of production of agricultural biogas, to the major extend use liquid manure, debris, ensilage from corn, rests from fruits and vegetables, and pulp. It is also worth mentioning that in the last years the usage of sites after fire has increased (Piwowar, 2014). In Poland the production of biogas is run by 95 entities (data from 16<sup>th</sup> of February 2017), some of them fall under one owner. The majority of them is localized in the west-northern part, and the minority – in the east-southern part of Poland ([www.arr.gov.pl](http://www.arr.gov.pl)). The localization of the biogaswork has a great impact. It is important for it to be localized near bigger farms, Works of processing or acreages of lands (Zarębski, 2014). It is worth emphasizing that the leader in terms of productivity to install to produce biogas is the enterprise „Poldanor S.A.”, localized in voivodeships zachodniopomorskie and pomorskie. It consists of 8 entities. Its productivity amounts to 32 070 000 m<sup>3</sup> of biogas per year, which forms 8,26 % of the whole installation productivity in Poland. Also we can name the agricultural biogaswork in Dolny Śląsk, located next to a huge sugar factory, reaching the productivity of 9 894 549 m<sup>3</sup> of biogas per year. Its technology is based on usage of beetroot pulp as raw materials. The power of agricultural biogasworks in Poland is very diversified. The whole productivity of 95 installations amounts to 388 327 635 m<sup>3</sup> of biogas per year. In a general juxtaposition, in Poland dominate small and medium-size biogasworks. The juxtaposition of agricultural biogasworks, with counting of the division on voivodeships and productivity is shown in Table 1.

*Table 1. Agricultural biogas plants with division by region and the productivity*

*Source: own work based on [www.arr.gov.pl](http://www.arr.gov.pl) [as of 16.02.2017]*

Voivodeship	The number of installations	Annual productivity of agricultural biogas [m <sup>3</sup> /year]
pomorskie	9	45 258 902
warmińsko- mazurskie	10	37 932 899
podlaskie	9	30 608 214
lubelskie	7	36 100 000
podkarpackie	3	10 084 120
świętokrzyskie	1	2 464 000
mazowieckie	5	20 483 580
małopolskie	2	5 039 462
śląskie	3	6 764 000
opolskie	1	8 000 000
łódzkie	4	21 912 999
wielkopolskie	9	38 002 883
kujawsko-pomorskie	6	29 673 090
zachodniopomorskie	13	50 791 371
lubuskie	4	11 100 000
dolnośląskie	9	34 112 116

The potential of Poland to the utilization of biomass is undisputable. The attractiveness of the producing of agricultural biogas is shown in the statistics. Since 2014 up to nowadays, the producing of biogas has increased up to 45%. Biogasworks bring many benefits. They solve the problem of utilization of agricultural waste, simultaneously bringing the useful fertilizer. The production of biogas is steady and continued, and safe for the environment. Looking at our neighbors, such as Germany, Austria, and Sweden we can come to a conclusion that development of biogas market in Poland is still on a low level. Despite the huge potential of Poland in terms of the lay of the land, and the dynamically functioning of the agricultural sector, and hospitable conditions to energy plant crop, there is still less biogasworks, than it was assumed at the beginning (Głodek, 2007). Among the barriers which stunt their development we can undoubtedly rate loopholes in the law, and lack of technical counseling. At the beginning many of the biogasworks were built without any experience, using the method of trial and error, which resulted in their low productivity and profitability. Demangingness can be also high investment outlays, and long period of return of costs incurred (Wilkowska, 2015).

#### References

1. Czerwińska E., Kalinowska K., 2014, Warunki prowadzenia procesu fermentacji metanowej w biogazowi. Technika Rolnicza. Ogrodnicza. Leśna 2, 5-8



2. Ćwil M., 2016, Biogazownie rolnicze w Polsce, rynek obecny i perspektywy rozwoju, <http://ahk.pl>
3. Głodek E., 2007, Pozyskiwanie i energetyczne wykorzystanie biogazu rolniczego. Instytut Mineralnych Materiałów Budowlanych, Opole, [www.oze.opole.pl](http://www.oze.opole.pl)
4. Główny Urząd Statystyczny. Użytkowanie gruntów i powierzchnia zasiewów w 2015r., <http://stat.gov.pl/>
5. Igliński B. et al., 2012: Agricultural biogas plants in Poland: Investment process, economical and environmental aspects, biogas potential, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, Issue 7, s. 4890–4900
6. Journal of Laws from 2010, No. 21, item 104, [www.isap.sejm.gov.pl](http://www.isap.sejm.gov.pl)
7. Pilarska A. et al., 2013, Perspektywy i problemy rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce, *Technika Rolnicza. Ogrodnicza. Leśna*. 4, 3-5
8. Podstawka M., Gołasa P., Bieńkowska W., 2014. Potencjał produkcji biogazu rolniczego w województwie pomorskim i jego wykorzystanie, *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego. Ekonomia i Organizacja Gospodarki Żywnościowej*, nr 107, 155–162
9. Piwowar A., 2014, Biogazownie rolnicze w Polsce- Lokalizacja i parametry techniczne instalacji, *Technika Rolnicza. Ogrodnicza. Leśna* 6, 10-13
10. Wilkowska I., 2015, Biogazownie rolnicze w Polsce, <http://oidkz.wckp.lodz.pl/sites/default/files/Biogazownie.pdf>
11. Węglarzy K., 2014, Wpływ energii produkowanej w gospodarstwie z odpadów rolniczych na poprawę jego rentowności, *Journal of Agribusiness and Rural Development*, 1(31), 159-167
12. [www.minrol.gov.pl](http://www.minrol.gov.pl)
13. [www.arr.gov.pl](http://www.arr.gov.pl)
14. Zarebski P., 2014, Uwarunkowania przestrzenne lokalizacji biogazowni w Polsce, *Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu, Roczniki Naukowe*, t. XVI, zeszyt 3

**OLGA SHTYKA, JERZY SĘK**

*Faculty of Process and Environment Engineering, Department of Chemical Engineering, Lodz University of Technology, Poland*

## **SATURATION OF POROUS GRANULAR MEDIUM WITH THE OIL PHASE DURING EMULSIONS IMBIBITION**

### **Introduction**

The spontaneous liquid movement in porous structures driven by the capillary pressure is referred as imbibition or wicking. The displacement of non/less-wetting phase or air by a wetting permeant is observed during this process (Zhud *et al.* 2000, Alava *et al.* 2004, Masoodi *et al.* 2012). There has been a continuing interest in spontaneous imbibition as a fundamental phenomenon due to its wide application in numerous industries processes and its frequent occurrence in the nature. The knowledge of imbibition mechanisms is of practical importance to recovery of oil from the fractured reservoirs (Morrow *et al.* 2001, Andersen *et al.* 2014, Zhou *et al.* 2016), penetration of water and its vapour into the concrete and rock structures (Picandet *et al.* 2009, Łukowski Cieszko 2016), to describe the hydrological regime of groundwater in a soil matrix and migration process of water and contaminants through the vadose zone (Wuest 2002, Cheng, Saiers 2009, Wayllace, Lu 2011). The imbibition phenomenon is used in the environmental protection to denominated and remove oil and its derivative products spilled on the surface of aquatic waters and soil by means of synthetic and natural sorbents applying (Teas *et al.* 2001, Lin *et al.* 2012, Saleem *et al.* 2014). The kinetics and mechanisms of the porous structures imbibition with various single-phase liquids, i.e. water (Hamraoui and Nylander 2002); dimethyl silicone oil (Xue *et al.* 2006); dodecane, diethyl ether, hexadecane, (Zhud *et al.* 2000, Masoodi *et al.* 2012) were investigated experimentally and described in the literature. The emulsions are as the heterogeneous multiphase dispersion, which compose of the immiscible components and are frequently characterized with different viscosity and wetting properties. Therefore, the spontaneous imbibition process with emulsions is assumed to distinguish from the same process with single-phase liquids.

Thus, the current paper presents the results of experiments with granular porous media saturation with two-phase liquids during imbibition. The influence of various concentration of added non-ionic surfactant on the mentioned phenomenon was also considered and analyzed. The obtained results allow to predict the wicking process of emulsions in the granular structure and its distribution in its pores with increase of the height of penetration. On the other hand, the change of imbibed mass of a penetrating emulsions with the increase of the height of its front was important issue to be discussed.

### Materials and method of investigation

The oil-in-water emulsions stabilized by non-ionic surfactant served as penetrating liquids. The emulsions differ by the dispersed phase concentration, i.e. 10–50%, and amount of added emulsifier, i.e. 1–5 vol%. The dispersed phase was represented by oil (EOL Polska Sp.z.o.o., Poland) with viscosity of  $53.7 \pm 0.7$  mPa·s, density of  $920 \pm 1.7$  kg/m<sup>3</sup> and consequently, API density was 22.63°. The surfactant belongs to the group of commercial emulsifiers based on ethoxylated oleic acid. The density equals  $908.0 \pm 2.7$  kg/m<sup>3</sup>, and viscosity was  $50.21 \pm 0.64$  mPa·s. Hydrophilic-lipophilic balance of an emulsifier is equal to 10.6.

The granular bed composed of the spherical grains with the fraction distribution of 600–800 µm, and the average diameter was  $650.2 \pm 9.1$  µm. The average porosity of this porous bed was equal to  $0.37 \pm 0.013$ .

The emulsions imbibition in the granular medium was investigated experimentally by means of the classical wicking test, described in details in the publication (Shtyka, Sęk 2016). A column filled with the beads was submerged in a beaker with the prepared emulsion and followed till time  $t_{max}$  when the mass change of an imbibed liquid was smaller than 0.02 g per 200 s. The saturation of each sample was investigated and calculated as a ratio of the volume of an imbibed emulsion to the free volume of material pores. The dimension of the column was a diameter  $d_m$  of 0.035 m and a height  $h_m$  of 0.15 m. The bulk density of porous bed was  $1728 \pm 1.2$  kg/m<sup>3</sup>.

The viscosity value of permeating dispersions was measured using a shear rheometer Bohlin CVO-120 (Malvern Instruments, UK). All experiments were fulfilled at the ambient temperature of  $23 \pm 1$  °C and atmospheric pressure.

### Results and Discussion

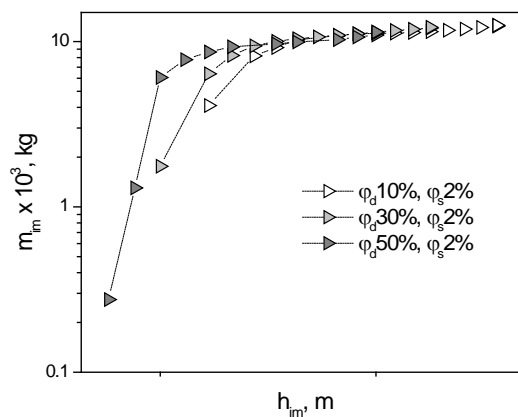
The results concerning the maximal height of the emulsions front rise with the variation of the surfactant and the dispersed phase concentration were obtained during the wicking test and are represented in Table 1. For 10% emulsions, the highest values of the front rising are obtained and lie in a range of 0.048–0.042 m. The lowest values were derived for emulsions with the dispersed phase concentration of 50 vol %, i.e. 0.043–0.035 m. The height tended to reduce with the increase of a surfactant fraction in all investigated cases.

**Tab.1.** The maximal rise of the emulsions stabilized by non-ionic surfactant in the granular medium

Dispersed phase concentration $\varphi_d$ , vol%	Concentration of added emulsifier added, $\varphi_s$		
	1 vol%	2 vol%	5 vol%
	Height of an emulsion front rise, m		
10	0.048±0.004	0.047±0.002	0.042±0.002
30	0.046±0.002	0.043±0.003	0.038±0.002
50	0.043±0.002	0.040±0.001	0.035±0.001

The height of permeant front rise decreased by ~12.5% and 17.4% for 10% and 30% emulsions, respectively. Consequently, the largest reduction was obtained for 50% emulsion. To conclude, the emulsions rise in a granular medium depends strongly on the initial concentration of the dispersed phase and the fraction of added emulsifier.

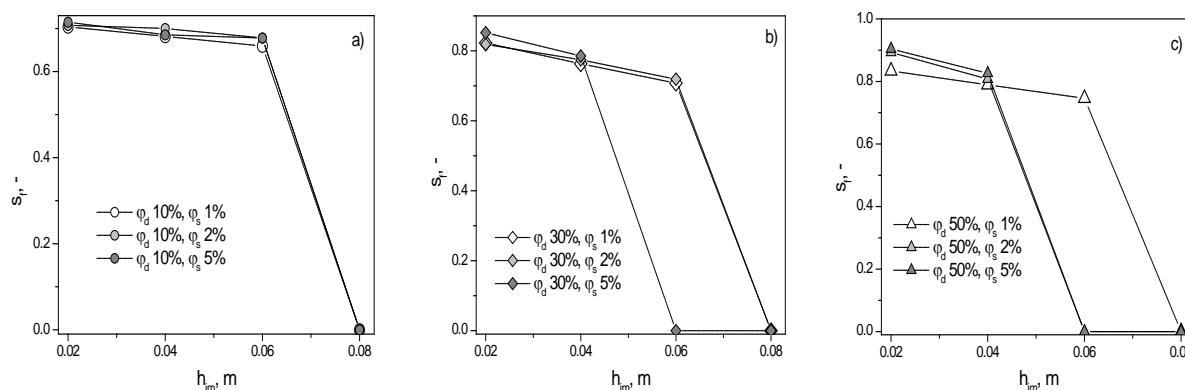
In this research work, the variation of the imbibed emulsion weight with the increase of its penetration in the granular medium was also considered. The analogous tendencies of mass changes were observed for all investigated dispersions. As an example, the data for emulsions stabilized by 2 vol% of non-ionic surfactant are represented in Fig. 1. In the currently discussed case, the mass changes become similar after a front reached the height close to 0.35 m.



**Fig. 1.** Changes of the weight of imbibed emulsions versus the height of its front rise in the granular bed (for  $\varphi_s = 2$  vol%)

The obtained results of the dispersed phase concentration changes are plotted as a function of the height of dispersion penetration and represented in Fig. 2. The effect of a surfactant fraction increase is recognized as insignificant in case of 10% emulsions and the lowest level of saturation was observed, i.e. up to ~68%. The highest values

were obtained for 50% emulsions and the influence of the added surfactant was stronger compare with other investigated dispersions. Thus, saturation lay in a range of ~74–88% (Fig. 2).



**Fig. 2.** Changes of the granular medium saturation with the dispersed phase, for  $\phi_d$ :  
a – 10 vol%; b – 30 vol%; and c – 50 vol%

In case of 30% and 50% emulsions, the high saturation was observed for emulsions stabilized by 5% of the surfactant at  $h_m \leq 0.04$  m. To summarize, the granular media saturation with the dispersed phase is not homogeneous and tends to decrease with the height of its penetration in the pores voids.

### Conclusions

The height of dispersion penetration in a granular medium depends significantly on its composition, thus it tends to decrease with the increase of the dispersed phase concentration and the fraction of added surfactants. The saturation level of the porous bed decreased with the rise of the imbibed emulsion front. The main reason can be assumed as the pore voids obstruction with the oil droplets. The obtained experimental data allow to develop the mathematical description of the spontaneous imbibition in the granular media for two-phase liquids.

**Acknowledgment.** The used surfactants in this research was provided by PCC Exol SA, Brzeg Dolny, Poland, and granular material was obtained from Alumetal-Technik, Lodz, Poland.

### Literature:

Alava M., Dubé M., Rost M. 2004. *Adv Phys.* 53(2):83–175; Andersen P.Ø., Evje S., Kleppe H. 2014. *Transport Porous Med* 101(2):299–331; Cheng T., Saiers J. E. 2009. *Water Resour Res* 45(8):W08414; Hamraoui A., Nylander T. 2002. *Colloid Interface Sci* 250(2):415–421; Lin J. et al. 2012. *Marine Poll Bull* 64(2):347–352; Łukowski J., Cieszko M. 2016. *Mat. 1st Workshop on Porous media*, p. 31; Masoodi R., Pillai K. M. 2012. *J Porous Media* 15(8):775–783; Morrow N.R., Mason G. 2001. *Curr Opin Colloid Interface Sci* 6(4):321–337; Picandet V., Khelidj A., Bellegou H. 2009. *Cem Concr Res* 39(6):537–547; Saleem J., Bazargan A., Barford J., McKay G. 2014. *Polymer Adv Tech* 25(10):1181–1185; Shtyka O., Sęk J. et al. 2016. *Inż Ap Chem* 55(1): 36–37; Teas C. et al. 2001. *Desalination* 140(3):259–264; Wayllace A., Lu N. 2012. *Geotech Test J* 35(1):1–15; Wuest S.B. 2002. *SSSA Journal* 66:1760–1763; Xue H.T., et al. 2006. *Chem Phys Lett* 432(1–3): 326–330; Zhmud B. V., Tiberg F., Hallstenson K. 2000. *Colloid Interface Sci* 228:263–269; Zhou Z. et al. 2016. *J Pet Sci Eng* 141:125–132

MICHAŁ SOBEK, ŁUKASZ GRABOWSKI, KAROLINA RZEPIELA, AGNIESZKA WERNER  
*Silesian University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering*

## THE POSSIBILITY OF USING ALTERNATIVE ENERGY SOURCES IN THE EDUCATION PROCESS - THE FOUNDATION GREENPOWER POLAND

In recent decades, a phenomenon of significantly speeding up the development of science and technology in various fields of industry and medicine could be observed. This phenomenon is called the digital revolution to a large extent by the technical development which was influenced by science itself. The concept was introduced British physicist John Desmond Bernal in the middle of the twentieth century. In some environments, you can also meet with the term of a third industrial revolution as the one that occurred in recent years in many ways resembles the previous two periods. The main features common to these three processes are very rapid changes in areas such as technology, industry and science, which plays a very big role in the last of these processes.[1,2]

Very dynamic development and nurturing of new fields of science meant that the economy of many countries has passed a noticeable change. This change helped to reduce the significance of heavy industry and mining for

the new character of the economy. Post-industrial economy is mainly focused on developing the service sector at the expense of other sectors of the market, which during the second industrial revolution built current picture of the globe. [1,2]

Postindustrial economy helped to invent, promote and market many great solutions in fields such as medicine or agricultural engineering. Also a great progress has been made in the context of energy harvesting. So far, most of the energy needed to power the aforementioned branches of the market was derived from fossil fuels such as coal, gas, oil, etc. [1,2]

Since these fuels are not infinite as engineers we should look for alternatives that will still maintain a growth rate of industrial-scientific. Although there are daily reports on new discoveries in fields related directly or indirectly to alternative energy sources and their use society of XXI century cannot imagine life without fossil fuels. This problem is quite extensive, though not perceived by everyone. To keep pace with the development related technology and improve already existing solutions it must be ensured that in the future knowledge on current achievements could be taken by the younger generation so they can improve already functioning ideas. [1,2]

For the insurance that the adequately educated young people, able to continue already started researches work will never run out, care must be taken as soon as possible familiarizing schoolchildren with technical innovations. A naturally operation of young people in this area will allow for the development of creativity and ingenuity. Communing with new technologies directly or indirectly related to alternative energy sources will allow for overcoming of current barriers of uncertainty which will significantly extend the use of both alternative energy sources and its receivers. [1,2]

For several years in the Polish educational system a distinct tendency to reduce the significance of practical classes in the process of teaching students can be noticed. This process may in the future lead to a significant slowdown in the pace of technology development. Slowing down the pace of development in the fields of energy will increase the threat of depletion of raw materials and fossil fuels.[1,2]

In Poland in 2014, the foundation aiming educate school children under the stream of new technologies was established. Greenpower Poland Foundation (GPP) was founded by a group of students of Silesian University of Technology. Principles of operation of the Foundation is based on a philosophy developed by British precursors charity Greenpower Education Trust. The Foundation focuses on the broader education school youth, high school and college students of both technical and humanities profiles. In order to meet the educational needs identified by the founders it has been decided to introduce nationally and the only one in Central Europe, an innovative method of teaching theory in practice. [3,4]

The educational program proposed by the GPP is focused on performing regular workshops and courses in the field of design, construction and production of components and systems components. Common part that allows the conclusion that the Foundation's activities fall within the canons of activities related to the promotion of renewable energy sources is the end result of the courses and workshops. Because it involves the design and construction of a vehicle powered by a standardized electric motor (Figure 1). Even after production of the vehicle design and construction process, and thus education in engineering, does not stop because the vehicle must face other similar vehicles competing in the GPP racing league (Figure 2). Given the fundamental rule, talking about the fact that each starting team must have an equal chance at the beginning, young people are forced to constantly improve the design to achieve the goal of the most efficient use of energy stored in two certified and identical for all competitors batteries. [3,4]

Optimal use of the available energy is a very important aspect associated with each type of energy. Both in the case of renewable energy sources and fossil fuels an appropriate algorithm, the using system must be developed in such a way that the smallest possible part of energy leaves the system in as a waste, for example as heat. This is a very complex issue with which the participants of GPP also must face. Team members have to develop drive and power systems characterized with the least resistance, both related to the transfer of torque to the road and minimizing losses due to rolling friction and aerodynamic resistance. The success of teaching within the team, you can say at the moment of overcoming the greatest distance in the regular time of the race. [3,4]

The GPP project allows to introduce young people to issues related to the possibilities of using renewable energy sources. Thanks to the work carried out for the construction of an electric vehicle young people get used to the idea of green energy. With fairly high degree of certainty can be assumed that the effect of long-term participation in the project may be a correct assessment of the significance of renewable energy sources in the world today, and hence the development of new technologies related to renewable sources of energy. [3,4,5]

#### Literature

1. Krzysztofik R., Tkocz M., Spórna T., Kantor-Pietraga I.: *Some dilemmas of post-industrialism in a region of traditional industry: The case of the Katowice conurbation, Poland*. Moravian Geographical Reports. Volume 24, Issue 1,
2. Pancewicz A.: *The role of education and research in creating urban spaces illustrated with an example of selected Silesia voivodeship post-industrial areas*. ICERI 2015 Proceedings
3. Grabowski Ł., Baier A., Buchacz A., Majzner M., Sobek M.: *Application of CAD/CAE class systems to aerodynamic analysis of electric race cars*. Modern Technologies in Industrial Engineering 2015
4. Baier A., Baier M., Dusik D., Grabowski Ł., Miera A., Papaj P., Sobek M.: *Computer aided process od designing the mechatronic Silesian Greenpower Electric Car*. Selected Engineering Problems 2013,

**J. ZEININGER, S. BUHR, G. RUPPRECHTER AND Y. SUCHORSKI**  
*TU Wien, Institute of Materials Chemistry, Vienna, Austria*

## **TOWARDS FUTURE GENERATION OF EXHAUST GAS CATALYSTS: CO OXIDATION ON RH ON A NANOSCALE**

One of the major tasks of the 21<sup>st</sup> century is to consolidate the basic needs of society with the environment protection. Heterogeneous catalysis is therein a key technology by means of its versatile applications in daily life. Especially catalytic converters applied in the exhaust systems of automobiles are objects of intensive development in view of the continuously tightened emission control regulations [1]. Consequently, the three-way catalytic converter (TWC) invented 1973 has been continuously improved by means of material, composition and structure in order to optimize the performance and selectivity [2]. This development is by no way completed, particularly in view of challenges such as the cold start problem and lifetime at high temperatures. Exemplarily, the required selectivity in the NO reduction can be achieved by introduction of rhodium particles to the catalysts [3]. However, since the CO oxidation remains the most important catalytic reaction in a TWC, the role of rhodium in this reaction has to be better understood. Correspondingly, model systems mimicking a real catalytic system consisting of reams of Rh nanoparticles supported by an oxide have been developed and investigated [4]. It would be, of course, extremely interesting to study the catalytic CO oxidation reaction on an individual catalytic particle. However, it is still a challenging task due to the nanoparticle size (2-10 nm) and due to the lack of the corresponding techniques.

We propose to use an apex of a rhodium nanotip as a model for such an individual nanoparticle. Such a nanotip can be characterized with atomic resolution in a field ion microscope (FIM) and the catalytic CO oxidation can be visualized then in situ on such a nanotip by FIM or by a field emission microscopy (FEM) [5]. The results of such a study, which we show in the present contribution, reveal the role of the local nm-sized "pacemakers" which initiate the kinetic transitions from the high catalytic activity state to the low activity and vice versa. The impact of the obtained results on the catalytic ignition and the cold start problem will be discussed.

### **Literature:**

1. M. Twigg, *Cat. Today* 163 (2011) 33
2. S. Matsumoto, *Cat. Today* 90 (2004) 183
3. M. Shelef, G.W. Graham, *Catal. Rev.Sci. Engi.* 36 (1994) 433
4. G. Somorjai, R.L. York, D. Butcher, J.Y. Park, *Phys.Chem.Chem.Phys.* 9 (2007) 3500
5. Y. Suchorski, in: "*Surface Science Tools for Nanomaterials Characterization*", S. Kumar (Ed.), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2015.

**ANNA ZINKL<sup>1\*</sup>, JOSEF PROST<sup>1</sup>, PETER WOBRAUSCHEK<sup>1</sup>, CHRISTINA STRELI<sup>1</sup>**  
*Atominstytut, TU Wien, Vienna, Austria*

## **TIME-RESOLVED QUANTIFICATION OF ELEMENTS IN PARTICULATE MATTER VIA TOTAL REFLECTION X-RAY FLUORESCENCE (TXRF) ANALYSIS**

Airborne particulate matter is an omnipresent topic and has a great impact on the environment and climate. Additionally it can affect human health e.g. by reducing the life quality, by causing chronic respiratory diseases or other health effects and consequently decrease life expectancy. [1] Not only the total mass concentration of the particles, but also their chemical composition is relevant, as different chemical elements and compounds are responsible for different environmental or health effects.

The main aim of this study was to develop a reliable method for time-resolved quantitative analysis of trace elements in particulate matter with total-reflection X-ray fluorescence analysis (TXRF). To realize this, different sample preparation methods were compared with respect to collection time, the coating of the sample carriers and the quantification were determined. In conclusion, a short sampling campaign was carried out during ten days in January 2017 (59 samplings) using the optimized sampling parameters.

TXRF is a powerful variant of energy-dispersive X-ray fluorescence analysis (EDXRF), taking advantage of the total reflection of X-rays on a flat substrate below a critical angle (in the order of 0.1°). Using this special geometry, detection limits are drastically reduced compared to conventional EDXRF and typically lie in the range of a few picograms for medium Z elements (e.g. Fe, Zn and Sr) in terms of absolute mass. [2]

Aerosol samples were collected on the roof of the Atominstitut building (Fig. 1) with a cascade impactor (*Dekati*<sup>®</sup> *PM10* impactor [3]), modified for the use of 30 mm quartz reflectors, which can be directly analyzed by TXRF. The Atominstitut is situated in suburban Vienna, near to a major motorway junction (500 m), a biomass power plant (2.5 km to the south-east) and a refinery (8.5 km to the south-east). The reflectors were coated with a thin film of petroleum jelly (“Vaseline”) in order to prevent particle bounce-off. Samplings were performed hourly during daytime with a collection time of 45 minutes. The impactor has three stages, separating particles of different aerodynamic diameters (>10 µm, 2.5 to 10 µm and 1 to 2.5 µm). Particles with a smaller diameter are collected in a backup filter, which was changed weekly. It works at a constant air flow of 10 l/min. Quantitative analysis is performed by adding an internal standard of known concentration (5 ng Y) to the sample. Quantification of the >10 µm fraction could be easily obtained, as the particles are collected in a central spot. The samples of the two lower stages form a point pattern exceeding the area that can be seen by the detector. Therefore a calibration with a multi-element standard was carried out, simulating these patterns using a laboratory-built nanoliter application unit [4]. Another approach was compared to this calibration: The quartz reflectors were covered with a foil-ring to eliminate the outer circle of the point pattern to get a nearly centred sample for the measurement.

TXRF analysis was performed using a commercial Atomika 8030C spectrometer. The samples were excited by characteristic Mo-K $\alpha$  radiation emitted by a 2.5 kW X-ray tube. The fluorescence signal was detected using a 50 mm<sup>2</sup> Si(Li) detector. Detection limits for medium Z elements were obtained in the low pg/m<sup>3</sup> range for the >10 µm size fraction and in the 100 pg/m<sup>3</sup> range for the other two size fractions.

In nearly all samples the elements S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Rb, Sr and Pb were detected (see Fig. 2). For the first and the second stage (“coarse fraction”, particle diameters >10 µm and 2.5 to 10 µm) the highest concentrations were measured for Cl, Ca and Fe. The high Cl concentrations come from de-icing salt, which is distributed on the roads against snow and ice during wintertime. Ca and Fe are crustal elements and mainly originate from abrasion processes. An additional Fe source in this size fraction is road traffic. The last stage (1 to 2.5 µm) collects a mixture of particles from the coarse and from the accumulation modes. Most of the elements present in the accumulation mode are combustion products (e.g. S, K, Zn, Pb) and hence of anthropogenic origin [5]. The backup filters were analyzed with conventional EDXRF and show the typical elemental distribution of accumulation mode particles.

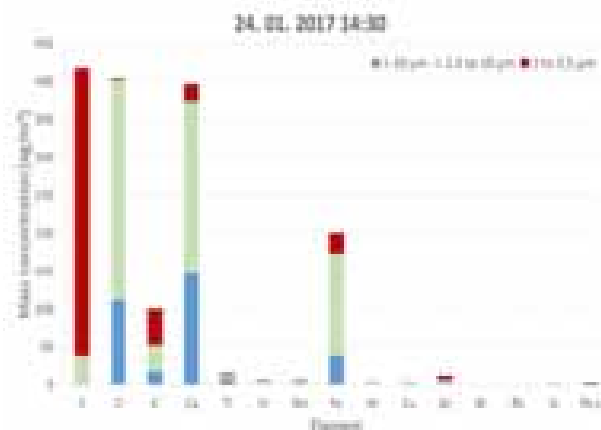


Figure 1: *Dekati*<sup>®</sup> *PM 10* impactor mounted on the roof of the Atominstitut (left)  
Figure 2: Quantitative results of one sampling (right)

#### Literature:

C. I. Davidson, R. F. Phalen, P. A. Solomon, *J. Aerosol Sci. and Tech.* 39, **2005**, 737-749.

P. Wobrauschek, *X-Ray Spectrom.* 36, **2009**, 289-300

*Dekati*<sup>®</sup> *PM10* impactor, Tampere, Finland; <http://www.dekati.com>

A. Wastl et al, *Spectrochim Acta B* 82, **2013**, 71-75

A. Wagner, J. Boman, M. J. Gatari, *Spectrochim. Acta B* 63, **2008**, 1426-1431

**MAREEN ZÖLLNER, PROF. DR.-ING. HOLGER LIEBERWIRTH**  
*Institut für Aufbereitungsmaschinen, Technische Universität Bergakademie Freiberg*

**CONSERVING RESOURCES BY RECYCLING OF COMPOSITE MATERIALS (CFRP)**

### Introduction

Fibre reinforced polymers have an enormous potential in sectors of transport, wind energy, construction, machine engineering and recreation products. Primary reasons for their diversified application are weight reduction and mechanical properties (especially specific rigidity). Conventional construction materials, like steel or aluminium, are replaced by composite materials. Above all, carbon fibre reinforced plastics (CFRPs) play an important role in this process of substitution.

The increasing use of CFRPs evokes an elevating amount of this material in waste streams, mainly in end-of-life vehicles (ELV) and recreation products. There is an environmental and economic awareness for the need to recycle CFRP waste. In particular ELVs are item to rigorous statutory standards (ELV-directive) and require an integral recycling concept.

Exceedingly ecological as well as economic reasons require CFRP-recycling, since the manufacturing of the carbon fibres from fossil oil exhibit an extreme high primary energy consumption. This energy would get lost, if the material will not allow a return into the material circuitry after reaching EOL (end-of-life).

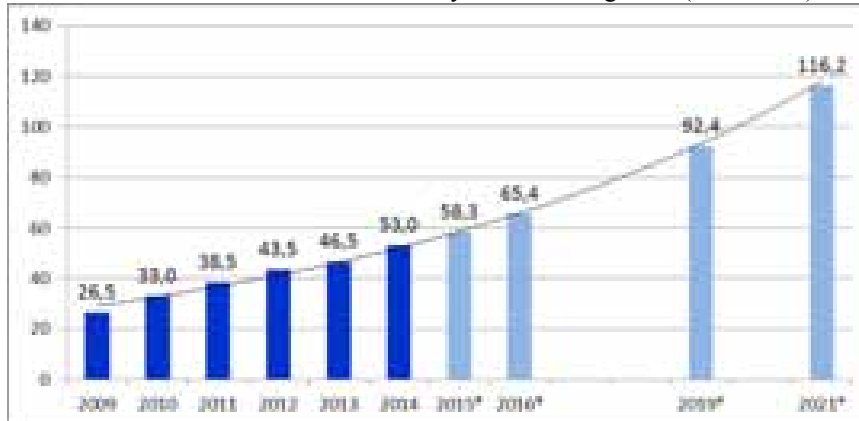


Figure 16 Global need of CF in thousand tons from 2009 to 2021 (appraisals) [1]

Figure 1 shows the global need of carbon fibres, and it is recognizable that there will be a continuous rise till 2021. Respective high amounts of CFRP-waste are expected. Not only the EOL-vehicles generate waste, but also the manufacturing of carbon composites creates up to 40% scrap materials [2].

### Main Part

It is significant to consider the CFRP-applications from an energy-related point of view. Since the energy-conservation, caused by the use of lightweight materials, is confronted with a high primary energy consumption, especially of the carbon fibre.

Many research-activities are registered, to realize a recycling concept for CFRP and counteract the loss of the high inserted energy.

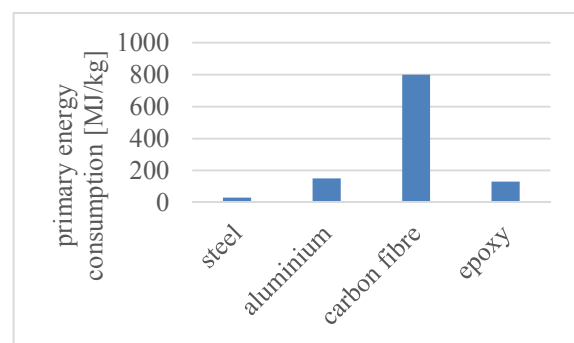


Figure 17 More fuel efficient electric vehicle vs. primary energy consumption of CF [3], [4]

Thus, different recycling technologies evolved for fibre-reinforced composite materials. They can be categorized as mechanical, thermal and chemical methods. By mechanical recycling the scrap is cut and ground into smaller particles to separate the fibres and the matrix. The method is primarily used for thermoset matrices. CFRP's with thermoplastic matrices rather get ground to re-granulate particles, which can be directly reused in the injection molding process and be formed to new components [2], [5]. Thermal and chemical recycling methods target the separation of the valuable carbon fibre by elimination of the polymer matrix. Investigated thermal recycling technologies for CFRP are combustion, fluidized-bed combustion and pyrolysis. These processes generally need exter-

nal heating for decomposing the scrap into single products. But every polymer material features a caloric value, that the waste can be converted into heat for producing energy [2]. The pyrolysis process actually constitutes the most promising possibility for thermal recycling of CFRP. The chemical recycling process (solvolysis) contains the dissolving of the composites, by using solvents (under high pressure and sometimes raised temperatures), into liquid products, which can be used as basis for the production of polymers, and the valuable fibre.

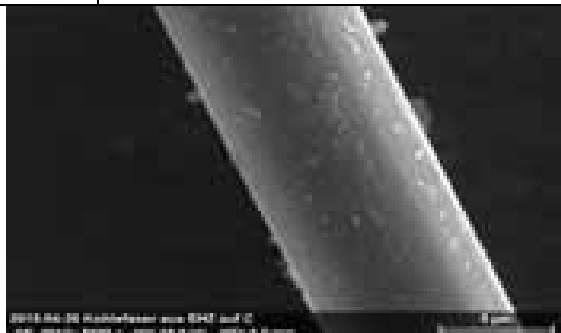
Another option to recycle CFRP-waste is the electrohydraulic fragmentation of the CF-composites, which is investigated at the TU Bergakademie Freiberg (Institute of Mineral Processing Machines). Employing electrical discharges, between two electrodes of an underwater spark gap, shockwaves are generated. A power-sound-pulse, generated by the electrical discharge, builds the “crushing instrument”, which separates the composites on its phase boundaries [6].

All described recycling methods have several advantages and disadvantages regarding energy demand, industrial applicability and quality of the secondary fibre, shown in table 1.

Table 1 Advantages and disadvantages of the different CFRP-recycling-methods

Recycling-method	advantages	disadvantages
Pyrolysis [7], [8]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- industrial applicable</li> <li>- no reduction of the fibre length</li> <li>- applicable to every matrix type</li> <li>- mostly energy autarkic</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- fibre-damage in oxidative atmosphere</li> <li>- creation of pyrolysis-coke on the fibre surface</li> </ul>
Solvolysis [9]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- matrix-components build secondary resources</li> <li>- no reduction of the fibre length</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- fibre damage possible</li> <li>- not applicable to every matrix type</li> <li>- cost- and energy-intensive process</li> <li>- not industrial applicable</li> <li>- expensive solvent treatment</li> </ul>
Mechanical shredding [10]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- matrix-components build secondary resources</li> <li>- high technical ripeness</li> <li>- applicable to every matrix type</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- high fibre damage and length reduction</li> <li>- high energy demand</li> <li>- significant dust-development</li> <li>- few marketable products</li> </ul>
Elektrohydraulic fragmentation [6]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- applicable to every matrix type</li> <li>- non-contact and contamination- indigent process</li> <li>- high decomposition level (compared against mechanical shredding)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- not industrial applicable</li> <li>- low technical ripeness</li> <li>- reduction of the fibre length</li> <li>- no investigation of fibre damage</li> </ul>

To evaluate the recycling process, it is necessary to determine the quality of the obtained secondary fibres. Especially by using a SEM (scanning electron microscope) it is feasible to analyze the fibre surface damage the rest adherences of the matrix on the fibre surface.



or

Conclusion

Through the development of an integral recycling concept it is possible to economize limited resources and energy together with an improvement of the carbon footprint of electric vehicles (and other CFRP-applications).

Figure 18 virgin fibre (left side) and a secondary fibre with rest adherences of the matrix (right side)

There is a substantial need for research in the area of recycling strategies for CFRP as well as for the determination of quality characteristics of secondary fibres, to contribute to the sustainable use of resources.



#### References:

- [1] Composites-Marktbericht 2015, <http://www.carbon-composites.eu/media/1516/2015-09-09-cccv-avk-marktbericht-2015-deutsch-cfk-final.pdf>
- [2] Asmatulu, E., Twomey, Overcash, M., 2014. Recycling of fiber-reinforced composites and direct structural composite recycling concept. Journal of composite materials 48 (5), 593-608.
- [3] BMW group, <https://www.macrumors.com/2015/07/24/apple-bmw-i3-platform-car/>
- [4] E-MOBIL BW GMBH - LANDESAGENTUR FÜR ELEKTROMOBILITÄT UND BRENNSTOFFZELLEN-TECHNOLOGIE BADEN-WÜRTTEMBERG: Leichtbau in Mobilität und Fertigung, Ökologische Aspekte (2012)
- [5] Pimenta, S., Pinho, S.T., 2014. Recycling of Carbon Fibers. Handbook of Recycling-II. RECYCLING-APPLICATION & TECHNOLOGY, 2014.
- [6] Orzol, C.; Jäckel, H.-G., Kohlenstofffaserrecycling - Voruntersuchungen zum elektrohydraulischen Aufschluss von kohlefaserverstärktem Duroplast. Lieberwirth, H., Krampitz, T. (Hrsg): Freiburger Forschungshefte A 920, CFK, Aluminium und Co. – wie kann man Leichtbau-Strukturen recyceln?, 2016
- [7] Limburg, M., Quicker, P. (2016): Entsorgung von Carbonfasern-Probleme des Recyclings und Auswirkungen auf die Abfallverbrennung. Thomé-Kozmiensky, K. J., Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 13. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, S. 135-144
- [8] Fitzer, E., Weiss, R. (1987): Effect of Surface treatment and sizing of C-fibres on the mechanical properties of CFR thermosetting and thermoplastic polymers. Carbon (25), S. 455-467
- [9] Eickenbusch, H., Krauss, O. (2013). VDI ZRE Publikationen: Kurzanalyse Nr. 3 und Dokumentation des Fachgesprächs
- [10] Schulte, K., Ahlborn, H. (1997): Recycling von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK), Recycling von Verbundwerkstoffen und Werkstoffverbunden, S.21-26

**Н. Н. ГРИЩЕНКОВ, Ф. М. ГОЛУБЕВ**

*РАНИМИ, г. Донецк, ДНР*

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ ЗАТОПЛЕНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД НА АКТИВИЗАЦИЮ СДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Деформирование массива горных пород и земной поверхности происходит как при отработке запасов угля, так и в результате ликвидации шахт и их затопления. В результате таких деформаций возникает искажение природной линии ландшафта, из-за чего могут пострадать здания, сооружения и коммуникации.

В то время, как прогнозирование деформаций земной поверхности, вызванных подземными очистными работами, осуществляется достаточно эффективно при помощи действующих отраслевых стандартов, существующие способы прогнозирования деформаций, вызванных активизацией геомеханических процессов при затоплении ликвидируемых шахт, требуют уточнения. Они не учитывают влияние литологического состава горного массива, что способно серьёзно сказаться на точности прогноза деформаций земной поверхности. Действующими методиками прогноза деформаций земной поверхности, вызванных активизацией геомеханических процессов, описанные в источниках [1, 2] обладают также рядом собственных ограничений.

Так, в первой методике, приведенной в нормативном документе [1], коэффициент, учитывающий глубину отработки лавы, не позволяет учитывать воздействие выработок, глубина которых превышает 500 метров. Для учёта влияния более глубоких выработок приходится получать его значение путем экстраполяции. Экстраполяция коэффициента, приведенного в [1] для 500 метров, на 1,4-2,2 длины оцениваемого интервала может дать значительную погрешность коэффициента, учитывающего глубину отработки лавы. Поэтому с достаточной точностью проанализировать риски затопления глубоких шахт, используя методику, указанную в нормативном документе [1], практически невозможно.

Методика расчёта, приведенная в работе [2], не учитывает влияния разрыхления горных пород при подработке и влияния зон разуплотнения. Очевидно, что необходимо создание нового способа расчёта деформаций земной поверхности, который бы учитывал все наиболее значимые факторы, влияющие на величину деформаций, и обеспечивал получение максимально обоснованного прогноза деформаций. Для достижения поставленной задачи, необходимо, выявить основные факторы, влияющие на величину оседаний при активизации геомеханических процессов вызванных затоплением. К таким факторам можно отнести: 1) глубину горных работ; 2) выемочную мощность пласта; 3) степень метаморфизма углей; 4) литологический состав затопленной толщи породного массива.

Учсть такие факторы при исследовании характера деформаций земной поверхности, вызванных затоплением очистной выработки, можно при помощи упруго-пластической конечно-элементной модели. Для объективного отображения свойств горных пород в модель были заложены следующие физико-

механические характеристики: Модуль Юнга (МПа); Коэффициент Пуассона; Плотность ( $t/m^3$ ); Удельное сцепление [МПа]; Угол внутреннего трения (градусы).

В модели были приняты следующие условия отработки: способ управления кровлей — полное обрушение; марка угля — Ж; длина лавы по падению — 200 метров; глубина отработки — 700 метров; мощность вынимаемого пласта — 1 метр.

При создании модели также учитывалась величина зоны водопроявляющих трещин, которая образуется в результате подработки угленосного массива. Согласно исследованиям [3] высота зоны водопроявляющих трещин для углей марки Ж, при полном обрушении кровли определяется как:

$$Hm = 74 \cdot m$$

где  $Hm$  — высота зоны водопроявляющих трещин;  $m$  — мощность угольного пласта.

В толще послойно задавались физико-механические свойства аргиллитов, алевролитов, наносов. Нагрузка на модель задавалась равной давлению породного столба на кровлю очистной выработки под действием силы земного притяжения. В результате расчёта была получена модель деформирования горного массива, которая соответствует основным положениям геомеханики и представлениям, изложенным в работах А.А. Борисова. Для обеспечения адекватности конечно-элементной модели проводилась её калибровка по следующим параметрам: 1) граничные углы; 2) величина максимального оседания земной поверхности; 3) полное смыкание почвы и кровли в модели.

Полученные в модели данные сравнивались с результатами расчёта по отраслевому стандарту [5]. В ходе калибровки была получена практически полная сходимость графиков оседания земной поверхности в модели и при расчёте по отраслевому стандарту (рис. 1).

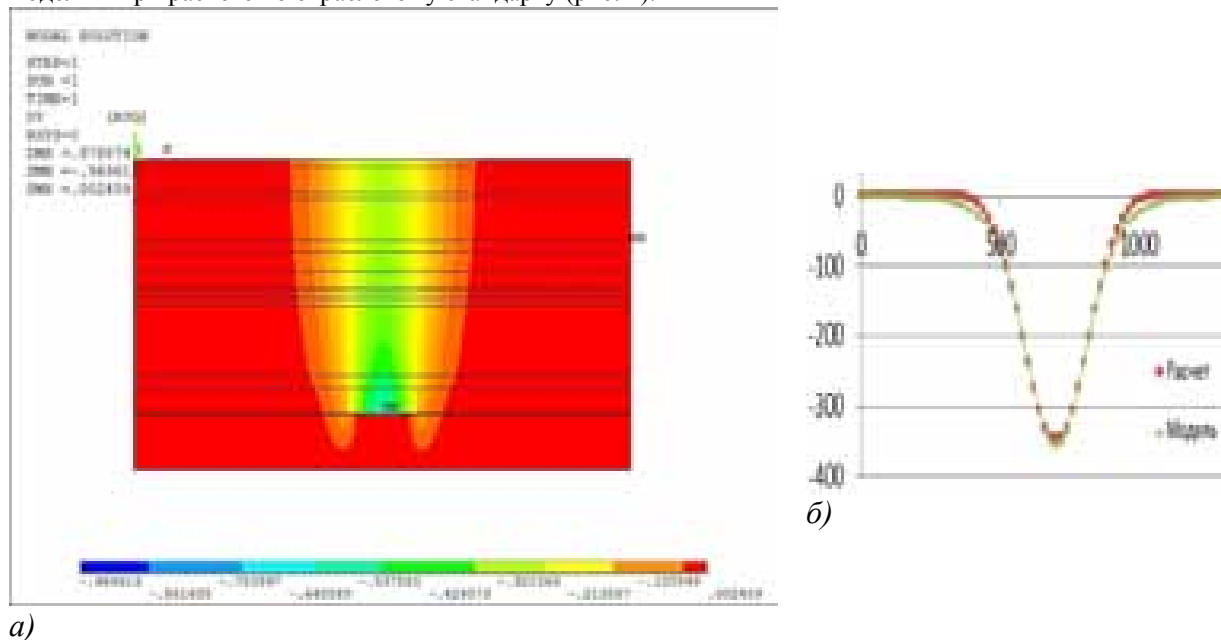


Рис. 1 – (а) схема вертикальных деформаций в массиве, б) график оседаний поверхности в модели и рассчитанный по отраслевому стандарту [5].)

Для определения с помощью конечно-элементной модели деформаций земной поверхности, вызванных активизацией геомеханических процессов при затоплении, над лавой в зоне водопроявляющих трещин, физико-механические свойства горных пород были изменены с характерных для сухих горных пород на характерные для увлажнённых. [4,6]. В результате расчёта были получены графики оседаний для уровней затопления 37 и 74 метра над лавой. Активизация оседаний, вызванная затоплением горных выработок, составила более 20 миллиметров. Также фиксировалось изменение горизонтальных деформаций на 9 % (рис. 2).

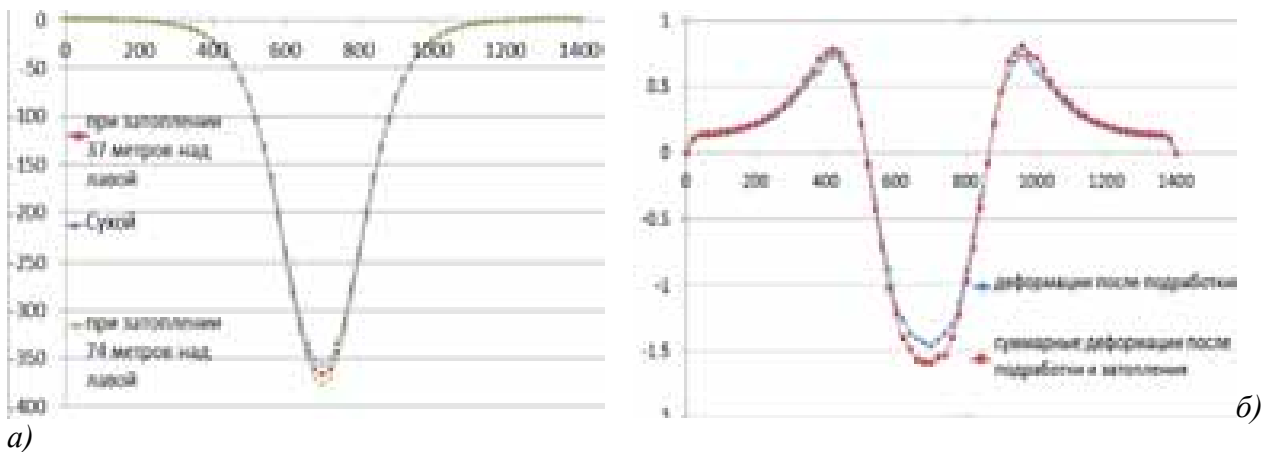


Рис.2 – Изменение оседаний (а)и горизонтальных деформаций (б)при затоплении массива над отрабатанной лавой

Увеличение горизонтальных деформаций на 9-10% для ряда ранее подработанных сооружений и инженерных коммуникаций может привести к превышению допусков и, как следствие, к нарушению их эксплуатационной пригодности.

В результате исследований при помощи конечно-элементной модели, разработан новый подход расчёта смещений земной поверхности при активизации геомеханических процессов, вызванных затоплением старых угольных шахт, который даёт возможность существенно уточнить прогноз деформаций. Использование данного метода позволяет прогнозировать уровень подъёма подземных вод, при котором деформации на поверхности будут близки к предельно допустимым.

#### Литература

1. Ликвидация угольных шахт. Защита земной поверхности от затопления горных выработок. Рекомендации: КД 12.12.004- 98: Утв. Министерством угольной промышленности Украины 20.12.98. – Донецк, 1998. – 46 с.
2. Техногенные последствия закрытия угольных шахт Украины [Текст]/Ю.Н. Гавриленко, В.Н. Ермаков, Ю.Ф. Кренида, О.А. Улицкий, В.А. Дрибан – Донецк. Норд-Пресс – 2004 г. – 633 с.
3. Геомеханические процессы отработки крутых пластов: новые исследования и решения. [Текст] /Питаленко Е.И., Кулибаба С.Б., Гавриленко Ю.Н., Тиркель М.Г., Пивень Ю.А. 2007 г. 380 стр. – с. 269-270
4. Алексеев А.Д. Разрушение горных пород в объёмном поле сжимающих напряжений [Текст] / А.Д. Алексеев, В.Н. Ревва, Н.А. Рязанцев – Киев, Наукова думка, 1989. – 168 с.
5. ГСТУ 101.00159226.001-2003 Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом / Введ. 01.01.04. – К. : Мінпаливенерго України, 2004. – 127 с.
6. Питаленко Е.И. Влияние увлажнения горного массива на активизацию геомеханических процессов при закрытии угольных шахт. [Текст] / Питаленко Е.И., Васютина В.В., Ревва В.Н./ Научные труды УкрНИИМИ НАН Украины - 2011 г. - №8. - С.117 – 128.

**Д.В. ЕВСТРАТИКОВ, А.О. МЕХРЯКОВА\***

*Белорусский национальный технический университет, Беларусь*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ САПРОПЕЛЯ ПРИ ПРОХОДКЕ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ**

В современном мире прослеживается тенденция роста городов и вместе с этим растёт потребность увеличения протяженности подземных коммуникаций, а в больших городах и подземный транспорт пользуется всё большим спросом. Строительство таких сооружений требует бестраншейной прокладки коммуникаций, которое может осуществляться несколькими способами. Первый способ применяется при микротоннелировании с гидротранспортом шлама в виде пульпы из забоя на дневную поверхность с последующей сепарацией смеси. При протяжке рабочей трубы используется специальный бентонитовый раствор и различные полимеры. После прохождения пульпы через сепарационную установку, отделения породы, раствор используется повторно для транспортирования грунта. Второй способ – тоннелепроходческие комплексы с

грунтопригрузом, используемые для строительства тоннелей большого диаметра (6 м и более). Порода грувится из призабойной зоны шпателя в транспортные вагонетки или бады при помощи шнека и ленточного конвейера. Для проходки на таких комплексах также используется полимер и бентонит для снижения сил трения и снижения налипания породы к режущему инструменту в глинистых грунтах. В этом случае порода, обработанная пенным полимерным раствором, не проходит очистку и сепарацию. Эскавируемая проходческими комплексами порода, как и в первом случае, не пригодна для дальнейшего использования, поэтому она утилизируется в специально отведенных технологических площадках, расположенных на значительном расстоянии от городских коммуникаций. Для этих целей, как правило, используются отработанные песчано-гравийные карьеры, которые оборудуются гидроизолирующей пленкой, исключающей попадание остатков бентонита или пенного продукта в подземные воды.

Технико-экономическая эффективность проходки скважин и подземных коммуникаций зависит от режима промывки и технологических свойств буровых растворов. Стоимость буровых и тампонажных растворов в ряде случаев достигает трети общих затрат на бурение скважин. Поэтому понятна необходимость в определении оптимальных режимов промывки и подборе высокоэффективных и дешевых по стоимости буровых растворов.

В процессе циркуляции в системе «буровая установка – забой – скважина – сепарационная установка» буровые растворы выполняют ряд сложных функций: – смазка и охлаждение породоразрушающего инструмента и оборудования; – гидромониторное разрушение забоя; – очистка забоя от шлама и транспортирование шлама на дневную поверхность; – предупреждение обвалов стенок скважины; – удержание компонентов и шлама во взвешенном состоянии в статическом положении раствора; – эффективность отделения шлама из раствора в сепарационных установках при длительном сохранении технологических свойств. Применение растворов при бурении требует соблюдения ряда ограничений от их воздействия на состояние скважины и процесс бурения.

Эффективность очистки бурового раствора от шлама в сепарационных установках в значительной степени зависит от его оптимальных реологических свойств от качества твердой фазы исходного продукта. Частицы твердой фазы должны быть инертными по отношению к частицам шлама и не взаимодействовать с ними. При этом условии будет обеспечено легкое отделение инертных частиц, а ценные компоненты бурового раствора не будут сбрасываться в отвал.

Таким образом, растворы должны обладать строго нормируемыми технологическими и структурно-механическими свойствами как при движении в бурильных трубах, при истечении из насадок, так и в кольцевом затрубном пространстве, при этом не оказывать вредного влияния на ствол скважины и не вызывать осложнений при бурении и загрязнении недр.

Общие требования к качеству буровых растворов, независимо от применяемых для их приготовления материалов, следующие: – низкая плотность и минимальное содержание твердой фазы при стабильном поддержании технологических и реологических свойств; – малые значения вязкости и низкое поверхностное натяжение на границе раствора с горными породами; – хорошее совмещение с применяемыми реагентами для регулирования структурно-реологических и технологических свойств; – нейтральность по отношению к разбуиваемым породам и по возможности безвредность к окружающей среде и обслуживающему персоналу буровой; – смазывающие свойства, в случае применения смазывающих добавок, их количество не должно превышать 10 %.

Основные технологические свойства буровых растворов – это плотность, условная вязкость, фильтрация, статическое напряжение сдвига, толщина глинистой корки и стабильность ее. Эти параметры для различных условий бурения могут колебаться, но их можно легко регулировать путем введения в раствор химических реагентов и утяжелителей. Этим достигаются необходимые технологические параметры раствора при бурении скважин и проходке подземных коммуникаций в конкретных условиях. Существующая технология приготовления буровых растворов и корректировка их состава довольно сложна. Реагенты классифицируются по химической природе, термо- и солестойкости, физико-химическим свойствам, типу исходного сырья и т. д. Применительно к глинам химические реагенты классифицируются на следующие виды: стабилизаторы, структурообразователи, регуляторы рН обменного комплекса, эмульгаторы и пеногасители. Однако наибольшее практическое значение имеют классификации химических реагентов по назначению и химической природе. В частности, для снижения водоотдачи при фильтрации через проницаемые пласты используются: понизители фильтрации, например, гуматные реагенты на основе органического сырья (бурый уголь, торф, сапропель и другие; для поддержания низкой водоотдачи в буровом растворе необходимо иметь от 0,4 до 0,9 % гуминовых веществ; их ежегодный расход составляет около 150 тыс. т); разжижители – класс химических реагентов, вызывающих снижение прочности структуры, определяющих тиксотропные свойства и увеличивающих подвижность раствора, например, нитролигнин – конечный продукт, полученный при нагревании гидролизованного лигнина с азотной кислотой; ингибиторы – химические реагенты, способствующие подавлению процессов гидратации сильнонабухающих глинистых пород и глинистых сланцев; смазочные добавки (нефть, графит, синтетические жирные кислоты) – для снижения износа породоразрушающего инструмента и увеличения механической скорости бурения скважин; пеногасители (сивушное масло, суспензии резины и полиэтилена) используются для предотвращения вспенивания бурового раствора при его приготовлении и циркуляции, а также для дегазации от газообразных продуктов, поступающих в растворы при

разбурировании газовых и газодонефтеносных горизонтов. Помимо указанных для химической обработки растворов используют также добавки, регулирующие кислотность среды, антисептики, эмульгаторы, минерализаторы, утяжелители, термостабилизаторы, антиоксиданты и другие.

Поиск новых материалов, обеспечивающих получение растворов с малым содержанием твердой фазы и необходимые структурно-реологические и технологические свойства, – основная проблема улучшения качества буровых растворов. Вместо глин в качестве твердой фазы все чаще начинают использовать природные и синтетические высокомолекулярные вещества и биополимеры в сочетании с минимальным содержанием недиспергируемой твердой фазы, имеющей высокую поверхностную активность. Снижение количества твердой фазы бурового раствора резко повышает технико-экономические показатели проводки скважин, создает предпосылки для оперативного регулирования структурно-реологических и технологических свойств растворов.

Наиболее перспективным направлением следует считать применение растворов на водной основе, содержащие полимеры многофункционального действия. Они должны обладать высокой агрегативной устойчивостью к действию солей и разбуриваемых твердых, жидких и газообразных веществ, термостойкостью, окислительной и ферментальной устойчивостью. Применение новых полимерных добавок и химических реагентов не должно усложнять условия работы буровых бригад и загрязнять окружающую среду.

В настоящее время созданы растворы с конденсированной твердой фазой, малоглинистые полимерные растворы, инвертно-эмульсионные составы специального назначения. Однако их широкое использование сдерживается отсутствием многотоннажного производства синтетических полимерных материалов и химических реагентов, а также их высокой стоимостью.

Работами ученых Института природопользования НАН Беларуси, Тверского государственного технического университета, Белорусского научно-исследовательского геологоразведочного института показано, что в качестве широко распространенного сырья для приготовления буровых и тампонажных растворов могут быть использованы сапропели и торф малой зольности [1]. В их составе имеется набор необходимых компонентов для приготовления буровых растворов: тонкодисперсная минеральная составляющая, гуминовые вещества, битумы, легко- и трудногидролизующие вещества, лигнин и другие. Основное достоинство торфяных и сапропелевых буровых растворов – их экологическая безвредность, простота приготовления и обработки.

Сапропели, как и торф, угли, горючие сланцы – органическое вещество биогенного происхождения, т. е. каустобиолиты. Формирование сапропелевых отложений пресноводных водоемов определяется особенностями накопления в них органических и минеральных веществ и процессами деструкции. Концентрация биологических и химических компонентов в сапропелевых отложениях различных озер связана со спецификой гидробиологических, гидрохимических и гидродинамических факторов озерного седиментогенеза. Согласно генетической классификации, озерные отложения подразделяются на пять типов с определенным содержанием органического вещества. Институтом природопользования НАН Беларуси разработана промышленно-генетическая классификация сапропелевых отложений в озерах на территории республики, в которой все их многообразие разделено на сравнительно небольшое число типов и классов, для каждого из которых указаны области их практического использования.

Общие запасы сапропелевых отложений в Беларуси оценивают в 3,6 млрд. м<sup>3</sup>. В структуре разведанных запасов озерных отложений преобладают кремнеземистые сапропели (480 млн. м<sup>3</sup>). В настоящее время добыча сапропеля ведется на трех крупных озерах. Годовые объемы производства продукции на основе сапропеля различного назначения составляют сотни тысяч тонн.

В процессе добычи и переработки сапропелей и торфа их природная структура подвергается интенсивным механическим воздействиям, значительно ее изменяющим. Одной из важнейших характеристик, определяющих структуру и свойства сапропеля и торфа, является дисперсность. Естественные дисперсии сапропелей (не подвергавшихся сушке) обладают высокой агрегативной устойчивостью, термо- и солестойкостью, имеют удовлетворительные структурно-реологические и энергетические характеристики, что позволяет их использовать для непосредственного приготовления буровых растворов и эмульсий. Однако на практике применение естественных дисперсий сопряжено с неудобствами их транспортировки на большие расстояния и хранения в зимний период. Гораздо экономичнее перевозить порошкообразный воздушно-сухой сапропель и готовить дисперсии непосредственно при их использовании в бурении. Однако при высушивании ухудшается способность сапропеля к набуханию и образованию в воде устойчивых дисперсий, поэтому для восстановления структуры предложено предварительно их разогревать.

Таким образом, представленные выше разработки обеспечивают повышение эксплуатационных показателей тоннелепроходческих механизированных комплексов при обеспечении экологических мероприятий по инженерной защите окружающей среды; импортозамещение бурового раствора; повышение производительности труда; снижение удельных затрат энергии на единицу выполняемых технологических операций; повышение надежности конструкций исполнительных органов и долговечности породоразрушающего инструмента проходческих щитов. Главным же результатом использования экологически чистых буровых растворов на основе сапропеля можно признать возможность использования экскавируемой при строительстве подземных коммуникаций и тоннелей метрополитенов с помощью механизированных комплексов по-

роды в качестве грунта для рекультивации отработанных песчано-гравийных карьеров совместно с плодородным слоем из очесов.

\* – Работа выполнена под руководством канд.техн.наук, доцента Басалай И.А.

### Литература

1. Косаревич, И.В. Сапропелевые буровые растворы /Косаревич И.В., Битюков Н.Н., Шмавоняц В.Ш.– Мн.: Наука и техника, 1987.–191 с.

**Р.А. КОВНИР**

*Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела, ДНР*

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОД ДВИЖУЩИМСЯ ОЧИСТНЫМ ЗАБОЕМ

### Актуальность:

Добыча каменного угля ведется человечеством не одно столетие, тем самым ежегодно увеличивается площадь подрабатываемой поверхности. На густонаселенной территории как Донбасс увеличение подрабатываемой поверхности влечет за собой резкое возрастание количества подрабатываемых объектов, а следовательно разработки мер по их охране.

Особое внимание заслуживает подработка линейных сооружений и коммуникаций, расположенных на незначительной глубине от дневной поверхности, а именно горизонтальными сдвигами. Это связано с тем, что возникающая «волна» горизонтальных сдвигов, движущаяся в направлении движения лавы имеет знакопеременные значения и является одним из основных инициаторов деформаций, а в худшем случае разрушения подрабатываемого объекта. Существующая методика расчета горизонтальных сдвигов, описанная в «Правила подработки...» [1] не отображает динамическую составляющую процесса сдвига, тем самым исключает возможность своевременного применения мер по защите подрабатываемого объекта. В связи с этим нами предлагается математическая модель прогнозирования горизонтальных сдвигов земной поверхности.

### Методика проведения эксперимента:

В середине прошлого века С.Г. Авершин в своей работе [2] предложил схему-проектирование на вертикальную плоскость кривой смещения наблюдательной точки на всю продолжительность процесса сдвига.

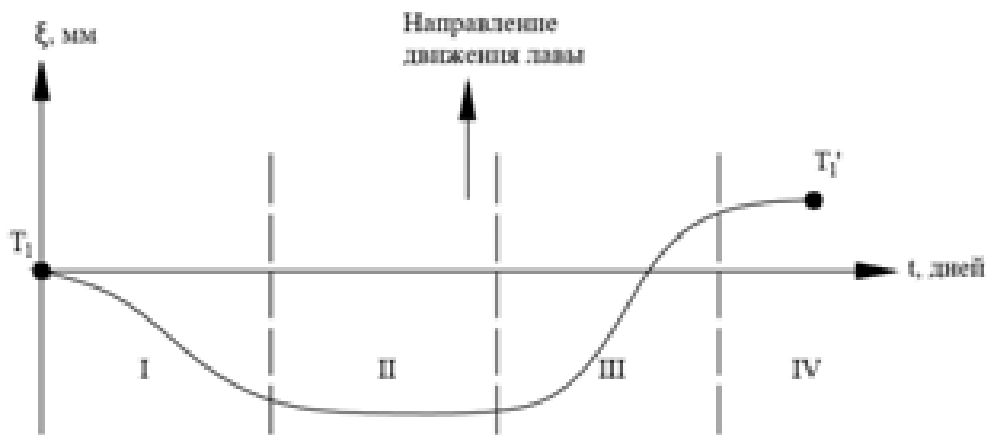


Рис. 1. Схема движения точки на земной поверхности при подработке

В приведенном рисунке 1 автор выделяет четыре характерных участка описывающих траекторию движения точки при следующих условиях: 1 - при приближении забоя к наблюдательной точке, 2 - при прохождении забоя над наблюдательной точкой, 3 - при удалении линии забоя от наблюдательной точки, 4 — траектория точки в результате остаточных сдвигов. В зависимости от геометрического положения наблюдательной точки в пределах мульды сдвига схема ее сдвига будет соответствовать четырем участкам (описывать полную траекторию сдвига) или же по участкам 1-2 и 3-4 при условии что забой не пересечет положение точек на земной поверхности и для пунктов расположенных до линия забоя в начальный момент ведения отработки, соответственно.

Однако исходя из логических заключений делаем вывод, что изменение характера горизонтальных сдвигов (далее динамических кривых) является плавным, тем самым получаем требование о необходимости перехода одной кривой в другую через определенный параметр, который в

свою очередь учитывает геометрическое положение наблюдательного пункта.

В связи с вышеизложенным и представлении о характере динамической кривой горизонтальных сдвижений нами предложена следующая математическая формула для описания динамики горизонтальных сдвижений:

$$\xi_i = \log_{10}(t_i) * \sin(c * t_i) \quad 1)$$

где,  $\xi_i$  – величина горизонтального сдвижения заданный момент времени;

$t_i$  – приведенное количество дней от момента начала движения;

$c$  – параметр характеризующий вид динамической кривой.

Иными словами изменяя параметр «с» в формуле (1) мы можем калибровать вид динамической кривой с данными инструментальных наблюдений.

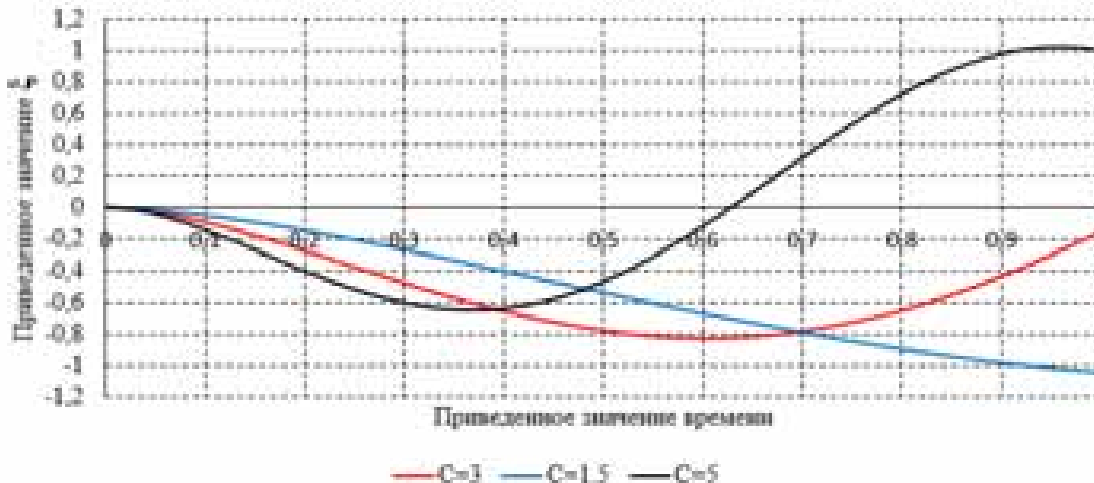
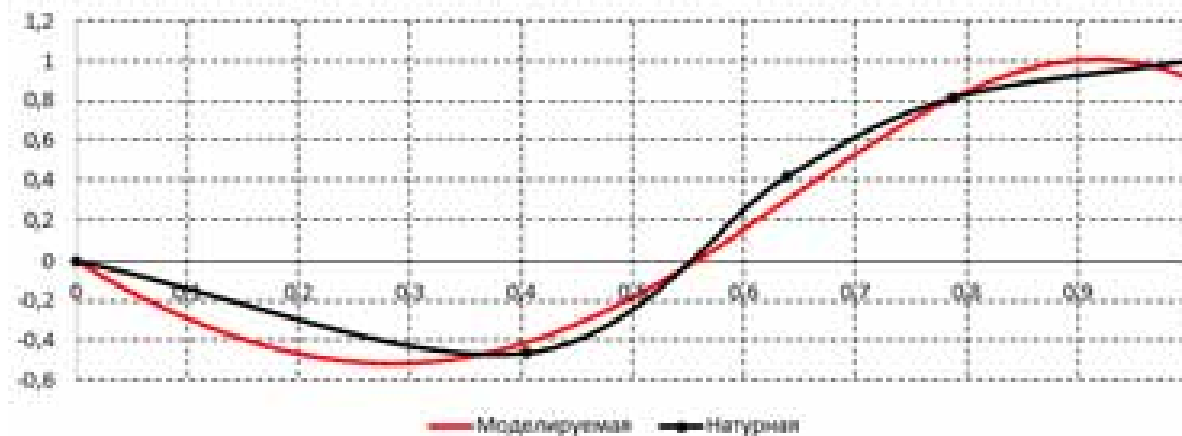


Рис. 3. Вид динамической кривой горизонтальных сдвижений при различных значениях «с»

Анализ пригодности использования предложенной формулы (1) выполнялся следующим образом: на основе данных инструментальных наблюдений на различных станциях были отобраны данные по пунктам расположенных в различных частях мульды, после чего на основе метода наименьших квадратов [3] был подобран оптимальный параметр функции «с». Результаты приведены на рисунке 4 (а, б).

а) При прохождении лавы над наблюдательным пунктом



б) При условии что наблюдательный пункт расположен за линией остановки лавы

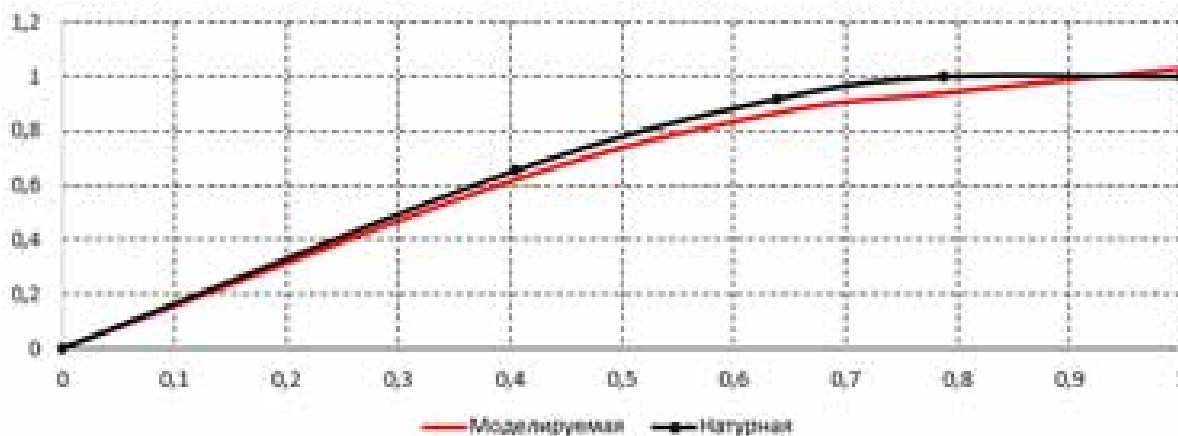


Рис. 4. Сводный график моделируемой и натурной динамики горизонтальных сдвижений

Также по моделируемым и натурным значениям были рассчитаны коэффициенты корреляции, среднее значение которых на наблюдательной станции составило  $R^2_{cp}=0,82$ .

**Выводы:**

Исходя рисунка 4 (а, б), а также числового анализа нами был сделан вывод о допустимости использования функции (1) для целей моделирования динамики горизонтальных сдвижений. Однако более детального и полного анализа требуют вопросы о характере распределения по площади мульды сдвижения параметра «с» при расчете горизонтальных сдвижений в различных направлениях. А также вопросы связанные с переходом характера динамических кривых при различных горно-геологических и горно-технических условиях. В дальнейшем предполагается введение дополнительных параметров в уравнение (1) с целью повышения качества (достоверности) моделируемых значений горизонтальных сдвижений.

**Литература**

1. ГСТУ 101.00159226.001-2003 Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом. – На заміну “Правил охрани...” (М.: Недра, 1981. –288с); Введ. 01.01.04. – К., 2004. – 128 с.
2. Авершин С.Г. Обработка и использование результатов наблюдений за сдвижением поверхности. – М.: Гос. научн.-техн. изд. нефтяной и горно-топл. лит., 1941. – 39 с.
3. Метод наименьших квадратов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод\\_наименьших\\_квадратов](https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_наименьших_квадратов). – Название с экрана.

**Л. ЛУДВИК, А. ОСТАРКОВА**

*Горный институт – Технический университет, Острава, Чешская Республика*

**ЗЕЛЕНЬ - ИННОВАЦИОННОМУ БИЗНЕСУ: СВЕДЕНИЯ ИЗ РЕГИОНА УГЛЯ И ЖЕЛЕЗА**

**Краткое изложение:** Оставский регион (ЧР) обычно связывают с углем и тяжелой промышленностью. Идет процесс свертывания угледобычи. Одной из идей является замена добычи угля применением новых знаний в форме прогрессивных и инновационных технологий в промышленности и выпуском оригинальных продуктов на рынок. Под эту концепцию попадает программа «Green Light».

**Ключевые слова:** прогрессивная бизнес-инфраструктура, бизнес-инкубатор, программа «Green Light»

**1. Введение**

Оставский регион расположен в северо-восточной части Чешской Республики. Его экономическое развитие связано с добычей угля и железа. Отсталый в прошлом регион превратился в густонаселенную промышленную область. В течение длительного времени идет процесс свертывания угледобычи, который, естественно, ведет к таким социальным последствиям как увеличение долгосрочной безработицы, отток молодежи в поисках лучших перспектив и т. п.

Добыча остается необходимой, меняется только лишь ее направление! Вместо угля ископаемыми становятся данные, информация, новые знания, применимые в экономике, на предприятиях и в других областях. Определенные предпосылки для этого создает регион в виде региональной стратегии развития. Ставка делается на конкурентоспособную и основанную на инновациях экономику, опыт промышленного производства и людей, способных интенсивно работать. Под эту концепцию попадает Центр поддержки иннова-



ций, возникший в Горном институте – Техническом университете Остравы. Центр расположен в отдельном здании на территории университета, действует уже десять лет и добился ощутимых результатов.

Целью доклада является краткая характеристика исходных точек, некоторых концепций поддержки бизнеса в ЧР и оравском регионе (Моравско-Силезском крае) и краткое описание экономического механизма реализуемой программы «Зеленый свет инновационному бизнесу».

## 2. Исходные понятия – прогрессивная бизнес-инфраструктура

Поддержка бизнеса, так же как и достигаемые с ее помощью результаты, может иметь самые разные формы – финансовую (финансовые гарантии, кредиты, субсидии и т. п.), техническую и технологическую (земельные участки, рабочие здания, оборудование технологического характера и т. п.), менеджерскую (административные услуги, юридические услуги, консалтинг и т. п.), просветительную (специализированные семинары, курсы, коучинг и т. п.). Поддержка бизнеса может также оказываться в форме развития бизнес-инфраструктуры, то есть сети организаций и услуг, направленных на то, чтобы облегчить жизнь начинающим и малым фирмам в процессе их деятельности.

Возникло новое направление, так называемая прогрессивная бизнес-инфраструктура. В ее основе заложена матрица, одна из осей которой представляет степень менеджерской поддержки, а вторая – степень технической и научной поддержки. Базовая матрица может быть дополнена такими критериями, как степень инновации, оригинальность проекта и т. п. (см. рисунок 1).

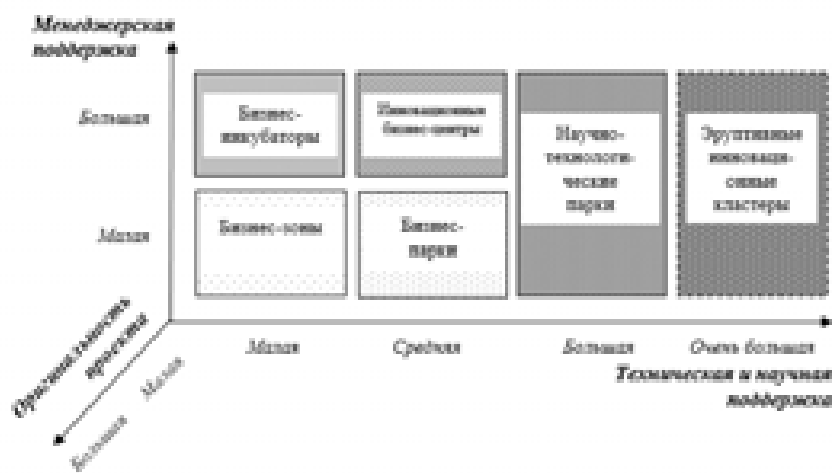


Рисунок 1: Матрица типов прогрессивной бизнес-инфраструктуры

Источник: Собственная разработка

Представленные типы прогрессивной бизнес-инфраструктуры достаточно известны из специализированной литературы и практики. Исключение составляет *эруптивный инновационный кластер*, представляющий собой принципиально новую форму поддержки бизнеса, нацеленную на талантливых инноваторов. В этой структуре инноватору обеспечиваются все организационные, экономические, финансовые, технические, юридические, социальные и др. условия для того, чтобы он в максимально короткие сроки смог реализовать свои замыслы. Условием для включения в структуру является необходимость того, чтобы новый замысел одновременно был приоритетом экономического и социального развития региона и чтобы успешный инноватор вносил вклад в систему, из которой вышел<sup>1</sup>.

Указанные типы прогрессивной бизнес-инфраструктуры существуют в Моравско-Силезском крае в реальной или идейной форме.

## 3. Центр поддержки инноваций

Центр поддержки инноваций является одним из элементов прогрессивной бизнес-инфраструктуры в регионе. Он продолжает процессы, которые начали возникать в университете с конца 90-х годов (бизнес-инкубатор во временных условиях, центральное отделение, отслеживающее объявляемые гранты и проекты, центр прогрессивных и инновационных технологий, отдел разработки материалов для процедуры патентов и т. п.). Строительство и введение в эксплуатацию нового павильона (2008 год) послужило новым импульсом для поддержки бизнеса в условиях университета, представляющего собой инкубатор фирм и поддержку предпринимательства с акцентом на высокие инновации технического и естественно-научного характера. Центр старается при помощи целевой программы поддерживать инновационные идеи студентов и выпускников и мотивировать их к развитию собственной предпринимательской деятельности.

## 4. Зеленый свет инновационному бизнесу

Программа<sup>2</sup> объявляется в начале учебного года. Соискатели, у которых есть идеи, могут подать заявку в течение месяца. Комиссия по оценке выбирает самые лучшие идеи (метод «elevatorpitch»), и их авторы проходят трехмесячный интенсивный курс, направленный на обучение тому, как заниматься бизнесом и

<sup>1</sup>Подробнее – см. библиографический список Ludvík, L. aMikoláš, Z. (2003).

<sup>2</sup>В действительности программа названа английским выражением «Green Light».

как продолжить свои бизнес-намерения. Акцент делается на определении и полном понимании своего продукта, а также на том, кому и как его предложить, как определить и понять источники доходов и необходимые затраты, как понять бизнес-риски и как их избежать. Участники знакомятся с опытом в области руководства людьми, права, финансов и бухгалтерского учета, получают возможность создать собственный веб-сайт и графику фирмы, учатся представлять свой проект, приобретают информацию о возможностях финансирования своего проекта.

На протяжении срока существования программы (4 года) были поданы заявки приблизительно на 200 проектов, 50 из которых были выбраны для интенсивного курса. Приблизительно половина из них была представлена на заключительной открытой презентации перед жюри и инвесторами. Только каждый шестой из заявленных проектов выдержал строгую оценку и прошел в финал. Среди критериев были выполнимость проекта, его инновативность и оригинальность, качество разработки бизнес-плана и потенциал успешности на требовательном мировом рынке. Из успешных проектов можно упомянуть:

- проект Gloffer – речь идет об оригинальном глобальном портале микро-тендеров;
- проект EnLog – оптимизирует системы освещения цехов и зданий с точки зрения передвижений людей;
- проект Электрический скейтборд – речь идет об электрической «дощечке» на колесиках для перемещения по городу.

Опыт показывает, что студентам-инноваторам труднее всего посмотреть на свой проект глазами заказчика. Зачастую игнорируется то, что квалифицированно называется маркетинговой и коммерческой моделью проекта.

## **5. Заключение**

Идея творческой активности – это сердце инновации. От инновационной идеи до ее фактической реализации, применимой на рынке, ведет очень трудный и длинный путь с не известным заранее результатом. Но это достойный путь для последователей тяжелого труда шахтеров, металлургов, машиностроителей в регионе угля и железа. Программа «Зеленый свет инновационному бизнесу» подходит для включения в матрицу прогрессивной бизнес-инфраструктуры с более высокими требованиями к менеджерской поддержке и качеству услуг для начинающих предпринимателей, открывает путь к специализированным подразделениям университета и в мир инноваций, способствует повышению предпринимательской активности молодых людей с высшим образованием.

### **Библиографический список**

Ludvík, L. a Z. Mikoláš (2003) *Новый путь развития малого и среднего бизнеса*. Repronis. Острава. Некоторые проекты прошлых лет. Доступно на <http://greenlight.vsb.cz/pj-categs/projekty-2016/>.

**С.С. СТЕЛЬМАХ, Н.Н. ГРИЩЕНКОВ, Е.В. БЛИННИКОВА**

*Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела МОН ДНР*

## **ПОДРАБОТКА ТРУБОПРОВОДНЫХ КОММУНИКАЦИЙ ГОРНЫМИ РАБОТАМИ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ НАРАСТАНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ**

Действующая в настоящее время методика прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности от влияния подземных горных разработок, изложенная в отраслевом стандарте «Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом» [1], имеет одно существенное ограничение, касающееся подработки трубопроводных коммуникаций. Оно заключается в том, что прогноз сдвижений и деформаций земной поверхности выполняется на момент окончания процесса сдвижения.

Для трубопроводов, расположенных на подрабатываемой территории примерно перпендикулярно к направлению движения подрабатываемой лавы, влияние этого ограничения несущественно, т.к. накатывающийся в результате процесса сдвижения вал деформаций земной поверхности достигает трубопровода практически одновременно на всём протяжении его расположения в зоне влияния подрабатываемой лавы. Этому же способствуют высокие скорости подвигания забоев современных высокомеханизированных лав. Поэтому оценка влияния подработки на сохранность подрабатываемых трубопроводов и выбор мер их защиты, равно как и времени и места применения этих мер защиты, выполняется в этом случае на всём протяжении подрабатываемого трубопровода. Для этого разработана специальная методика, которая успешно применяется в маркшейдерской практике уже ряд лет.

Для трубопроводов, расположенных на подрабатываемой территории примерно параллельно направлению движения подрабатываемой лавы или под некоторым углом к этому направлению (диагонально), ситуация со складывающейся геомеханической обстановкой является иной. Впереди обрабатываемой

мой лавы движется вал деформаций земной поверхности, который последовательно прокатывается вдоль всего участка подземного трубопровода, находящегося в зоне влияния подрабатываемой лавы. Вследствие этого отдельные участки трубопровода испытывают динамическое воздействие нарастающих или убывающих деформаций. В некоторых случаях деформации даже могут изменять знак, т.е. после деформаций растяжения на участке трубопровода могут появиться деформации сжатия или наоборот. Подобная динамика нарастания деформаций представляет определённую опасность для трубопроводов, расположенных на подрабатываемых территориях вдоль направления движения подрабатываемой лавы или под некоторым углом к ней. Опасность эта заключается в том, что по существующей методике прогнозируемые максимальные значения деформаций земной поверхности хотя и близки к ожидаемым значениям, но отнесены на момент окончания процесса сдвижения. В то же время известно, что во время стадии затухания процесса сдвижения деформации возрастают всего на 15% от величины максимальных деформаций, в то время, как длительность стадии затухания составляет примерно 30% от всей длительности процесса сдвижения. Отсюда следует, что наиболее опасным периодом нарастания деформаций является период, начинающийся со второй половины активной стадии процесса сдвижения и до примерно начала второй половины стадии затухания. Именно в этот период деформации достигают максимума наиболее интенсивно. Поэтому целесообразно отслеживать нарастание деформаций именно в этот период.

Один из возможных способов отслеживания нарастания деформаций земной поверхности заключается в проведении серии расчётов прогнозных значений этих деформаций в определённые промежутки времени движения подрабатываемой лавы. Каждому такому временному промежутку соответствует отрезок, на который подвинулся забой лавы.

Ниже приведен пример подработки магистрального газопровода-отвода расположенного параллельно направлению движения подрабатываемой 1099-й лавы пласта  $c_{10}$  шахты «Днепровская» [2]. Для более точного прогноза деформаций земной поверхности выполнено 20 расчетов деформаций земной поверхности от влияния горных выработок под газопроводом для движущейся 1099-й лавы пласта  $c_{10}$  с интервалом 50 м (рис. 1). Оработка будет осуществляться длинным столбом обратно простиранию пласта. Краткая характеристика 1099-й лавы пласта  $c_{10}$ : длина лавы вкрест простирания составляет 281 м; длина лавы по простиранию составляет 1012 м; средняя вынимаемая мощность пласта равна 1,28 м; марка угля- ДГ; средний угол падения пласта составляет  $5^\circ$ ; средняя глубина подработки (в центре лавы) составляет 399 м.



Рисунок 1 – Положение линии очистного забоя 1099-й лавы при различных длинах выемочного столба

На рис.2 и 3 показаны графики оседаний, горизонтальных сдвижений и деформаций земной поверхности от влияния 1099-й лавы пласта  $c_{10}$  для магистрального газопровода.

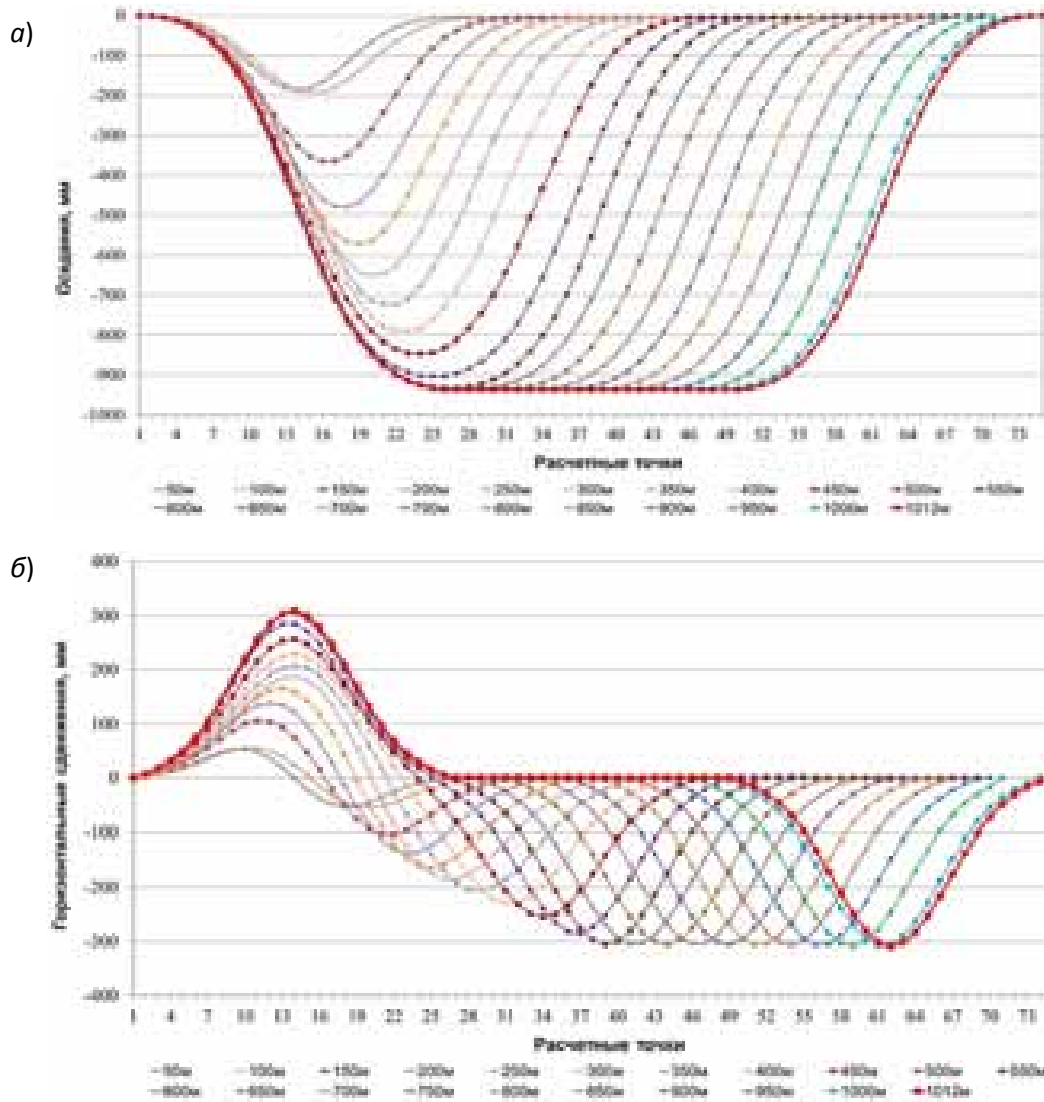


Рисунок 2 – Графики оседаний (а) и горизонтальных смещений (б) земной поверхности над подрабатываемым магистральным газопроводом в динамике процесса сдвижения

На рис.3 показаны графики горизонтальных деформаций земной поверхности при различных длинах выемочного столба 1099-й лавы и допустимые значения для подрабатываемого газопровода. Как видно на рис.3, значения расчетных показателей горизонтальных деформаций, полученных на конец процесса сдвижения, не превышают значения допустимых показателей, а значения расчетных показателей, полученные при подвигании лавы на 250 м – 300 м от разрезной печи, превышают допустимые показатели на интервале между 18-й и 22-й расчетными точками.

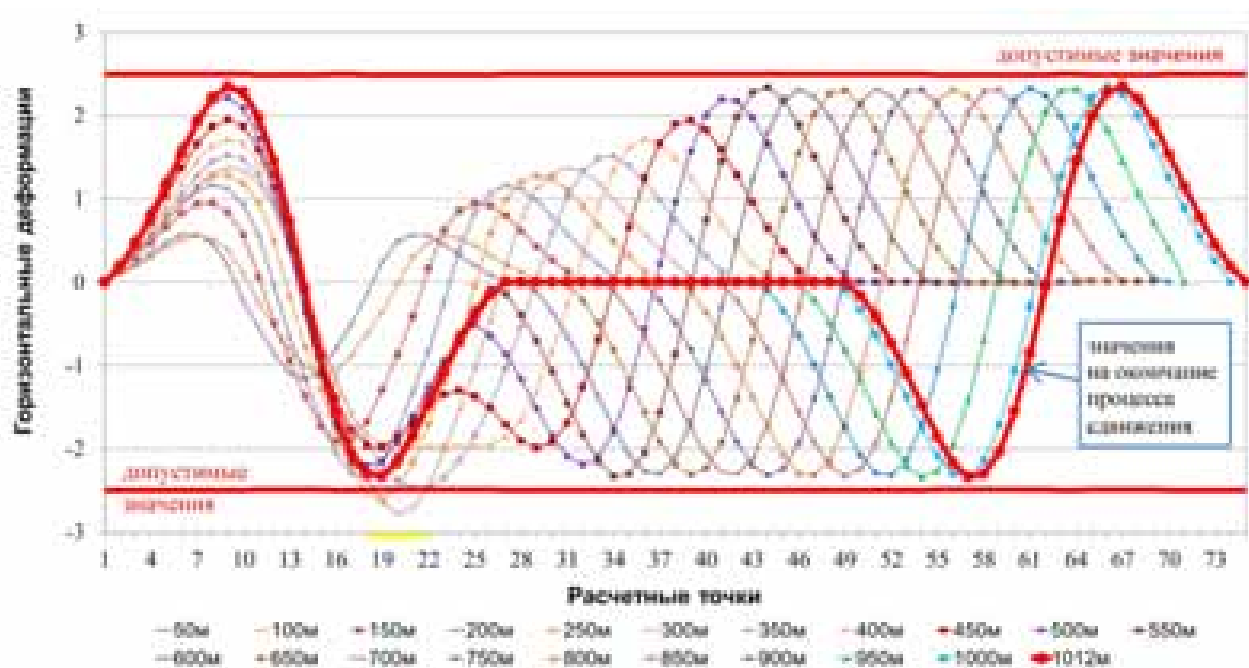


Рисунок 3 – Расчетные и допустимые показатели горизонтальных деформаций земной поверхности вдоль оси магистрального газопровода

Следовательно, подработка магистрального газопровода на указанном участке возможна лишь с применением мер защиты [2], которые необходимо применить своевременно, т.е. при подвигании забоя лавы от разрезной печи на расстояние менее 250 м.

Предложенная методика расчёта сдвижений и деформаций земной поверхности в динамике процесса сдвижения позволяет не только отследить нарастание деформаций земной поверхности, но и обеспечить своевременное применение мер защиты трубопроводных коммуникаций.

#### Литература

1. Правила підробкибудівель, споруд і природнихоб’єктів при видобуванніугілляпідземним способом: ГСТУ 101.00159226.001-2003. – [Чинний 2004-01-01].– Офіц. вид. – Київ., 2004. – 128 с.
2. Грищенко Н. Н. Обоснование поэтапного применения мер защиты линейных инженерных коммуникаций на подрабатываемых участках // Научные труды ДОНТУ. Серия «Горно-геологическая». – Вып. 16(206). – Донецк, 2012. С. 3-11.

**Е.В. ШАВЯКА**

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

## АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПРОИЗВОДСТВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ЕГО СНИЖЕНИЯ

Возрастающие объемы и темпы строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог определяют развитие производства дорожно-строительных материалов на асфальтобетонных заводах. По состоянию на начало 2017 года в Республике Беларусь насчитывалось 101,6 тыс. км автомобильных дорог общего пользования, из которых 87,6 тыс. км дорог – с твердым покрытием. В Беларуси в настоящее время функционирует более 100 асфальтобетонных заводов.

Асфальтобетонные заводы (АБЗ) являются основными производственными предприятиями дорожного хозяйства, предназначенными для приготовления различных асфальтобетонных смесей для строительства, реконструкции и ремонта слоев асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог, улиц, тротуаров, а также аэродромов и гидротехнических сооружений. АБЗ представляет собой смонтированный комплекс технологического, энергетического и вспомогательного оборудования, предназначенного для выполнения операций по приготовлению асфальтобетонных смесей.

В зависимости от классификационных признаков АБЗ подразделяются на различные типы и виды.

Для строительства автомобильных дорог с твердым асфальтобетонным покрытием в зависимости от места расположения различают следующие типы АБЗ: прирельсовые и притрассовые (приобъектные) [1].

В зависимости от вида применяемого топлива: в качестве топлива на АБЗ используются мазут, дизельное топливо и природный газ. Кроме того, возможно также работа установок в режиме использования двух видов топлива. На данных асфальтосмесительных установках, установлены газо-мазутные форсунки.

По длительности работы на одном месте: стационарные, инвентарные (перебазлируемые) и передвижные (часто перебазлируемые).

В зависимости от количества и суммарной производительности асфальтосмесительных установок. Количество смесительных установок на АБЗ колеблется в пределах от 1 до 6. На стационарных АБЗ, как правило, от 2 до 6, а на инвентарных и передвижных – от 1 до 2.

По мощности асфальтосмесительных установок АБЗ подразделяются на следующие типы: малой производительности – до 25 т/ч; средней – 25-50 т/ч; большой – 50-200 т/ч; сверхмощные – 200-400 т/ч [1].

По компоновке технологического оборудования в вертикальной плоскости АБЗ и установки делятся на башенные и партерные (ступенчатые). Наибольшее распространение получили установки с башенным расположением агрегатов [1].

По принципу действия асфальтобетонные установки подразделяются на циклические (периодического действия) и непрерывные (непрерывного действия).

Выделяют следующие технологии приготовления асфальтобетонных смесей:

– традиционная – нагрев минеральных материалов в сушильном барабане с последующим их принудительным перемешиванием с битумом в смесителях циклического действия. Достоинством технологии являются высокая автоматизированность процесса; стабильность качества продукции, недостатками – высокий уровень загрязнения окружающей среды; большая энерго- и металлоемкость производства;

– беспыльная – принудительное перемешивание влажных минеральных материалов с битумом в смесителях циклического действия с последующим нагревом в сушильно-смесительном барабане. Достоинством является экологическая чистота и меньшая металлоемкость производства. Недостатками беспыльной технологии являются низкая производительность, трудности с дозированием, склонность к старению битума, нестабильность свойств смеси на выходе;

– турбулентная – нагрев минеральных материалов со свободным перемешиванием с битумом в смесителях непрерывного действия барабанного типа. Достоинствами турбулентной технологии являются высокая производительность, низкая энерго- и металлоемкость производства. В качестве недостатка следует отметить необходимость наличия узких фракций минеральных материалов [2].

В Республике Беларусь более 90% АБЗ изготавливают асфальтобетонные смеси по традиционной технологии. В асфальтосмесительных установках этого типа все основные операции (дозирование компонентов, время перемешивания, выгрузка готовой смеси и т.д.) могут быть полностью автоматизированы, но при этом технологический процесс сопровождается увеличенным количеством выбрасываемых загрязняющих веществ [3].

Как показывает анализ производственной деятельности АБЗ, основным воздействием, оказываемым на компоненты окружающей среды, является загрязнение атмосферного воздуха вредными веществами.

В процессе производства асфальтобетонных смесей на АБЗ осуществляется ряд технологических операций, которые оказывают негативное влияние на качество атмосферного воздуха:

– технологические операции по приготовлению смесей: нагрев и сушку минеральных материалов; дозирование минеральных материалов (песка, щебня, отсева), битума, минерального порошка и добавок; смешение составляющих в асфальтосмесительной установке и выгрузка из установки готовой (товарной) асфальтобетонной смеси;

– операции по приему, хранению и подаче в бункеры каменных материалов, а при необходимости получение на АБЗ соответствующих по крупности фракций щебня и песка путем дробления и сортировки более крупных фракций;

– комплекс технологических операций по приему, хранению, поддержанию рабочей температуры (около 140 °С) и подаче в дозаторы битума;

– операции, связанные с приемом, хранением, нагревом и подачей в дозаторы минерального порошка (заполнителя); поверхностно-активных веществ (ПАВ);

– технологические операции по приему, хранению, и подаче в топлива (мазут, природный газ, печное топливо);

– операции по складированию, кратковременному хранению и отгрузке готовой асфальтобетонной смеси;

– вспомогательные технологические операции (производство ремонтных, сварочных работ, хранение и перемещение по площадке транспорта и т.д.) [4].

Так как температура укладки асфальтобетонных покрытий составляет 60 - 80 °С, а температура отгрузки смеси с завода – 100 - 130 °С, то, как правило, радиус действия АБЗ при выпуске горячих смесей составляет до 50 км.

В процессе деятельности АБЗ в атмосферный воздух выбрасывается 20-40 наименований загрязняющих веществ. Качественный и количественный состав загрязняющих веществ зависит от характеристики

производства (вида топлива, наличия или отсутствия тех или иных технологических процессов), но основными в структуре выбросов являются: оксид углерода (50-90 %), диоксид азота (2,5-5,5 %), диоксид серы (0,1-15,0 %), твердые частицы суммарно (5,0-27,0%), углеводороды предельные алифатического ряда C<sub>11</sub>-C<sub>19</sub> (до 1 %).

Наибольший вклад (порядка 90 % от валового выброса) в структуре выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух вносит процесс приготовления асфальтобетона в асфальтосмесительной установке.

Удельный валовый выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух от смесительной установки составляет порядка 2,0 кг/т выпущенной продукции. Выбросы загрязняющих веществ на АБЗ зависят от применяемого вида топлива, системы обеспыливания газовоздушного потока, режима работы форсунок в установке.

В качестве первой ступени очистки используются циклоны сухой очистки конструкции НИИОгаз типа СДК-ЦН-33, НИИИОгаз, ЦН-15У, СУН-40 и другие; в качестве второй ступени – мокрые пылеуловители типа СИОТ и ротоклон. Циклоны сухой очистки устанавливаются группами. Также используются ряд оригинальных газоочистных установок, отличающихся от стандартных [5-6].

Основными мероприятиями по снижению выбросов от асфальтобетонных заводов являются:

- изменение технологии приготовления асфальтобетонов (применение нового типа технологии, установок, применение в качестве топлива – природного газа);
- замена форсунок на более совершенные;
- применение улучшенной новой системы очистки отходящих газов;
- применения систем предотвращения выбросов при хранении различных горюче-смазочных материалов;
- монтаж усовершенствованных складов хранения инертных материалов;
- монтаж систем обеспыливания (увлажнения) для дробильно-сортировочного оборудования.

Таким образом, установлено, что наибольший вклад в структуру выбросов вносит процесс сушки и смешения в асфальтосмесительной установке (более 90 %). Определяющими веществами являются оксид углерода, диоксид азота, оксид серы, твердые частицы суммарно, углеводороды предельные алифатического ряда C<sub>11</sub>-C<sub>19</sub>.

Показано, что различия в структуре выбросов обоснованы, в первую очередь, характером применяемого топлива, во вторую – типом и характеристикой применяемой системы очистки газовоздушного потока от различных видов пылей.

*\*Работа выполнена под руководством канд.техн.наук, доц. Басалай И.А.*

#### Литература

1. Силкин, В.В. Асфальтобетонные заводы [Текст]: Учебное пособие/ В.В.Силкин, А.П. Лупанов. –М.: Экон-Информ, 2008 г. – 266 с. – 1000 экз –ISBN 978–5–9506–0323–5
2. Колышев, В.И. Асфальтобетонные и цементобетонные заводы [Текст]: Справочник/ В.И. Колышев, П.П. Костин, В.В.Силкин, Б.Н. Соловьев - М.: Транспорт, 1982 г.,-207 с.
3. Борисов, О.А. Асфальтобетонный завод как источник загрязнения атмосферного воздуха [Текст]:/ О.А. Борисов// Производственно-практический журнал для экологов «Экология на предприятии» - 2012. – № 9. – С. 46–57.
4. Грушко, М.И. Дорожно-строительные материалы [Текст]: учебник для вузов/И.М. Грушко, И.В. Королев, И.М. Борщ, Г.И. Мищенко – 2-е изд. переработанное и дополненное –М.: Транспорт, 1991 г.- 357 с. –7000 экз –ISBN 5–277–01069–6
5. Гравитационно-инерционный пылеуловитель: патент № 2143309 Рос. Федерация: МПК В01D45/00 / Богуславский Е.И.; Омельченко Е.В.; Заявитель: Ростовский государственный строительный университет; Патентообладатель: Богуславский Е.И.; Омельченко Е.В.– №98115204/12; заявл. 05.08.1998; опубл. 27.12.1999 [Электронный ресурс] – URL: [http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS\\_Ru#1488303741573](http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS_Ru#1488303741573) (20.02.2016)
6. Циклон. Патент №3781 Республика Беларусь: МПК 7 В 04С 5/22/Хрусталеv Б.М.; Сизов В.Д.; Кислов Н.В.; Короткий В.Н. Заявитель и патентообладатель: Белорусская государственная политехническая академия – №a19980883; заявл. 28.09.1998; опубл. 30.03.2000 [Электронный ресурс] – URL: <http://www.belgopatent.org.by/database/index.php?pref=inv&lng=ru&page=3&target=6906> (20.01.2017).

# **ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ**

**PAULINA DOROTA CIERPICH, JUSTYNA ELŻBIETA RUCHAŁA**

*AGH University of Science and Technology in Krakow*

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF DIGITAL ELEVATION MODELS AND ORTHOFOTOMAP ACCURACY WITH REGARD TO THE BUFFER ZONE OF POLESIE NATIONAL PARK**

This paper concerns the digital elevation models assessment elaborated on three data sets, which are the observations using tacheometric method, classified point cloud from the air laser scanning and the pictures from full photogrammetric record with unmanned aerial vehicle. Furthermore, qualitative and accurate analysis were conducted for the orthophotomap acquired by the close range photogrammetry. During the analysis, accuracy of the models and the orthophotographic map in relation to reference points across control profiles was calculated. The role of the respective factors that impact the outcome of the study was also taken under consideration. Moreover there was chosen only one algorithm of generating Digital Terrain Model – Triangulated Irregular Network – directly based on field survey data. The result of the conducted analysis keeps its correctness for the investigated area which for this paper is the buffer zone of Polesie National Park.

### **Field Measurements**

Within the buffer zone of Polesie National Park there was singled out a 54-acre test-field located by the south side of the Park. Its inventory was carried out between 15 and 22 July 2016 by twelve students from Surveyors Research Group – Dahlta. Tacheometric survey was performed on the basis of fifteen points of measurement control network. The average distance between particular points of measuring grid amounted to 30 metres. During the survey, the close attention was being paid to landmarks and breaklines in order to reflect the real characteristics of the terrain. As a result of the calculation there was obtained the average height error of 3 centimetres and the average land error amounting to 4 centimetres. On grounds of the received outcome, there was generated the Digital Elevation Model as a surface represented by TIN structure. The further step consisted in the data conversion to a raster image with the ultimate resolution of 0.11 metres. The above tasks were accomplished using the main application of Esri's ArcGIS software – ArcMap.

### **Airborne Laser Scanning**

The second approach of obtaining necessary data to create DEM was Airborne Laser Scanning. This type of measurement was performed throughout the country within the framework of ISOK Project – IT System of the Country's Protection Against Extreme Hazards. Thanks to materials gathered in the Centre of Geodetic Documentation and Cartography, there was a possibility of receiving a classified point cloud in the LAS format of density 4 points per meter square. According to CODGiK, the data had an accuracy of measuring heights amounting to 20 centimetres. The whole data processing was performed using LP360 Standard tools, which are an extension of the ArcMap software. As a result, the raster image in the TIFF format was generated. It represented the Digital Terrain Model from ALS data in the form of Triangulated Irregular Network.

### **Flights of an Unmanned Aerial Vehicle**

The third way to obtain essential information was to take aerial photographs. The measurement was accomplished by means of the unmanned aircraft system (DJI Spreading Wings S1000) with the digital camera mounted on its board (Sony Alpha A7R) owned by AGH University of Science and Technology. In the area of the test-field, there were designed and marked 24 ground control points which three-dimensional coordinates (X, Y, Z) were fixed during tacheometric survey and further calculation. There were scheduled and performed three photogrammetric flights differing in a size of a field pixel. In this case, the dimensions were as follows: 1.5, 2.0 and 3.0 centimetres. The underlying assumption was to adopt the same value of the longitudinal covering ( $p=80\%$ ) and the transversal covering ( $q=60\%$ ) for every variant of flight. Moreover, there was chosen the best resolution of taken photographs from all available (7360 x 4912 pix). The obtained measurement data were digital photographs which, in the next step, were processed by means of Agisoft PhotoScan software. After merging of all taken photos and indicating the location of ground control points, there was generated a dense point cloud. Subsequently, the point cloud was subjected to automatic and manual classification and then there was an opportunity to create the Digital Terrain Model and the Digital Surface Model. The mentioned tasks were performed for every flight analogously.

### **Digital Orthophotomaps**

The generation of an orthophotomap was the last process conducted through Agisoft PhotoScan software. On the grounds of matching photos and Digital Surface Models, there were created three specimens of orthophotographic maps differing in a size of a field pixel: 1.5, 2.0, 3.0 centimetres. As a blending mode, there was chosen a default mosaic which does not mix image details of overlapping photos but uses the most appropriate photo – the one where the pixel in question is located within the shortest distance from the image center. This method is especially useful for orthophoto generation based on approximate geometric model (DSM) as was the case with the pro-



ject. With regard to a visual aspect, obtained orthophotomaps seemed to be almost the same. The only discriminative element was a little bit different colour scheme and brightness of the final product. This situation was rooted in taking photos at different times of the day and changing weather conditions.

#### Analysis of accuracy of DTM

Root-mean-square error (RMSE) was calculated in order to examine the accuracy of each DTM. It is a root of the sum of the squares of the differences in height between the control points on the model and reference points, divided by their number. Tab. 1.- „The values of RMSE of DTM” presents the values obtained for the reference points located on the longitudinal profile (covered by vegetation and high grasses – 175 points) and cross section (dirt road – 168 points).

Tab. 1.- „The values of RMSE of DTM”

	Aerial photographs			Tacheometric survey	Airborne Laser Scanning
	100 [m]	140 [m]	200 [m]		
Longitudinal section RMSE [cm]	20.06	17.63	16.21	16.68	15.38
Cross section RMSE [cm]	5.11	5.66	4.90	6.94	7.58
Final value RMSE [cm]	14.51	12.99	11.87	12.68	12.05

Results allow to conclude that it is possible to obtain accurate DTM in the range of 15–20 centimetres for all of the methods used for flat areas covered with vegetation. The uncovered areas can obtain values in the range of 5–8 centimetres. The final value of RMSE is in the range 12–15 centimetres for each measurement methods. It is worth noticing, that the differences between the presented values of photogrammetric measurement do not differ between each other significantly, despite the fact that the photogrammetric flights were carried out at different heights (with different field pixel size). For generated models there were also analysed the most popular statistical parameters. The obtained values allowed to conclude that the measurement data used to build DTM are devoid of outliers and gross error.

#### Analysis accuracy of orthophotomap

Tab. 2.- „The values of RMSE of orthophotomap”

	Aerial photographs		
	100 [m]	140 [m]	200 [m]
RMSE <sub>s</sub> [cm]	6.19	6.18	6.04
RMSE <sub>H</sub> [cm]	14.51	12.99	11.87
RMSE <sub>3D</sub> [cm]	15.77	14.38	13.32

Rating orthophotomap’s accuracy mainly consisted of checking the geometric quality, which means verifying its internal compliance and carry out the absolute accuracy of the assessment referred to the independent control measurement. For this purpose, it was taken advantage of points from: cross profiles (57) and longitudinal profiles (12) which coordinates were obtained during the reference measurement. These points did not participate in the process of alignment. The absolute evaluation of the accuracy of the resulting product were carried out with the formula for the RMSE. Its altitude component derived from an analysis of NMT, while the error for land coordinates was determined separately for each orthophotomap with manual points identification in the program Agisoft PhotoScan. The total measure of absolute accuracy of the terrain models obtained with different field pixel is approximately 14 centimetres, and the difference between the extreme values of this error is 3 centimetres. This result may indicate that the height of the photogrammetric flights is not a parameter which determines the accuracy. The factors affecting the overall assessment of orthophotomap, e.g. time to carry out a photogrammetric flights or weather conditions also should be noted. In addition, it is worth emphasizing the fact that the accuracy orthophotomap largely depends on the accuracy of the Digital Terrain Model.

#### Conclusions

The biggest influence on the resulting model is the kind of used measurement method (adopted parameters and design assumptions). With no doubt, the best altitude accuracy would present model of tacheometric survey, if it was made of very dense network of measuring points. For the analyzed area it would require a very large workload, and later laborious office work. To speed up field work it is possible to use mixed method, that is, to use tacheometric survey as a complement to modern technology. The photogrammetric flights and laser scanning undoubtedly consume much less time and involving a smaller number of people. If the flights are optimally designed, it is expected to obtain high accuracy. The significant advantage is the penetration of inaccessible places. Obviously, the cost that is inevitable during the purchase of necessary hardware and software is much higher than in the case of classical measurements’ development. However, after the execution of several studies on the extensive grounds, this method can prove to be much more profitable.

## GEODETIC STUDY OF WORKING FACE AND CREATION OF A DIGITAL TERRAIN MODEL BASED ON RASTER DATA

### Abstract

This work aims to present steps of making a digital terrain model of underground coal mine. The following paper provides information about geodetic study concerning design of working face in the area of underground cavity working. The source of the data is a raster representation of the map, based on a part of scanned underground cavity working map. Each step of every process was performed by using digital tools.

### Introduction

Each step of digitalization of the map was performed based on the data taken from the raster representation of the map. That is, the calibration, application of cartographic symbols transcribed from a map file, and finally creation of the digital terrain model.

What is the purpose of digital map and DTM? There are numerous advantages. In contrast to the raster map, a vectorized digital map is easier to store due to the much lower file weight. Resizing a vector image does not in fact reduce its quality, but it actually increases the visibility of details. This type of map can easily be updated with new data. Its content can be modified and it also gives you the ability to change the scale easily or hide the unnecessary layers and groups of elements obstructing the desired view.

### Process of making a DTM

#### Preparing materials

First stage of the geodetic study of the working face is vectorization of raster map, which means a change of raster graphics to vector graphics[1]. Before starting the vectorization, it is necessary to carry out the calibration process on maps, which links a raster map with coordinates. It aims to remove the scanning errors and deformations. It is also necessary in order to fit the original map to the coordinate system. This process typically employs usage of a square grid[1].

#### Map vectorization

Objects defining the geometry of the excavation were vectorized in the first place. These objects are linear features, such as the borders of sidewalks, ramps and drifts. The vectorized map must contain bed thicknesses, boreholes and shafts, spot heights, faults, etc. Increasing the number of objects can increase the accuracy of the model area of the floor.

One of the ways to depict the shape of the floor deck is a TIN model, in which portrayal of a network of triangles is based on all the characteristic measuring points, which ensures high accuracy modeling [3].

### Results

Current technological development allows for digital processing of underground mineral deposits data. The processed data can then be used in creation of models of geological structures, design of excavations or calculation of the size of resources. Specialized graphics programs are tools which make it possible to significantly accelerate and facilitate the work, by processing large amounts of data in short time, and automatically performing complex calculations. Importing the models of workings into the computer allows for the transparent presentation of either the entire bed, or a specific deck or walkway, giving the possibility of rotating model by any axis, zooming it depending on the needs or hiding layers that contain redundant elements. It is possible to easily generate a profile or cross-section, determine the volume or to show the relationship between the workings or decks, depending on the needs[2]. Certain sequence of the procedures is essential in order to produce the desired results.

### References

1. Jagielski A.: *Rysunki geodezyjne z elementami topografii i kartografii*, Wydawnictwo Geodpis, Kraków 2008
2. Lamparski J, Świątek K, *GPS w praktyce geodezyjnej*, Wydawnictwo Gall, Katowice 2007
3. Lamparski J., *Navstar GPS od teorii do praktyki*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn 2001

KUBIŚ PIOTR KRZYSZTOF

University of Environmental and Life Sciences in Wrocław

## VARIOUS TECHNIQUES OF VOLUME MEASUREMENT

Measurement technologies become more precise and faster nowadays. New technologies replace older ones, however the required accuracy, time of the field and office work and equipment costs should be considered during the measurement works. One of newest techniques, which currently is being adopted to various applications

is terrestrial laser scanning. At present scanners are relatively expensive, but short time, accuracy of measurement and precise data without generalization of details are advantages of this technology. In this article measurement of volume using TLS, mirrorless total station and electrooptical stadia were compared.

#### DEVICES

The measurement was performed with Leica geosystems products. All these devices apply pulsed laser to measure distance. Facility sends laser beam to the object, which returns reflected. The distance is calculated by the following formula 1[1]:

$$D = \frac{c \cdot t}{2} \quad (\text{formula 1})$$

where:

- c-Speed of light in a vacuum (299 792 458 m/s)
- n-refractive index,
- t-time from send to become impulse

Laser scanner computes localization of point by known distance to the object, angle of lens and mirror reflecting laser. With the above data, device has polar coordinates, which are recalculated to local coordination system or other one set by the user. Mapping without generalization is a big advantage, because on the point cloud a lot of measurements might be done. Unfortunately the data may contain measure noise ratio or inappropriate reflects of laser from different surfaces, however they can be removed during office work.

Measurement was done with Leica ScanStation P20. This scanner has accurate of 3D position of point 3mm (on 50m distance).

Tacheometer (here TCR 407 Power) also calculates polar coordinates, using zenith and horizontal angles. Standard deviation of this device: electrooptical stadia 2mm+2ppm, angle error 20<sup>cc</sup>. Influence of generalization has to be taken into account. During measurement of re-entrant corners standard deviation is between 2 to 6mm[2].

The third measuring instrument was electrooptical stadia Leica Disto Basic. During measurement using this type of device, surveyor has the biggest influence on measurement accuracy. Lack of spirit level require using extra box level or counting on individual skills. Using this instrument generalization of measured object is the biggest.

#### MEASURED OBJECT

To compare those techniques simple measurement object, hall at the University of Environmental and Life Sciences, was selected. This space can be divided in two masses: cuboid and frustum. In the room three blank doors (only two were measured) and along window recess are located.

#### MEASUREMENT

Measurement by scanner was performed from a single free station. The location caused several still areas, however during the office work missing vertexes were recreated thanks to interpolation of lines and their crossing. It's a huge asset of this technique. In the measurement I set 3.1 mm (on 10m distance) accuracy, P20 worked 13 min 30 sec. Office work clearly presented that used resolution gives condensed point cloud (photo 1) and to increase scanning time the accuracy of measurement can be decreased.

During total station measurement solid figure with blank doors and window recess were measured. Survey was done from two stations. Time of measurement was 25 minutes long.

Disto measurement was done by about 10 minutes long. The survey was performed several times to eliminate blunders.

#### OFFICE WORK

Data from the scanner was imported to Leica Geosystems HDS Cyclone. First step was to clear noise ratio. After that missing vertexes were recreated. Two point clouds, first full, with blank doors and window recess, second simplified- solid figure were prepared. Using CloudCompare program missing places were filled with point cloud. Completed point clouds were exported to MeshLab program. This program created models by calculating normals for points and option: Surface reconstruction: Poisson. Having models volumes were counts. Time of cleaning point cloud was about 20 minutes, reconstructing of vertex took about 10 min. Works in CloudCompare was 15 min long for entire point cloud and 10 min long for generalized cloud.

To clear-cut differences check between scanner and total station the same technology of work was used. XYZ coordinates from tacheometry were imported to CloudCompare. Based on those points surfaces were recreated. Next step was meshing and after that creating point cloud. Like before models and volume measurements were done in MeshLab.

Work with simplified solid figure took about 15 min, but non generalized 45 min long.

Data from Disto were processed manually. Room was cut for two solid figures and afterwards added cuboid and frustum together. Time was about 10 min long.

#### RESULTS

Based on data from TLS in both cases, results were the biggest. Probable reasons are that e.g. windows are thinner than frames or baseboard limits area of the floor. It is important when measuring volume with a tacheometer- vertex have to be aimed precisely.

Summarizing the outcome of the work, subjective generalization of detailed surveys causes noticeable difference on the final effect (table 1) in comparison to not simplified mensuration by scanner. Level of details measured object might be different, it can increase or decrease this disjunction of volume. In this case measurement was

done in university's corridor, place without big amount of details, so it can be concluded that in demanding place with a lot of details bigger differences might arise. It is worth to pay attention to similar work office time.

tab. 1 Results of non-generalized room

non-generalized corridor			time [min]	
device	m <sup>3</sup>	Δ in comparison to scanner	measurement	work office
Total station	198,70	2,70%	25	45
scanner	204,18		13:30	45

Next comparison is on generalized models. Smaller results difference were noticed between scanner-disto than scanner-total station (tab. 2). It is surprising, but in measurement of solid figures, during tacheometry, only vertex was measured, however during survey by disto, values were measured a few times and averaged. It is worth to pay attention to time of field and office works by disto. Here it was the fastest. It is also the less expensive device.

tab.2 Results of generalized room

generalized corridor			time [min]	
device	m <sup>3</sup>	Δ in comparison to scanner	measurement	work office
scanner	200,03		13:30	35
Total station	194,1	2,96%	10	15
disto	197,74	1,14%	10	15

Differences between full and simplified model are similar, independently from used techniques (tab. 3). This indicates similar method of generalization.

table 3. Differences between generalization steps

	model		diffrenet [%]
	generalized [m <sup>3</sup> ]	non-generalized [m <sup>3</sup> ]	
Total station	194,1	198,70	2,21
scanner	200,03	204,18	2,07

Differences between obtain results are small, but depending on measured object might be significant. TLS takes huge amount of time during office work, but differences between received results are not so material. Having in mind device cost, using TLS to measure volumes of simple solid figures seems to be unjustified. But in places with more varied structure e.g. goafs, caves, measurement using this technique might provide better results than in case of using other techniques.

#### Bibliography:

1. Vosselman G., Maas H. 2010. „*Airborne and Terrestrial Laser Scanning*”. Whittles Publishing.
2. Klimkowska H., Wróbel A. 2006. „*Uwagi o wykorzystaniu tachimetrów bezlustrowych w inwentaryzacji architektonicznej*”. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 16, 2006.

**KRZYSZTOF MATUS, KLAUDIUSZ GOŁOMBK**

*Institute of Engineering Materials and Biomaterials, Silesian University of Technology, Poland*

## CHARACTERIZATION OF ALUMINIUM ALLOY WITH METALLOID ADDITION

### Introduction

The conducted research aim to identify and determine the crystal structure of precipitates formed in the aluminium alloy after casting or heat treatment. In the case of aluminium alloys, which are largely recycled for the protection of the environment, the presence of microadditives is unavoidable. This effect occurs because involves a very costly process of removing these microadditions during recycling. The aim of the research was to determine the structure and chemical composition of precipitates formed after the heat treatment process, as well as to determine the effect of high-melting elements on the precipitates crystallisation.

### State of knowledge

Analysed aluminium alloys are alloys whose main components are aluminium, silicon, magnesium and manganese. The multi-elemental chemical composition of these alloys results in complex chemical composition and crystalline structure of formed precipitations. For this reason, numerous attempts have been taken to describing precipitates present in aluminium alloys. So far performed research has focused on the study of the most common precipitates such as  $\beta'$  and  $\beta''$  (fig. 1) in the case of Al-Mg-Si and Al-Mg-Si-Cu (fig. 2). The most commonly used research technique was transmission electron microscopy, which allowed the determination of both the crystalline structure of precipitates as well as the crystallographic correlation between the matrix and precipitated phase [1-5].



Fig 1. Precipitates in aluminum alloy after the laser alloying

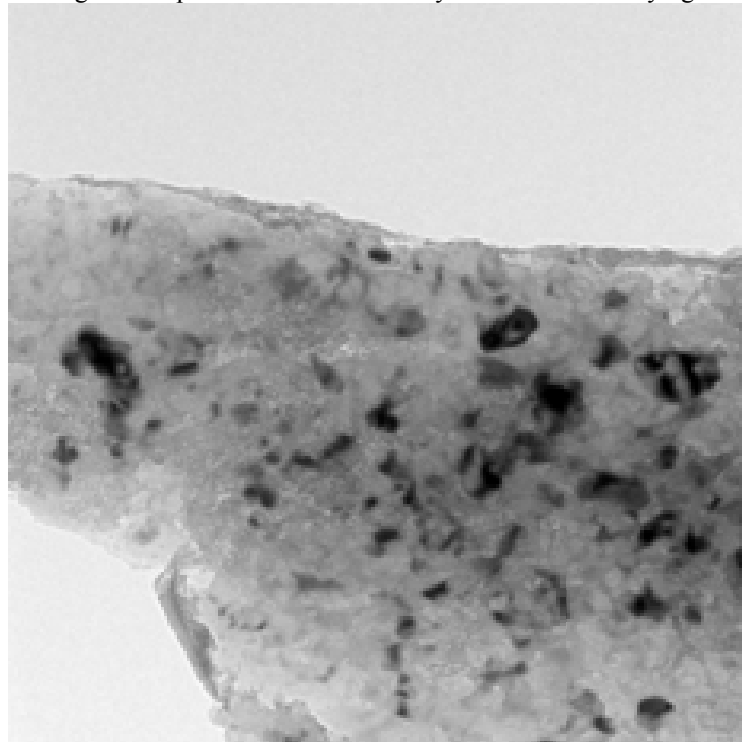


Fig 2. BD image of precipitates in the aluminium alloy - TEM mode

The study of mechanical properties of aluminium alloys was extensive, focusing mainly on endurance and strengthen processes of precipitation in these alloys [6-10]. In the case of laser alloying and surface modification of aluminium alloys, the main areas of interest were abrasion resistance of test layers and the effect of additives on these properties. As well as corrosion resistance of melted layer [11-13].

Effect of precipitation hardening aluminium alloys for precipitations formed of these alloys has been previously described in detail. Performed research has focused on mechanical properties obtained during the heat treatment [1,2] or in the case of laser alloying its impact on the functional properties of aluminium alloys [9-11,13].

The precipitation occurring in aluminium alloys are characterised by a nanometric size (fig. 1, 2) [3,5,9,10]. Precipitation during hardening process dissolves in the matrix and then and re-precipitated during ageing. Thus, the resulting precipitations can vary the chemical composition and the unit cell size of the precipitates formed in the low-alloyed aluminium alloys.

#### Methodology

The results of experiments aimed at identifying the mechanism of crystallisation of the precipitates in aluminium alloys can directly translate into widespread use in industrial practice.

The continual development of test methods is associated with the development of science and technology to stimulate the design of new materials with better and better properties. Since the beginning, the electron microscopy is used to study materials. In the case of X-rays of their initial application was associated with medicine. However, Bragg's work led to the use of X-rays for the study of crystalline materials. Performing research on X-ray diffractometer is much easier than in the case of a transmission electron microscope. This is mainly because of major difficulties in the preparation of appropriate samples for TEM so thin films, and the need to have a very expensive measuring device which is this type of microscope. Therefore, with the development of computing power and their dissemination, software was developed that enabled the simulation of measurements on both TEM and XRD. The use of this type of software provides results of reference, which then can be compared with those obtained from test equipment. The application software also allows realising a series of simulation, a large amount of material and by the results allows to select samples for conventional investigation. This often allows a reduction in costs resulting from the need to prepare a large number of samples and their studies. The latest achievements in the field of computer simulations enable to perform simulations of precipitations crystallographic cells and their diffraction pattern (fig 3).

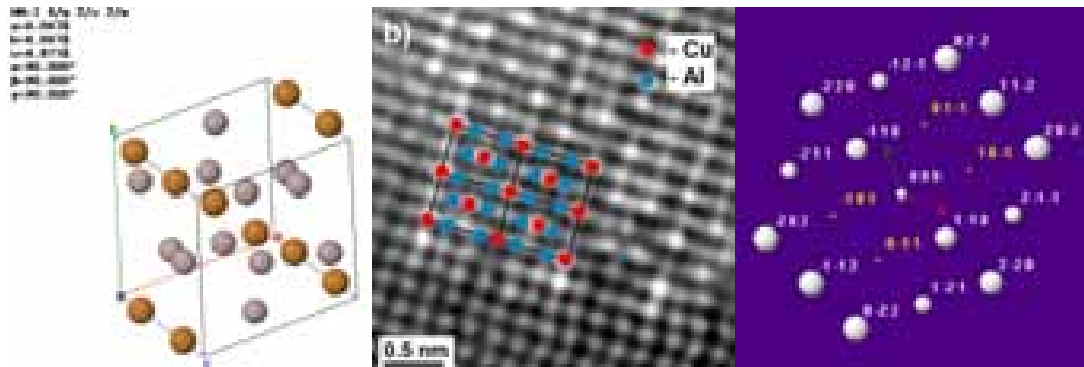


Fig 3. Unit cell of Al<sub>2</sub>Cu, fitting of simulated pattern on HRSTEM image. Simulated Diffraction pattern. Summary

The study precipitates in aluminium alloys are the future direction of development of material engineering, using modern research methods allows the characterization of precipitates in previously unattainable resolution. The use of computer simulations allows to decrease expensive research and confirm obtained the results, both by comparing the results of diffraction pattern as well as the comparison of an arrangement of atoms in the examined precipitates and their simulations.

### References

- [1] Cayron C, Buffat PA. Transmission electron microscopy study of the  $\beta'$  phase (Al–Mg–Si alloys) and QC phase (Al–Cu–Mg–Si alloys): ordering mechanism and crystallographic structure [w:] *Acta Mater*, 48, 2000, 2639–53.
- [2] Chakrabarti DJ, Laughlin DE. Phase relations and precipitation in Al–Mg–Si alloys with Cu additions [w:] *Prog Mater Sci*, 49, 2004, 389–410.
- [3] Chomsaeng N, Haruta M, et al. HRTEM and ADF-STEM of precipitates at peak-ageing in cast A356 aluminium alloy [w:] *J Alloys Compd*, 496, 2010, 478–87.
- [4] Gupta AK, Lloyd DJ, et al. Precipitation hardening in Al–Mg–Si alloys with and without excess Si [w:] *Mater Sci Eng A*, 316, 2001, 11–7.
- [5] Teichmann K, Marioara CD, et al. TEM study of  $\beta'$  precipitate interaction mechanisms with dislocations and  $\beta'$  interfaces with the aluminium matrix in Al–Mg–Si alloys [w:] *Mater Charact*, 75, 2013, 1–7.
- [6] Hu Z, Wan L, et al. Microstructure and mechanical properties of high strength die-casting Al–Mg–Si–Mn alloy [w:] *Mater Des*, 46, 2013, 451–6.
- [7] Aguilar J, Fehlbier M, et al. Non-equilibrium globular microstructure suitable for semisolid casting of light metal alloys by rapid slug cooling technology (RSCT) [w:] *Mater Sci Eng A*, 375–377, 2004, 651–5.
- [8] Lee WM, Zikry MA. High strain-rate modeling of the interfacial effects of dispersed particles in high strength aluminum alloys [w:] *Int J Solids Struct*, 49, 2012, 3291–300.
- [9] Nie JF, Muddle BC. On the form of the age-hardening response in high strength aluminium alloys [w:] *Mater Sci Eng A*, 319–321, 2001, 448–51.
- [10] Otarawanna S, Gourlay CM, et al. Microstructure Formation in AlSi4MgMn and AlMg5Si2Mn High-Pressure Die Castings [w:] *Metall Mater Trans A*, 40, 2009, 1645–59.
- [11] Almeida A, Vilar R. Al–Al<sub>7</sub>Cr eutectic in Al–Cr alloys synthesized by laser alloying [w:] *Scr Mater*, 63, 2010, 811–4.
- [12] Betts JC. 13 - Laser surface modification of aluminium and magnesium alloys. In: Dong H, editor. *Surf. Eng. Light Alloys*, Woodhead Publishing, 2010, p. 444–74.
- [13] He L, Tan Y, et al. Tribological properties of WC and CeO<sub>2</sub> particles reinforced in-situ synthesized NiAl matrix composite coatings at elevated temperature [w:] *Surf Coat Technol*, 244, 2014, 123–30.

## INVESTIGATION OF MORPHOLOGY AND OPTICAL PROPERTIES OF PAN/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> COMPOSITE NANOFIBERS

### Introduction

The nanofibers reinforced composite are a wide range of nanofillers in the nanoparticle such as oxides are iron [1-4], in order to improve the physical properties of the resulting composite materials, impossible to achieve using pure polymers. The nanofiber composite polymer-/ Fe<sub>x</sub>O<sub>y</sub> formed membrane, which, because of their catalytic properties and the ability to remove harmful hexavalent chromium and other harmful compounds are used in filters or components of catalysts [5, 6], and also in water treatment [7]. The composite PVA/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofibers are also used in tissue engineering - a biocompatible material constituting the scaffold for tissue, as well as in the field of medicine during treatment with hyperthermia - ferromagnetic or superparamagnetic particles are introduced into the human body, as close to the tumor tissue, whereupon they are heated by an external magnetic field, which results in destruction of tumor cells [8]. Furthermore, the composite nanofiber reinforced with nanoparticles of iron oxide which has undergone calcination at a temperature of approx. 600C for 5 hours in order to cause physical changes or chemical - showed a very good thermal stability. Furthermore, the calcination process is also used to obtain hollow nanofibers Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> which are used to produce gas sensors [9].

The aim of the article was to optimize the process of electrospinning with the aim of obtaining PAN composite fiber reinforced Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles, used to determine the effect of process parameters on the morphology of the filaments and the analysis of their optical properties in a wide spectrum of radiation.

### Methodology

In order to prepare polymer spinning solutions, the following were used: polyacrylonitrile (PAN) (manufacturer Sigma Aldrich, purity of 99%, Mw = 150 000 g/mol). The reinforcing phase were Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles. Dimethylformamide (DMF) (purity of 99.8%) was used as a solvent. Final products were the solutions of 15% PAN in DMF, 15% PAN in DMF with 5% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles in relation to polymer, and 15% PAN in DMF with 10% content of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles in relation to polymer. In order to break the agglomerates of the reinforcing phase, a measured amount of nanoparticles was added to dimethylformamide, and so prepared solutions were sonicated for a process time of 15 minutes. Immediately after the process of sonification, the solution was added with measured amount of the polymer and subjected to stirring using a magnetic mixing over a 24 h at room temperature. Straight away after mixing, the solution was placed in the pump device, which was the sterile syringe. Composite nanofibers were obtained by using electrospinning method from the solution using the device FLOW - Nanotechnology Solutions Electrospinner 2.2.0-500. The parameters used in this process are: the distance between the electrodes - 15cm, the difference in potential between electrodes - 20 kV, and the spinning solution flow rate - 3 ml / hr.

In order to analyze the morphology of the obtained samples was applied a scanning electron microscope (SEM) Zeiss Supra 35. Analysis of the optical properties of the manufactured fiber mats and polymeric composite was based on the absorbance spectra versus wavelength obtained using a UV-Vis spectrophotometer Evolution 220 Thermo - Scientific, computer-controlled.

### Results and discussion

The applied electrospinning process parameters resulted in the obtaining polymer and composite fibres without structure and surface defects (Fig. 1). The conducted investigations have shown that the obtained nanofibers from 15% polymer solution in dimethylformamide (DMF) are characterized by an average fiber diameter of 310 nm, while for the composite nanofibers with 5% mass fraction of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles, an average diameter of fibers is 340 nm, which allows concluding, that the mass fraction of used reinforcing phase has an influence on the diameter of fibers.

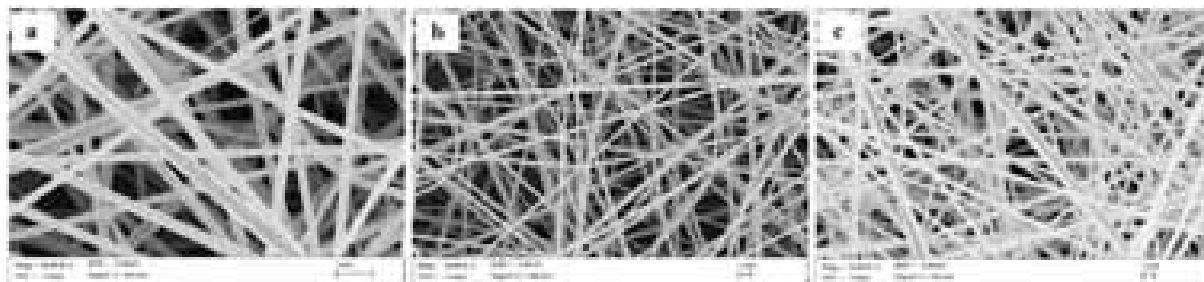


Fig. 1 SEM images of nanofibres surface topography a) polymer PAN, b) composite PAN/5%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, c) composite PAN/10% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

In case of composite nanofibres PAN/ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> with 10% concentration of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles an average dimension of fiber diameter is 640 nm. On the basis of conducted surface topography analysis of manufactured fi-

brous polymer and composite mats it can be concluded that with an increase of concentration of reinforcing phase, in the form of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticles, the diameter of obtained fibers grows.

The investigations of optical properties of the obtained polymer and composite nanofibers were prepared based on the absorbance spectrum in the function of wavelength obtained using UV – Vis spectroscopy (Fig. 2). An analysis of the absorbance spectrum in the function of wavelength obtained for pure polymer nanofibers have shown a sharp edge of absorption for the wavelength of 340 nm, while the absorption maximum was for the wavelength of 310 nm. The obtained results of an absorption spectrum of PAN nanofibers are similar with those reported in [10, 11]. With an addition to polymer 5% of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticles, there is second, gentle absorption edge on the wavelength of 600 nm. The second absorption edge is a result of an addition of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticles to a polymer solution, which confirms the absorption edge of pure  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  in work [12].

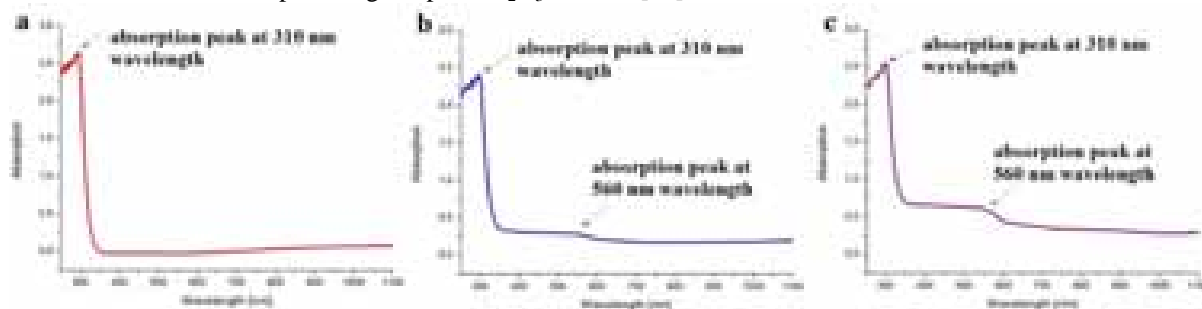


Fig. 2 UV-Vis spectrum obtained for nanofibres a) polymer PAN, b) composite PAN5%/ $\text{Fe}_2\text{O}_3$  c) composite PAN/10% $\text{Fe}_2\text{O}_3$

With 10% content of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticles in polymer solution, the degree of absorption changes and is respectively: 2.4 for pure polymer, 2.7 for 5%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  concentration in polymer solution and 2.6 for 10%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  concentration in the polymer solution. Whereas for gentle absorption edge has increased from 0 in the pure polymer, 0.3 for 5%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  concentration in polymer and to 0.6 for 10%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  concentration in the polymer. The obtained results indicate that with an increase of nanoparticles content in PAN/ $\text{Fe}_2\text{O}_3$  composite the degree of absorption in the function of wavelength grows, which probably is caused by an increase in nanofibers diameter resulting from an increase in the concentration of nanoparticles in the polymer.

### Conclusion

The article describes the method of manufacturing of composite PAN/  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanofibers, with 5 and 10%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticles mass content. The composite nanofibers were manufactured using the electrospinning method from a solution which allows obtaining the nanofibers with an average diameter in the range of about ~ 250 to ~ 700 nm. An addition of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticles to polymer solution resulted in obtaining fibers with a greater diameter in comparison with nanofibers obtained from pure polymer solution. An UV-Vis absorption spectrum analysis in the function of wavelength obtained for manufactured polymer fibrous mats and composite mats has shown an increase of the degree of absorption of the obtained nanofibers in an entire range of radiation spectrum accompanied by an increase in the mass concentration of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticles in the polymer solution. The obtained results testifies that there is possibility of application this type of fibrous composite mats as electromagnetic radiation absorption layers with particular consideration of UV radiation.

### Referenes

1. T. Tański, W. Matysiak, Ł. Krzemiński, Analysis of optical properties of  $\text{TiO}_2$  nanoparticles and PAN/ $\text{TiO}_2$  composite nanofibers, *Materials and Manufacturing Processes* (2016): 1-7
2. W. Matysiak, T. Tański, M. Zaborowska, Analysis of the Optical Properties of PVP/ $\text{ZnO}$  Composite Nanofibers, *Properties and characterization of modern materials*. Eds.: Andreas Ochsner, Holm Altenbach. Singapore : Springer, 2017, 43-49
3. T. Tański, W. Matysiak, L. Markovicova, N. Florek-Szotowicz, P. Snopiński, Ł. Krzemiński, M. Wiśniowski, Analysis of the morphology and properties of PAN/ $\text{Bi}_2\text{O}_3$  composite nanomaterials produced by electrospaying method, *J. Achiev. Mater. Manuf. Eng.* 73(2) (2015): 176-184
4. T. Tański, W. Matysiak, B. Hajduk, Manufacturing and investigation of physical properties of polyacrylonitrile nanofibre composites with  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  and  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  nanoparticle, *Beilstein J. Nanotechnol.* 7 (2016): 1141-1155
5. X. Mou, X. Wei, Y. Li, W. Shen „Tuning crystal-phase and shape of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticles for catalytic applications”, *CrystEngComm* (2012): 5107-5120
6. W. Kang, F. Li, Y. Zhao, C. Qiao, J. Ju, B. Cheng “Fabrication of porous  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ /PTFE nanofiber membranes and their application as a catalyst for dye degradation”, *RSC Advances* (2016): 32646-32652
7. M.J. Nalbandian, M. Zhang, J. Sanchez, Y. Choa, J. Narn, D.M. Cwiertny, N.V. Myung ”Synthesis and optimization of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanofibers for chromate adsorption from contaminated water sources”, *Chemosphere*, (2016): 975-981
8. C. Park, S. Kang, L. D. Tijing, H. R. Pant, C. S. Kim “Inductive heating of electrospun  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ /polyurethane composite mat under high-frequency magnetic field”, *Ceramics International*, (2013): 9785-9790



9. L. Xia, J. Ju, W. Xu, Ch. Ding, B. Cheng „Preparation and characterization of hollow Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ultra-fine fibers by centrifugal spinning”, *Materials & Design*, (2016): 439-445
10. M. Zhang, C. Shao, P. Zhang, C. Su, X. Zhang, P. Liang, Y. Sun, Y. Liu “Bi<sub>2</sub>MoO<sub>6</sub> microtubes: Controlled fabrication by using electrospun polyacrylonitrile microfibers as template and their enhanced visible light photocatalytic activity”, *Journal of Hazardous Materials*, (2012): 155-163
11. K. Ji, A. J. Medford, X. Zhang “Electrospun polyacrylonitrile/zinc chloride composite nanofibers and their response to hydrogen sulfide”, *Polymer*, (2009): 605-612
12. H. Zhu, E. Zhu, G. Ou, L. Gao, J. Chen “Fe(3)O(4)-Au and Fe(2)O(3)-Au Hybrid Nanorods: Layer-by-Layer Assembly Synthesis and Their Magnetic and Optical Properties”, *Nanoscale Research Letters*, (2010): 1755

**NIEWIEM WITOLD GRZEGORZ**  
*AGH University of Science and Technology in Krakow*

## **FOCUSSPHERE - PHOTOGRAMMETRIC ROBOTIC PLATFORM**

### **1. Introduction**

Progress in computing technology in recent years has led to changes in the methodology of many branches of science. Computers equipped with modern microprocessors offer new opportunity for the use of photogrammetric methods in three-dimensional reconstruction of objects. Together with develop 3D models, there are new problems. The algorithms used to align the images network and generate dense point clouds require greater coverage than has been needed in traditional photogrammetry. The problem of acquire a large number of images has become a reason for the machine concept, which speeds up and simplifies the entire process of 3D modeling. The basic functionality of a machine called FocusSphere is to acquire photographic data and describing their geometric characteristics in a fully automated manner. Is possible to plan images network geometry and describe exterior orientation of images.

### **2. Machine construction**

FocusSphere consists of: turntable, boom with trolley, photogrammetric camera, control unit, lighting and photographic screen. The turntable consists of an iron frame made out of welded angle iron. The frame is square shape and a stepper motor is attached to the frame. The frame also consist a welded bracket, which is part of clamping the boom. Engine speed is transferred to the rotation of the table by transmission belt with a gear ratio 1:25. Boom is combination of curved part and straight part. The curved part is full aluminum profile, while the linear part is empty in a cross-section. Another element is trolley, the structure allows to change geometry of the drive rollers to move on both the straight section and the curved section. A photogrammetric camera is screwed to trolley, as camera is used Canon 600D. An important element is the propulsion system of the truck. It consists of an active wheel located in the center of stepper motor rotation axis and two passive wheels located at the middle and at the end of the profile. By the above-mentioned wheel a toothed belt is extended, belt is affixed to the trolley. Toothed belt eliminates the uncertainty of positioning the trolley, which may be caused by slipping smooth belt. The material used for the construction of structural elements of the boom are mainly aluminum, due to its low weight, high ductility and good corrosion resistance. FocusSphere is controlled by the computer using STEP2CNC software, with the aid of a programming language G code. This language is widely used in the CNC machine control. Interpreted code is transmitted through the LPT printer port to the motherboard, where the signal is separates on the part responsible for the movements of turntable and boom. Then, the signal is processed by a separate driver for each of the stepper motors. stepper motor are used, because of their simple construction and universality of application. The lighting system consists four studio soft boxes distributed symmetrically around the turntable. This type of lighting provides uniform object exposure and minimizes reflections. The screen is made out of a material having a white color, that help in bundle adjustment process. By removing the unnecessary background information not related to the object of research is possible to accelerate process of calculation and accuracy is increased.

### **3. Measurement test**

The machine was tested to provide a proper method for performing three-dimensional models. An attempt to evaluate methods of data acquisition and processing is based on the inventory of the reference object, which was the PDC drill bit 12 1/4 ". Drill bit was inventoried using three measurement techniques.

- photogrammetric method of use FocusSphere
- laser scanning
- measurement of electronic caliper

Technologies were compared with each other by checking accuracy of the results. Characteristics of the data was also verified. Creating a photogrammetric model was started from taking eighty images with approximate exterior orientation elements by FocusSphere. The next step was to align the image network using tie points and control points. The process of alignment and building dense cloud was held in the Agisoft Photoscan. The final product was the textured mesh model. The scanning measurement (TLS) performed using the Faro Focus 3D. There was four scanner station and seven targets measurement. Targets were deployed in such a manner ,that four of them

were on top of the machine and the other outside it. The density scanning is set at 5 mm per 10 m. Scans were registered in the software Faro Scene. Six distances were measured by electronic caliper with a readability of 0.01 mm. The difference between the clouds and the models derived from both methods were calculated in two ways: cloud to cloud and cloud to model. The cloud to model results are not affected by resolution of compared clouds. RMS residuals between clouds was 6 mm, while the comparison of cloud to mesh RMS was 9 mm, which is a value close to a typical TLS accuracy. Histogram of residuals took the shape of Gaussian distribution, which suggests a lack of systematic errors. It should be noted that this type of laser scanners are dedicated to inventory objects of bigger dimensions. TLS cloud required filtering processing, because it was significantly noisy. The problem turned out the identification markers, which were used to signal control points. Considerable differences were noticed according the surface density between scanning and photogrammetric data. In the case of photogrammetry cloud was much denser and spatial points distribution was more evenly. Compared volume densities difference was not so substantial, because laser measurement errors were connected mainly with uncertainty of range finder. The effect in case of small objects measurement was particularly noticeable. The spot diameter of the laser scanner Faro is 3.8 mm and it is the size of the output beam. The last element of the test was to comparison measured distance of the selected check points on photogrammetric model with the distances obtained by electronic caliper measurement. Low sensitivity to external interference and high accuracy make it an excellent tool for performing reference measurements. The differences for the six measured length did not exceed 2 mm.

#### **4. Summary**

The conducted experiments confirm that the machine works efficiently. Acquisition of data takes place without significant problems, the machine is effective both mechanically and in terms of control. The data obtained were used to create a 3D model of the test object. Reference data did not confirm the occurrence of errors with a greater range than the typical positional accuracy of points clouds obtained by laser scanning. Caliper comparison showed no different of lengths greater than 2 mm, taking into account the accuracy of the identification point is a satisfactory result. Development of computing technology leads to photogrammetry as a tool for performing economic 3D studies. The obvious development of algorithms results in a greater demand photographic data. Therefore machines take photographs and automatically conducting orientations and even dense cloud generation, will dynamically develop. Further work on the prototype development will focus on the accuracy and stability of exterior orientation parameters. Connection between control mechanics of the system and exterior orientation will be also researched.

**SIMON LIEBING**

*TU Bergakademie Freiberg, Germany*

## **MOLECULAR ELECTRONICS - UNDERSTANDING, RESOURCE USAGE AND ECONOMY**

The development of electronics in the last decades was mainly driven by the goal to make it faster and smaller and to follow the prophecy of Moors law.[1] However, scientists have been aware for a long time that quantum mechanic effects will limit this process. Already a long time ago research on molecular electronics started.[2] The short idea is, to build the functionality of electronic building blocks by a low number of atoms or smaller molecules. This allows to understand the conditions for the individual functionality. It offers the opportunity to continue the miniaturization, the option to have the same effect with less and/or easier available and/or cheaper materials. Some products based on molecular electronics are already available on the consumer market. Additional to the academic aspect of understanding of nature, molecular electronics has the potential to reduce the amount of resources needed and to reduce the dependency on specific suppliers. To sum up the effects for science, economy and society, it offers the potential to reduce the amount of resources needed, the dependency of specific suppliers. More generally it may support the decoupling of economic wealth and resource production.

#### References

- [1] *Moore, G. E.*, Progress in digital integrated electronics. in Electron Devices Meeting, 1975.
- [2] *Feynman Richard*, There is Plenty of Room at the Bottom. California Institute of Technology, Dec. 1959.

TRUONG XUAN QUANG<sup>A</sup>, TRUONG XUAN LUAN<sup>A</sup>, NGUYEN DINH TUAN<sup>A</sup>,  
NGUYEN CHI CONG<sup>B</sup>

<sup>b</sup>Hanoi University of Mining and Geology, 18 PhoVien, BacTuLiem, Hanoi, Vietnam,

<sup>b</sup>Hanoi Univeristy of Natural Resources and Environment, 41A Duong Phu Dien, Bac Tu Liem,  
Hanoi

## A WEBGIS TOOL FOR MANAGING AND VISUALIZING SPATIAL DATA OF THE SIN-QUYEN COPPER MINE (NORTHERN VIETNAM)

### Abstract

*This paper describes the design and implementation of a Web Geographical Information System (WebGIS) for managing and visualizing spatial data of the Sin Quyen copper deposit (WG4SQD). The WG4SQD is based on: (a) spatial data including raster, vector and exploration drill holes data (DFDH); (b) the Open Geospatial Consortium WebServices (OWS) standard technologies contain Web Map Service (WMS), Web Processing Service (WPS) and (c) Open Source frameworks/software. The main functionalities of WG4SQD system can be summarized: (1) storing, viewing and centralizing maps e.g.: Land used and land cover generated form LandSat TM, DEM form ASTER images and map of 35 DFDH; (2) searching and querying data needed; (3) doing statistical analysis and getting statistical charts for prospecting and exploration tasks, (4) 2D visualizing underground of the exploration drill holes and result of interpolation calculations; (5) "insert data" tool for new exploration drill hole when data are available.*

**Key words:** WebGIS Sin Quyen, SinQuyen Copper mine

### 1. Introduction

The study area (Sin Quyen copper mine) is in the northern part of Vietnam. The study area is mostly mountainous; it experiences a dry cold climate from October to March, while the tropical monsoon is rainy season from April to September. The annual average temperature is 23 °C (73 °F), average humidity from 85 - 86%, average annual rainfall 1400 - 1800mm/year.

Sin Quyen mine locates between the longitude 103°48'28.05"E and 103°49'9.271"E, and between the latitude 22°37'0.6"N and 22°37'40"N. The Sin Quyen copper mine is localized in the Neoproterozoic metapelite in the Phan Xi Pang zone. Fifteenth ore bodies have been recognized in the deposit; contains economic concentrations of Cu, Au and LREE, and sub-economic concentration of U-ore (uranium ore). The deposit is currently the largest Cu producer in Vietnam, with annual production of Cu metal is 30,000 Ton .

The Open Geospatial Consortium (OGC), an international voluntary consensus standards organization, It proposed standards for Web Services (OWS) such as Web Map Services (WMS) providing dynamic generation of maps, Web Feature Services (WFS) for requesting features of spatial data, and Web Processing Services (WPS) is a service designed to standardize the way that Geographic Information System (GIS) calculations are made available to the Internet, WPS provides rule for standardizing input and output data and trigger its execution.

Recently, many systems have been developed based on WebGIS technology using OWS, For example: a Spatial Data Infrastructures (SDI) for monitoring environment parameters or natural hazards; an intelligent GeoPortal is a type of web portal used to find and access geographic information and associated geographic services (display, editing, analysis, etc.); a Decision Systems (DSS) have been developed in various study areas such as for earthquake disaster reduction, for flood prediction and monitoring (Brovelli et al., 2012). Although WebGIS is successfully applying in many fields and achieving good results, but it's still a new technology in the studies scope of prospecting and exploration of mineral deposits. This paper presents WG4SQD system for Sin Quyen copper mining based on set of data including raster, vector data and data from DFDH. The aim of system makes available not only for basic functions of WebGIS for instance display, zoom, pan, edit thematic maps over internet, but also it can present some advanced functionalities: [a] visualization functionality shows how underground of exploration drill hole looks like in 2D; [b] statistical functionality presents data analysis of DFDH and interpolation tool for predicting 2D ore-body volume; [c] add a new DFDH to database.

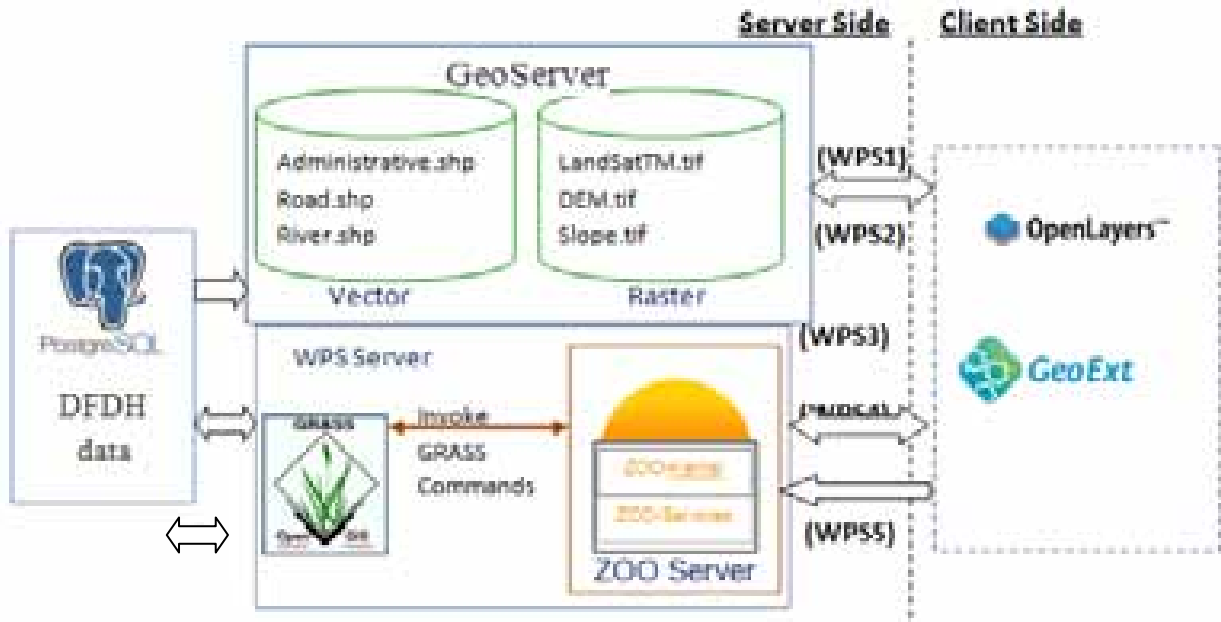
### 2. Data used and FOSS tools

The data used in this study can be divided into two groups, the first group namely is remote sensing (RS): LandSatTM for land used and land cover map, ASTER for Digital Elevation Model; and Geographic Information System (GIS) data: thematic maps come from Vietnam atlas. The second group is data collection from exploration drill holes (DFDH).

In WG4SQD system, on the server-side we focused on GeoServer and PostgreSQL. The GeoServer is a software server that allows users to view and edit geospatial data, uses OGC standards. Then PostgreSQL is a powerful, open source object-relational database system. On the client-side we used OpenLayers and GeoExt, OpenLayers is a map viewing library in JavaScript with no server-side dependencies. Otherwise, the interpolation and analysis tools of system are based on GRASS software, GRASS is a free and open source Geographic Information System software suite used for geospatial data management and analysis, image processing, spatial modeling and so on. For WPS we used ZOO-Project framework, it is an open source platform which implements the WPS 1.0.0 and WPS 2.0.0 standards edited by the OGC (Fenoy et al., 2012).

### 3. Design of system

At each exploration drill hole (DFDH), samples were collected at various points in an underground, all those points were converted to latitude and longitude based on the function of {depth, height, azimuth angle}, this step can be understood as preprocessing data. And then those were imported to PostgreSQL/GeoServer. System architecture of WG4SQD shows as Fig1.

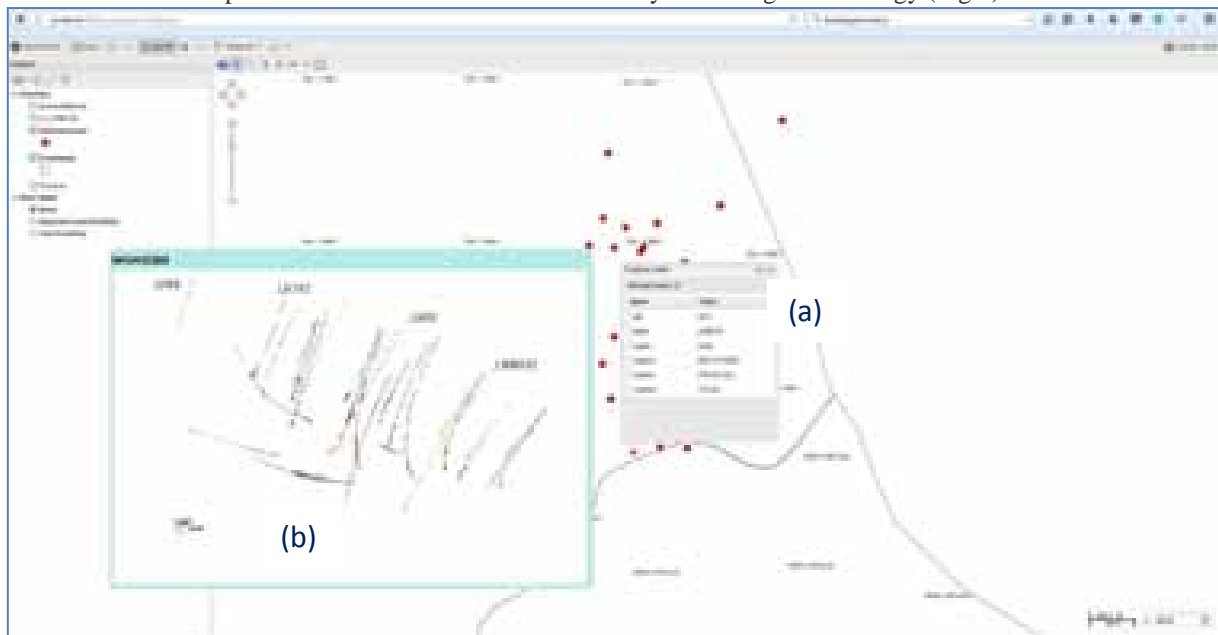


**Fig. 1: Architecture of the main components for WG4SQD system**

The Fig1 shows WPS1 and WPS2, from client-side, user can directly request maps (WMSs) or search/query (WFSs) features of the maps from Geoserver. The WPS3 is visualization service, user can request DFDH data from PostgreSQL and then do spatial analysis for DFDH based on ZOO-Project framework and GRASS software combining with mathematics model. In WPS4, user can get preprocessing data in PostgreSQL and visualization results of an underground of exploration drill holes, otherwise client can see the prediction of orebody volume in 2D based on 2 interpolation models (Kriging and Invert Distance Methods). The final, WPS5 plays the role as a tool for inserting new DFDH data into PostgreSQL.

### 4. Result and conclusion

The WG4SQD is completely used Free and Open Source Software (FOSS). It makes available not only swap off-line tools to online tools but also satisfies some expectations such as: a global access, large number of user, low-cost system and support real-time spatial analysis and visualization. The WG4SQD has been successfully implemented and developed in test server at the Hanoi University of Mining and Geology (Fig.2).



**Fig. 2: WebGIS interface of WG4SQD system, (a) showing Map of exploration drill hole, (b) is visualization of 2D visualizing underground of the exploration drill holes.**

## References

1. Brovelli, M.A., T X Quang., Fenoy, G. (2012). Managing Satellite Precipitation Data (PERSIANN) Through Web GeoServices: A Case Study in North Vietnam. *Intelligent Systems for Crisis Management*, 159-170G.
2. Fenoy, G., Bozon, N., Raghavan, V. ( Jan 2012) ZOO-Project: the open WPS platform. *Appl. Geomat.*

PRZEMYSŁAW SNOPIŃSKI, TOMASZ TAŃSKI, WIKTOR MATYSIAK  
*Silesian University of Technology*

## NANOSTRUCTURING OF AL-MG ALLOY THROUGH SEVERE PLASTIC DEFORMATION PROCESSES

### Aluminium-magnesium alloys

Aluminum alloys with magnesium as the major alloying element constitute a group of non-heat treatable alloys with medium strength, high ductility and excellent corrosion resistance and weld ability. Wrought Al-Mg alloys are used as structural materials in marine, automotive, aircraft and cryogenic applications while the cast forms are used mainly for their corrosion resistance in dairy, food handling and chemical processing applications. Unlike the heat treatable alloys, these materials derive their strength primarily from solid solution strengthening by Mg, which has a substantial solid solubility in aluminum. However, in order to obtain strength levels approaching the regime of the precipitation hardening alloys, high Mg levels are required. Such high levels of Mg pose processing challenges and can increase the susceptibility of the alloys to stress corrosion cracking [1]. According to [2] horizontal continuous casting (HCC) has been widely employed in casting of nonferrous metal wires such as aluminum, magnesium, zinc, copper and their alloys due to its characteristic superiorities which includes low investment cost, low energy consumption, high efficiency and high surface quality. The additions of 0.17wt % Scandium to the Al-Mg alloy can increase the PS (0.2%) from 107MPa to 176MPa. Also the UTS improves from 191MPa to 218MPa. However there is a reduction in the ductility as there is an increase in the hardness value of the alloy [1].

### Severe plastic deformation

The manufacturing of light alloys with a very small grain size in the sub-micrometer or nanometer range is a promising way for increasing the mechanical properties of materials. In particular, such nanostructured alloys possess a higher strength than their coarse-grained equivalents. Simultaneously they conserve reliable plasticity. Very promising techniques for manufacturing nanostructured metals are variants of severe plastic deformation (SPD) processes. This techniques such as equal channel angular pressing (ECAP), high-pressure torsion (HPT), Receptive Corrugation and Straightening (RCS) do not cause significant changes in the initial material geometry, in contradistinction to the conventional processes of metal working like cold rolling, wire drawing or forging. Apparently, the SPD grain refinement from the millimeter or micrometer to the sub-micrometer or nanometer size must directly lead to an increase in mechanical properties of a material through the grain refinement process. However, it has been shown recently that simultaneously with grain refinement through the SPD may cause a softening of just processed - hardened material. This means that the processes of structural changes during SPD are very complicated and should be a subject of scrupulous studies [3-4].

The hardening behaviour of the aluminium magnesium alloys using heat treatment or plastic deformation processes was a subject of the study of many scientists in recent years. However, the greatest improvement of mechanical properties is by use of ECAP method. Such alloy with an ultrafine grained structure was a subject of study in terms of both their microstructural and mechanical properties of many scientists. Recent works have shown that increased content of Mg in SPD aluminium alloys changes their properties such as the work hardening rate, dynamic strain ageing effect, thermal stability, dislocation generation, grain refinement and thus the mechanical strength and plasticity. Generally, an increased Mg content leads to the stacking fault energy decrease, normally resulting in low recovery rates and therefore finer grains after the severe plastic deformation process. When the Mg content reaches 4 % the material has poor workability at ambient temperature which results in the crack appearance on the surface and failure occurring during ECAP process. However, refining the grain size of light alloys such as Al-Mg is particular interest because the yield stress evidently increases when grain size starts to decrease, leading to an increase in the strength to density ratio, which is an advisable attribute when the material is used in the automotive or aerospace industry [5-6].

### Material and investigation results

The chemical composition of Al-3%Mg alloy used in this investigation is given in Table 1. ECAP billets with a diameter of 20 mm and the length of 80 mm were prepared by machining from an ingot and then after precipitation treatment, processed through the (120°) ECAP die up to six passes via route Bc (90-degree rotation between each pass). The second scheme used in this study was the ECAP process up to four passes of as cast samples using the (90°) ECAP die having an additional twist angle at the outer channel with the aim to obtain greater grain

refinement in comparison with conventional equipment. Severe plastic deformation process was carried out at ambient temperature while the deformation rate was constant 2 mm/s. To lower the friction between a sample and ECAP die, the molybdenum disulphide (MoS<sub>2</sub>) lubricant was used.

Table 1. Chemical composition (in wt. %) of the Al-3%Mg aluminium alloy

Mg	Fe	Si	Cu	Ti	Al
2.86	0.07	0.07	0.01	0.01	rest

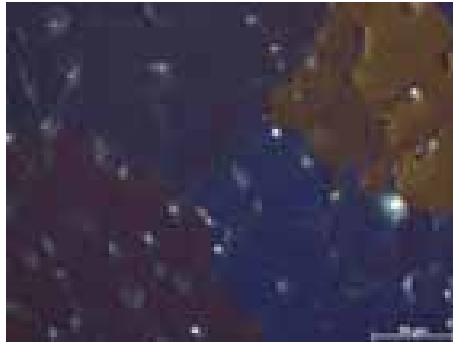


Fig. 1. The initial microstructure of the Al-3%Mg alloy

The representative light optical microscope images showing the microstructure of Al-3%Mg alloy in the cast state are presented in the Figure 1. It is clearly visible that the microstructure of the alloy can be characterized as fine dendritic and coarse grained. Moreover, it can be also observed that a large majority of the  $\beta$ -phase is distributed in the inter dendritic region and on the grain boundaries as a result of the non-equilibrium solidification. The initial state microstructure consists of four phases  $\alpha$ -Al primary phase – matrix of an alloy, Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub>, Mg<sub>2</sub>Si and Al<sub>3</sub>Fe.

a)



b)

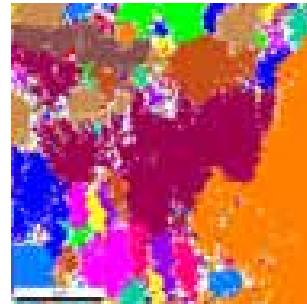


Fig. 2 Structure of the AlMg3 alloy after 4 ECAP passes using modified ECAP die a) light microscope, b) EBSD image

Based on the metallographic analysis presented in Figure 2a it can be concluded that the size of individual grains cannot be clearly measured because of the presence of a slip, shear and micro-shear bands which forms the band-like microstructure. The EBSD orientation map (Figure 2b) shows that the obtained microstructure becomes fine-grained with an average grain size of about ~ 1 $\mu$ m. However, it can be also seen that some grains/subgrains have a size of about 300 nm.

Table 2. Results of Vickers hardness measurements

As cast	~ 45 Hv
Precipitation treated	~ 63 Hv
As cast 4 ECAP passes – modified (90°) ECAP die	~ 121 Hv
Precipitation treated 6 ECAP passes – conventional (120°) ECAP die	~ 130 Hv

Hardness measurements shows that using an ECAP process has meaningful influence on the properties of the material. It can be observed that there is a significant improvement in hardness of the material for both investigated cases. This increase in mechanical properties is due to the grain refinement.

### Summary

In this study, we showed that Equal Channel Angular Pressing method can be a very promising metalworking process which results in a significant increase in mechanical properties of the materials. Moreover, it is shown that the modification of the ECAP equipment can be a promising way to introduce more strain into the material in a single pass.

### References

[1] Ji, X., Zhang, H., Luo, S., Jiang, F., & Fu, D. (2015). Microstructures and properties of al-mg-Si alloy overhead conductor by horizontal continuous casting and continuous extrusion forming process. *Materials Science and Engineering A*, 649

- [2] Lathabai, S., & Lloyd, P. G. (2002). The effect of scandium on the microstructure, mechanical properties and weldability of a cast Al-Mg alloy. *Acta Materialia*, 50(17)
- [3] Valiev, R. (2004). Nanostructuring of metals by severe plastic deformation for advanced properties. *Nature Materials*, 3(8), 511-516
- [4] Xu, C., Furukawa, M., Horita, Z., & Langdon, T. G. (2005). Influence of ECAP on precipitate distributions in a spray-cast aluminum alloy. *Acta Materialia*, 53(3), 749-758.
- [5] Khalaj G., Khalaj M.J., Nazari A., 2012. Microstructure and hot deformation of AlMg6 alloy produced by equalchannel angular pressing, *Materials Science and Engineering A*, 542, pp. 15-20,
- [6] Liu M., Jiang T., Xie X., Liu Q., Li X., Roven H. J., 2014. Microstructure evolution and dislocation configurations in nanostructured Al-Mg alloys processed by high pressure torsion, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 24, pp. 3848-3857.

**RADOSŁAW ZAJDEL, KRZYSZTOF SOŚNICA**  
*Wrocław University of Environmental and Life Sciences*

## **WEB-APPLICATION DEVELOPMENT FOR VISUALIZATION AND ANALYSES OF GNSS ORBIT VALIDATION RESULTS BASED ON SLR DATA**

Satellite Laser Ranging (SLR) is one of the oldest satellite observation technique connected with direct monitoring of the objects orbiting around the Earth. Since 1964, when first observations of the low-orbit satellite Beacon-B started, SLR has moved forward with a huge technological leap binding with the increase of both a precision of observation and accuracy. Nowadays, SLR technique is a foundation of satellite observation techniques, which generates the most accurate products of precision range up to few millimetres. Estimating the distance to some orbiting objects based on SLR observations generates huge and powerful source of data, which in indirect way is used to describe our planet. SLR provides highly accurate gravity field models, especially the low-degree coefficients, and the best coordinates of the geocenter. It can also be used for geodynamical and geophysical phenomena studies or determination of temporal gravity field changes. Last but not least SLR has a substantial contribution to the definition of the International Terrestrial Reference Frame with a reference to the scale and origin of the frame determination.

Initially the main field of interest of SLR was to monitor scientific research satellites primarily on the low Earth orbits, such as LAGEOS or Starlette which were dedicated to this technique. Over time, next generations of other satellites, such as the satellites of the Global Navigation Satellite Systems (GNSS) became equipped with a special laser retro-reflectors arrays (LRA) which make it possible to track satellites by the laser beam. Things are no different for the newly designed GNSS satellites which consistently mount LRAs on their boards. This is remarkable in the light of new possibilities that it creates. First of all SLR became the independent technique, providing valuable information about actual accuracy and the quality of orbit models. Moreover, it allows combining SLR and GNSS techniques using a co-location in space. The co-location is independent of the systematic errors caused by local ties on the station side which in near future can play a fundamental role in strengthening of the ITRS realizations. Improving the quality of GNSS orbits and the opportunity to eliminate one of the greatest source of GNSS microwave scale error: uncalibrated antenna phase centre offsets, seems to be the most interesting in this issue.

With reference to the merits of GNSS microwave and SLR techniques integration as well as the challenges of the future satellite systems realizations, I have created a web-application, whose main task is to allow the user to analyse the results of multi-GNSS orbit validation of microwave orbits using SLR data. By multi-GNSS it means that it provides some information about four different global and regional navigation satellites systems supplied with LRAs: GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS. The functionalities of the web-application let store archival and continuous cumulate near-real time data, visualize the results of the validation and enable the user to analyse them in various variants. The web-application assures independent source of information about the actual quality of GNSS satellites orbits tracked by SLR and the general spacecraft condition. Moreover, archive data analyses allow the user to search for dependencies between many factors involved in SLR observations and the final residuals values such as station equipment, satellite characteristics, and the angles associated with the mutual location of a station, a satellite and the Sun at the moment of observation. The results of the above analyses can be a basis for modelling of the systematic errors imposed on validation results from both, GNSS satellites orbits and SLR stations. Reports and conclusions coming from the service may contribute to the effective growth of the user number of navigation satellites systems especially in Precise Point Positioning (PPP) technique, sensitive to the radial component error of the orbit. Near-real time functionality can alert about anomalous behaviour of a specific satellite based on long-term archival characteristics. In that way, observations to a satellite that seems to be faulty could be excluded from processing.

The web-application uses altogether reprocessed data from 39 SLR stations observing 49 satellites: 14 Galileo, 4 BeiDou, 1 QZSS, 30 GLONASS, which covers the time range from the 1<sup>st</sup> January, 2014. It generates

hundreds of thousands of database rows. This period of time is linked with three intensive GNSS tracking campaigns initiated by the International Laser Ranging Service (ILRS) between 2014 and 2015 and coordinated by ILRS Study Group LARGE [ILRS Large Experiment, 2017]. To be able to analyse all the satellite systems tracked by SLR, CODE's five-system orbit and clocks solution have been chosen. The GNSS orbits have been generated by CODE as a part of activities related to Multi-GNSS experiment (MGEX) established in 2012 by the IGS to prepare the service for new global (Galileo, BeiDou) and regional (QZSS) navigation systems. Apart from CODE only six other MGEX Analysis Centers provide orbit and clock products of at least one new system: CNES, GFZ, TUM, WU, JAXA and ESA [Urschl et al. 2007]. In the application, SLR observation residuals are analysed with respect to extended empirical CODE orbit model (ECOM2). Orbits are referred to the middle day of 3-day arcs [Prange et al. 2016].

The result of orbit validation represented by the RMS of SLR observation residuals is a function of many confounding factors affecting residual values [Sośnica et al. 2015]. In the process of orbit validation it is essential to properly identify systematic errors, describe them using mathematical models and eliminate from calculation in order to evaluate an actual orbit quality.

As we look at SLR stations, all of which are equipped with different types of components. It has far-reaching consequences for the observations made by them. As a matter of facts, we cannot tell about homogeneous and coherent dataset from entire SLR systems, because each one generates observations charged by the errors of specific conditions attended on a station. Each ILRS station is equipped with: a high energy pulse laser, an accurate timer, a precise photon detector and an agile telescope [ILRS Ground Segment, 2017]. The laser and detector types are extremely important in the case of SLR tracking of GNSS satellites. Most of stations were designed to track satellites on much lower orbits than those for GNSS satellites. The most expected operation mode of station laser is to fire very short pulses on relatively smaller amount of energy in kHz range repetition rate (Graz, Herstmonceux and Changchun). Laser stations use two groups of detectors types that capture returning signals. It might be either a micro-channel plate (MCP) or photomultiplier tube (PMT) registering many photons, or an avalanche diode (SPAD or extended C-SPAD) registering only single to a few photons with a fast rise of the avalanche giving a good epoch timing and high stability. Both technologies have their advantages and disadvantages but most essential in SLR to GNSS observations is the necessity of recognition of even a single photon. Amount of photons sent in laser pulse decreases proportionally in the square of the distance. Moreover station should control the signal strength to eliminate changes in energy detection at low elevation angles due to atmospheric issues called nadir-angles dependencies [Sośnica et al. 2015]. Station operational availability during the day increases the data yield on station. Initially station lasers had not been well-adjusted for daytime tracking, unless relevant adaptation using special narrow-band filters were made. Even so different tracking procedure in day-time laps could induce some systematic effects [ILRS Ground Segment, 2017].

Each navigation system has its own technologies and approach to fulfilling the aims of satellite missions [Montenbruck et al. 2009]. In the result there are many differences in, for example, size, shape and LRA types, not only between systems but even within them among next generations or blocks of satellites. Satellites are equipped with LRAs of different types and coating. We can identify some different approaches to the shape. Apart from the shape, LRA are characterized by the number of corner cubes, consisting from 60 on GALILEO FOC satellites to 496 on GLONASS. Last but not least is making some use of aluminium coating covering the corner cubes. The uncoated corner cubes are preferable as they increase the return rate signal strength so that a target is easier acquirable [Sośnica et al. 2015][Nakamura 2011]. There is heavy dependence between coating type on satellite and detector type on station because of MCP and PMT sensitivity towards satellite signature effect when the energy is not properly controlled [Sośnica et al, 2015]. The satellite signature effect is defined as a spread of a signal pulse due to reflection from many reflectors. In the result SLR residual value becomes a function of a satellite nadir angle.

In short conclusion there is one thing to keep in mind: SLR observations, despite of their high precision, are not free of biases. The created web-application gets on with the task to take a great majority of discussed satellite-side and station-side factors and make it possible to deeply analyse the patterns of systematic dependencies.

The web-based application uses a website as the interface or front-end so that users can easily access the application from any device connected to the internet using a standard browser. That kind of development generates loads of advantages from both user and developer side which in case of the described project is really essential. Service is not the discovery by itself but gives the opportunity to move forward with easy and complete dataset and access to analyses in the field of SLR observations. With reference to the requirements of the application, Django core technology was used for building the kernel of the app. Django is an open-source, high-level Python Web framework that simplify and rationalize the process of app development. The choice was also consolidated by the possibility of more complex development with python-based libraries. Django derived its strength from Model-View-Controller design pattern which is commonly used in modern web programming and seems to be the best way to design client-server application.

The database layer of the app is covered by PostgreSQL which, as it is described by its authors, is the world's most advanced open source Database Management System. Combining PostgreSQL database with Django core creates high effective system based on Object-Relational DMS. The positive quality of PostgreSQL is also its spatial extension PostGIS, which could be used in the future stages of the project.



As a sample of opportunities that the mentioned web-application creates, systematic bias detection has been presented below. Taking under consideration observations made on two of most productive and stable multi-photons stations (Yarragadee – 7090, Goddard – 7105) in opposite of two credible single photon stations (Graz – 7839,

*Table 2: Summary of SLR observations to GLONASS satellites on some ILRS stations*

Hertsmonceaux – 7840) we can find some consequences of station's detector type and mode of operation.

Basic tabular analysis was made on GLONASS satellites, which orbits are commonly taken as well-modeled, in time range between years 2015-2016. Thus, most noticeable errors can be assigned as station's bias. Stations 7389 and 7840 are characterized by smaller mean offset equal -8.2 mm with 36.8 mm of RMS than stations 7090 and 7105 which mean offset values equals -17.8 mm with 46.3 of RMS.

The developed software creates almost limitless opportunities to scale its functionality in performing semi-automatic analyses of the GNSS orbit validation results based on the SLR data. The web-application is still under construction, however because of making use of OpenShift – the open source Platform as a Service solution from Red Hat, it's fully accessible online for everyone on <http://multi-slr-gnss.rhcloud.com>

#### References

1. Dach R, Lutz S, Walser P, Fridez P (eds) (2015) Bernese GNSS Software Version 5.2. Astronomical Institute, University of Bern
2. Sośnica K, Thaller D, Dach R, Steigenberger P, Beutler G, Arnold D, Jäggi A (2015) Satellite laser ranging to GPS and GLONASS. *J Geod* (2015) 89:725–743. DOI 10.1007/s00190-015-0810-8
3. Prange L, Orliac E, Dach R, Arnold D, Beutler G, Schaer S, Jäggi A (2016) CODE's five-system orbit and clock solution—the challenges of multi-GNSS data analysis. *J Geod*. DOI 10.1007/s00190-016-0968-8
4. Montenbruck O, Steigenberger P, Kirchner G (2009) GNSS Satellite Orbit Validation Using Satellite Laser Ranging
5. Nakamura S, JAXA Flight Dynamics Team (2011) Comparative Verification of Return Rate on GNSS LRA. 2011/05/18@ILRS WS
6. Urschl C, Beutler G, Gurtner W, Hugentobler U, Schaer S (2007) Contribution of SLR tracking data to GNSS orbit determination. *Advances in Space Research* 39 (2007) 1515–1523
7. ILRS Ground Segment 2017, accessed 27<sup>th</sup> February 2017, <https://ilrs.cddis.eosdis.nasa.gov/technology/groundSegment/>
8. ILRS LARGE Experiment 2017, accessed 27<sup>th</sup> February 2017, [https://ilrs.cddis.eosdis.nasa.gov/science/ILRS\\_LARGE\\_sg/](https://ilrs.cddis.eosdis.nasa.gov/science/ILRS_LARGE_sg/)

**П.Ю. БУРЛАКА, С.В. ЗАЙЧЕНКО, В.В. ВАПНИЧНАЯ**

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Украина*

## **МЕХАТРОННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КОНТУРА ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ**

Современный этап развития средств определения свойств и диагностики состояния геотехнических объектов характеризуется применением последних достижений механики, информационных технологий, электротехники и теории управления. Применение таких направлений развития науки и техники в сочетании с географией и геологией позволило создать качественно новые направления технического прогресса геоинформатику (геоинформационные системы), телеметрию скважин, внутритрубную дефектоскопию и др. Данные системы представляют собой интегрированные компьютерные системы, находящиеся под управлением специалистов-аналитиков, которые осуществляют сбор, хранение, манипулирование, анализ, моделирование и отображение пространственно - соотнесенных данных [1]. В общем случае данные системы возможно классифицировать, как мехатронные, по причине наличия всех характерных признаков: IT-технологии, электронные системы, системы управления, различные типы датчиков, механические, оптические и другие систем сбора информации [2]. Особый интерес с точки зрения автоматизации измерения деформаций на поверхности горных выработок с целью создания автоматизированных систем геомеханического мониторинга [3] вызывает создание отечественного профилометра подземных выработок на основе

многоцелевого геомехатронного комплекса. Подобные роботизированные геоинформационные комплексы успешно зарекомендовали себя в исследованиях, при которых присутствие человека затруднено: разведки вулканов, скважин, пустынь, морского дна, нефте-газохранилищ и др. [4].

Целью проведенных исследований является определение алгоритма действия и создание промышленно-экспериментального образца геомехатронного комплекса для установления действительного профиля подземной выработки, что позволит провести анализ крепления или обработки.

Задачами исследования являются:

- анализ существующих методов определения геометрии и сдвига контура горных выработок;
- анализ способов позиционирования элементов мехатронных систем;
- создание алгоритма работы геомехатронного комплекса для мониторинга внутренней поверхности подземной выработки;
- создание экспериментального образца геомехатронной системы для проверки разработанного алгоритма.

При движении геомехатронного комплекса вдоль выработки положения датчика постоянно меняется вследствие неровности поверхности почвы выработки. В общем случае площадка с расположенными датчиками расстояния, гироскопом и акселерометром двигаясь со скоростью смещается относительно исходного положения и возвращается на углы вокруг осей исходной системы координат  $OX, OY, OZ$  (рис. 1), что приводит к искажению полученных данных профиля выработки. После остановки комплекса датчики расстояния и угла поворота датчика расстояния формируют первичный массив  $[\alpha', R']$  данных описывающий в полярных координатах контур выработки относительно нового положения.

Для получения координат профиля относительно начальных координат полученные данные превращают в декартовы координаты, перечисляют с учетом нового положения площадки после чего возможно преобразование в полярные координаты:

$$[\alpha', R'] \rightarrow [X', Y', Z'] \rightarrow [X_0, Y_0, Z_0] \rightarrow [\alpha, R].$$

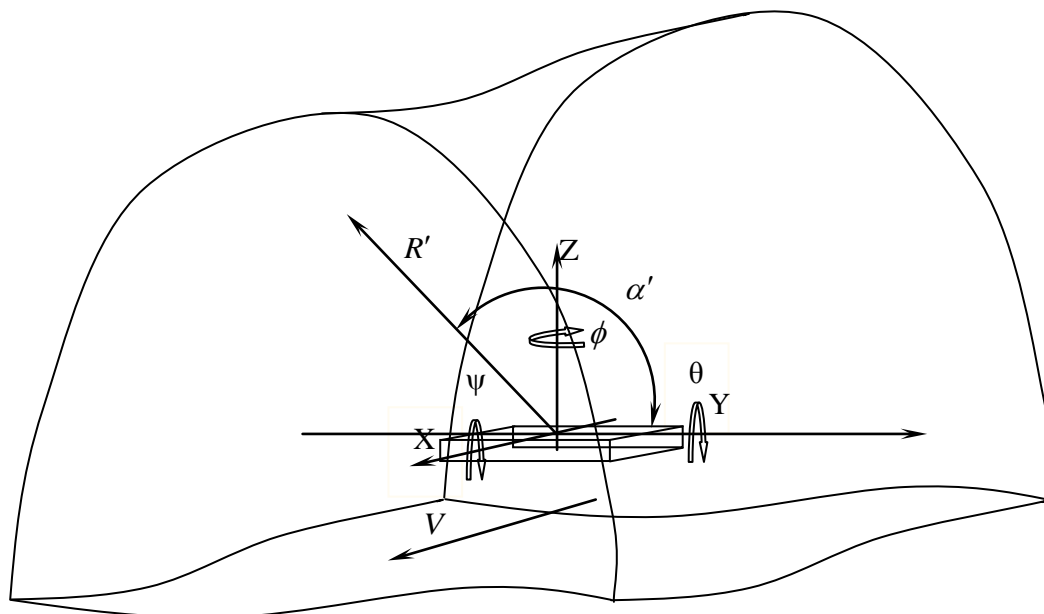


Рис. 1 Схема движения и сбора данных геомехатронного комплекса

Особую сложность при определении положения мехатронных систем вызывает определения положения центра системы отсчета ( $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ ) по показателям акселерометра путем двойного интегрирования полученных значений ускорений по времени. В результате шумов и искажений данных связанных с вибрацией, изменением положения и тарирования датчика, полученные данные имеют значительную погрешность измерений (до 20 м). Поэтому для определения положения  $O'(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$  предложено использовать данные гироскопа и длины пути (траектории)  $L$  (рис. 2)

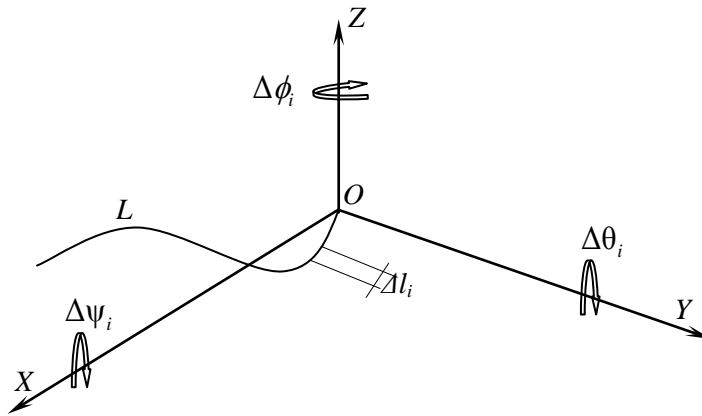


Рис. 2 Схема определения положения системы отсчета

Координаты центра системы отсчета ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ ) с определенной точностью возможно представить, как сумму проекции элементарных перемещений  $\Delta l$  на оси  $OX$ ,  $OY$ ,  $OZ$ :

$$\begin{cases} \Delta x = \sum_{i=1}^n \Delta l \cos \Delta \theta_i \cos \Delta \phi_i, \\ \Delta y = \sum_{i=1}^n \Delta l \cos \Delta \phi_i \cos \Delta \psi_i, \\ \Delta z = \sum_{i=1}^n \Delta l \cos \Delta \theta_i \cos \Delta \psi_i, \end{cases}$$

$n$  – количество шагов.

Данные для построения профиля подземной выработки представляют собой массив данных содержащий данные о расстоянии от внутреннего контура выработки до оси поворота датчика и угол поворота датчика, наклон датчика относительно начального положения и путь, который прошел комплекс. Полученные данные накапливаются в памяти устройства и проходят дальнейший анализ путем пересчета расстояния от датчика к периферии выработки с коррекцией его положение и моделированием пространственной модели выработки.

Алгоритм работы прогарамы представляет собой циклическую структуру в который последовательно выполняются регистрация данных с различных датчиков, преобразования данных и запись данных на карту памяти. Каждый цикл программы происходит при прохождении геомехатронного комплекса расстояния  $\Delta l$  после чего снимаются данные о наклоне комплекса относительно исходного положения  $\delta \phi$ ,  $\Delta \psi$ ,  $\Delta \theta$  и расстояния от точки контура выработки до оси датчика расстояния  $R'$  при определенном положении датчика расстояния  $\alpha'$ . Количество точек одного сечения зависит от конструкции привода поворота датчика. При использовании шагового двигателя количество точек определяется угловым перемещением  $\Delta \alpha$ , которое составляет  $1,8^\circ$  на один шаг. Таким образом общее количество точек на без использования редуктора может быть в пределах 200 значений, что вполне достаточно для диагностирования состояния выработки.

На рис. 3 изображено построенное сечение скважины диаметром 180 мм с помощью разработанного мехатронного комплекса. Пунктиром обозначены данные, полученные при повороте оси датчика  $\Delta \theta$  на  $30^\circ$ , сплошной линией преобразованные значения. Возможно отметить довольно высокую (95 %) точность полученных результатов.

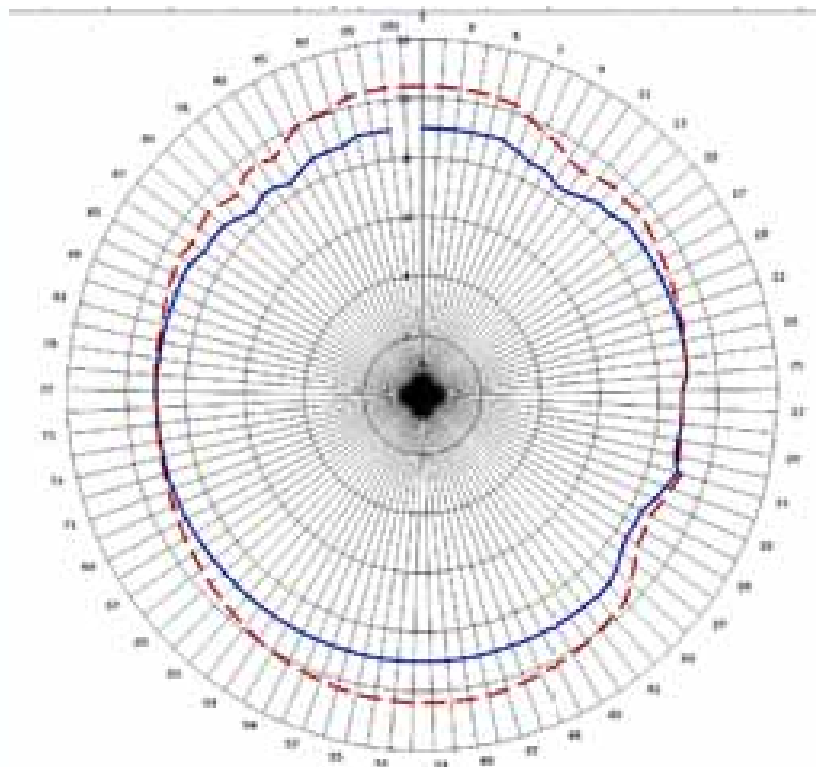


Рис. 3 Первичные  $[\alpha', R']$  и преобразованные  $[\alpha, R]$  данные контура выработки

Разработанный алгоритм работы геомехатронного комплекса для мониторинга внутренней поверхности подземной выработки позволит исследовать с достаточно высокой точностью труднодоступные для человека горные выработки.

#### Литература

1. Кошкарев А.В. Геоинформатика. Толкование основных терминов / А.В. Кошкарев, В. Н. Бурков // М.: ГИС-Ассоциация, 1998. – 213 с.
2. Мехатроника: Пер с япон. / Исии Х., Иноуэ Х., Симояма И. и др. — М.: Мир, 1988. - 318 с.
3. D. Ferguson, A. Morris, D. Hahnel, C. Baker, Z. Omohundro, C. Reverte, S. Thayer, W. Whittaker, W. Whittaker, W. Burgard, and S. Thrun. An autonomous robotic system for mapping abandoned mines. In S. Thrun, L. Saul, and B. Schölkopf, editors, Proceedings of Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS). MIT Press, 2003.
4. R. Siegwart, I. Nourbakhsh, Introduction to Autonomous Mobile Robots, MIT Press, April 2004.

**А.С. КОЛОМОЕЦ, А.С. БАЛАГУРОВ**

*Донецкий национальный технический университет, г.Донецк*

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРАТЕГИЙ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

В настоящее время рынок программного обеспечения богат различными программами, позволяющими на основе пространственной модели горнотехнической системы автоматизировать процесс планирования вариантов развития горных работ. Наиболее известными программами, хорошо зарекомендовавшими себя при планировании горных работ, являются GemcomMinex, MineSched, MineFrame и др. Однако данные программы получили широкое распространение на сложноструктурных рудных месторождениях, в условиях угольных шахт Донбасса по ряду причин эти программы не внедряются.

Как правило, на угольных предприятиях Донбасса графическая документация представляется в плоской проекции с использованием САД-систем. Процесс принятия многих пространственных решений в таком случае затруднен. Особенно это проявляется при разработке сближенных пластов, при сложной сети вскрывающих и подготавливающих выработок. Проблема усугубляется при разработке документов, требующих представления взаимного расположения горных выработок и забоев во времени и пространстве. Невозможность оперативного представления вариантов развития горных работ осложняет перебор всех возможных вариантов и выбор наиболее эффективных из них.

В этой связи актуальным для угольной промышленности Донбасса является разработка подходов к пространственному моделированию стратегий развития горных работ.

Построение компьютерной модели угольной шахты проведено с использованием программного комплекса «Шахта-3D», разработанного с участием сотрудников ДонНТУ.

Геологическая модель угольных пластов создается на основе данных разведки. При этом могут использоваться как данные геологических отчетов, так и данные, представленные на планах горных выработок. В модели в виде поверхностей могут отражаться данные о геологических нарушениях.

Для упрощенной визуализации угольной шахты предусмотрена возможность моделирования поверхности и пластов на основе изогипс пластов. Посредством триангуляции сети точек формируется каркасная модель поверхностей. Предусмотрена визуализация запасов с использованием различной цветовой гаммы с целью улучшения восприятия модели.

Существующая сеть горных выработок строится в соответствии с планом горных выработок. Производится оцифровка бортов выработки по почве, а затем в программе по заданному сечению и форме выработки формируются объемные объекты.

Совокупность графических задач при построении модели угольной шахты а также способы их решения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Совокупность графических задач при построении модели угольной шахты

№ задачи	Название задачи	Способы решения	Программный инструментарий
1	Построение дневной поверхности	Векторизация топографической поверхности либо оцифровка точек, соответствующих устьям скважин	Триангуляция поверхности
2	Построение поверхности пласта по данным изогипс	Векторизация изогипс пласта	Триангуляция поверхности
3	Построение каркасной модели пласта по данным скважин	Векторизация разрезов либо ввод инклинометрии скважин и данных опробования	Триангуляция тела по разрезам либо построение каркаса по поверхностям кровли и почвы пласта
4	Построение существующих горных выработок	Векторизация бортов выработки	Интерполяция данных маркшейдерских точек с целью вычисления координаты Z узлов выработки. Автоматическое построение сечений и триангуляция каркаса выработки по заданным бортам.
5	Построение проектных горных выработок	Выбор параметров сечения, определение трассы выработки	Указание параметров сечения выработки, указание трассы
6	Построение разрезов	Выбор секущей плоскости, построение разреза	Задание параметров секущей плоскости, визуализация разреза, экспорт разреза в формате dxf-файлов

В программном комплексе представлен специальный инструментарий для построения проектных выработок. Для пластовых и полевых проектных выработок процедура построения различна. В первую очередь это связано с тем, что траектория пластовых выработок должна соответствовать поверхности пласта и при сложной гипсометрии трасса выработки может иметь сложную форму. Для таких ситуаций реализован режим привязки выработки к поверхности. Для построения выработки требуется задать вектор направления, длину выработки и её сечение. Полевые выработки, как правило, невозможно однозначно привязать к существующим поверхностям, вследствие этого их привязка осуществляется к предварительно задаваемой плоскости.

С целью анализа возможных стратегий развития горных работ создана компьютерная модель развития горных работ на шахте «Комсомолец Донбасса» (рис. 1).

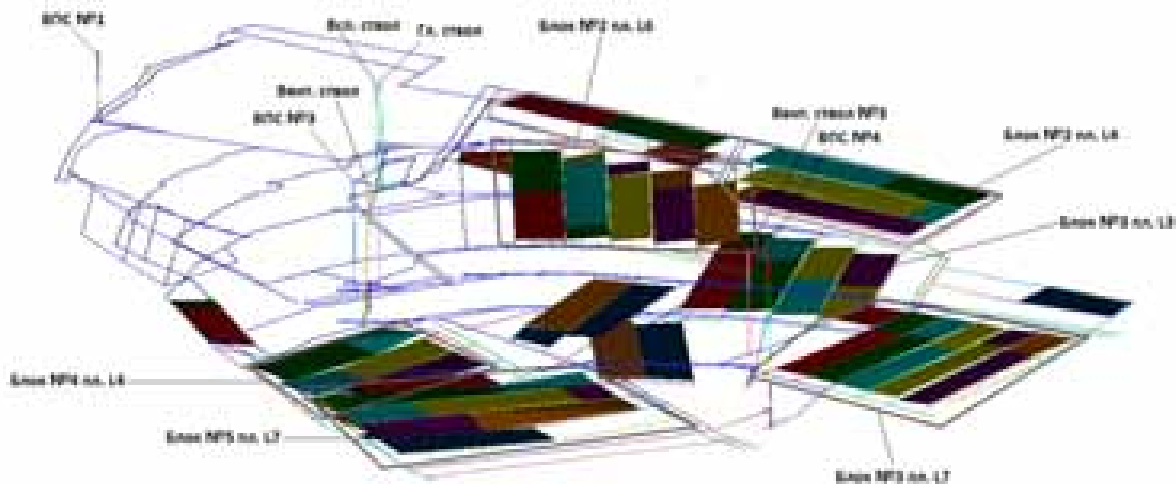


Рис. 1. Компьютерная модель развития горных работ на шахте

На шахте добыча угля ведется в 7-ми добычных забоях на 4-х пластах. Для своевременной подготовки запасов в одновременной работе могут находиться до 20-ти подготовительных забоев. В таких условиях принятие решений относительно возможного развития горных работ затруднено. Отсутствие инструментария для оперативного анализа возможных ситуаций может привести к принятию неадекватных решений.

С использованием модели проанализированы три возможные стратегии развития горных работ.

Вариант №1 – увеличение производственной мощности шахты до 5,3 млн. т угля в год. Для достижения требуемого уровня добычи в работе должно находиться семи очистных забоев. Предусматривается прирезка запасов прилегающих ликвидируемой шахты и строительства нового воздухоподающего ствола, для снижения нагрузки по газу. Также проект характеризуется значительными капитальными затратами на возобновление прежней мощности шахты и её увеличения, а также увеличение продолжительности работы предприятия.

Целью проекта является проведение технических мероприятий, обеспечивающих в течение 7 лет устойчивую работу шахты с годовой добычей на уровне 5,3 миллиона тонн горной массы в год (4,6 млн. т – из очистных забоев, 0,7 млн. т – из подготовительных забоев).

Вариант №2 – восстановление ранее достигнутого уровня добычи. Целью проекта является стабилизация работы шахты и достижение прежнего уровня добычи. Для достижения требуемого уровня добычи в работе должно находиться пять очистных забоев.

Вариант №3 – Поддержание текущего уровня добычи. Целью проекта является поддержание работы шахты в сложившейся экономической ситуации при которой привлечение большого объема инвестиций является невозможным. Для поддержания работы предприятия планируется иметь в работе три очистных забоя (работы по пласту L3 будут приостановлены).

Проектные показатели возможных вариантов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Проектные показатели вариантов развития горных работ

№	Показатель	Единицы измерения	Вариант №1	Вариант №2	Вариант №3
1	Проектная мощность шахты	млн. т	5,3	3,9	2,5
2	Продолжительность освоения проектной мощности	год	7	3	-
3	Продолжительность эксплуатации шахты	год	45	35	45
4	Размеры шахтного поля	км <sup>2</sup>	62	54	54
5	Запасы угля	млн. т	183,972	137,565	137,565
6	Максимальная глубина разработки	м	-900	-700	-700
7	Протяженность проектируемых горных выработок	м	97091,5	64475	31980

Рассмотренные подходы к построению модели угольной шахты позволяют отразить развитие горнодобывающего объекта в пространстве и во времени, оперативно рассчитать показатели вариантов и выбрать наиболее эффективный вариант.

**И.И. ПАНОВ**

*молодой специалист международной Компании ОАО «Ямал СПГ»*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММ СИМУЛЯЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСОВ ПРОИЗВОДСТВА СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА**

Произведен текущий и перспективный обзор мирового рынка производства и потребления сжиженного природного газа (СПГ), рассмотрена проблема отсутствия в России собственной технологии сжижения природного газа и доказана необходимость применения современных программ моделирования технологических процессов для научно-практических исследований в сфере сжижения природных газов.

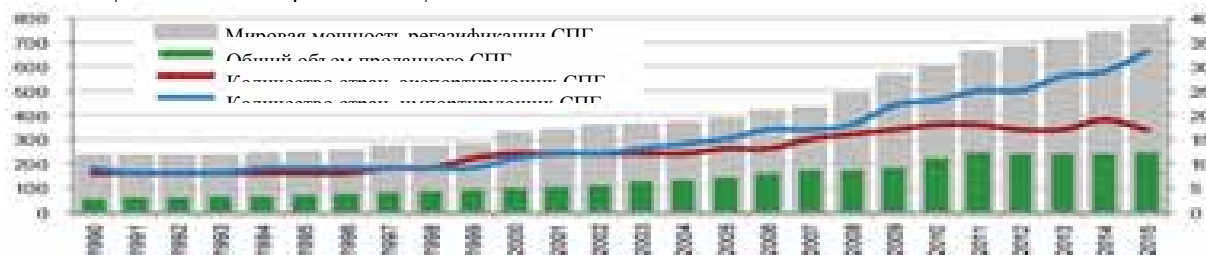
**Ключевые слова:** сжиженный природный газ (СПГ), завод по производству СПГ, моделирование, симуляция технологического процесса, HYSYS, миллион тонн (МТ)

Сжиженный природный газ – это очищенный природный газ, охлажденный до  $-162^{\circ}\text{C}$  и транспортируемый в сжиженном виде под избыточным давлением в 5 КПа. Основное преимущество СПГ состоит в том, что при сжижении газ занимает в 600 раз меньший объем нежели чем в газообразном состоянии. Обычно СПГ перевозят в специальных танкерах -метановозах, путём водного сообщения на расстояния в несколько тысяч километров.

Гибкость транспортировки СПГ позволяет избежать традиционных проблем, с которыми сталкивается транспорт газас использованием трубопроводов. Также преимущество СПГ по сравнению с классическим транспортом газа трубопроводом заключается в том, что можно в кратчайшие сроки менять рынки сбыта, заключая как краткосрочные контракты длиной менее двух лет, так и производя продажу СПГ на спотовом рынке. Данный аспект особенно актуален ввиду проводимых санкций в отношении Российской Федерации.

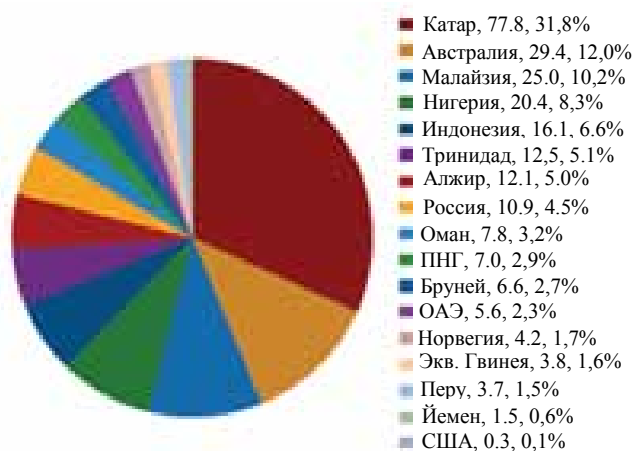
Несмотря на кризисные 2014-2015 годы, в 2015 общемировой объем проданного СПГ составил 224,8 миллиона тонн (МТ), что на 4,7 МТ больше чем в конце 2014 года. Таким образом, на 3,3 МТ был превышен абсолютный максимум проданного объема СПГ в период аварии на АЭС Фукусима-1 в 2011 году.

Рисунок 1 – Объем рынка СПГ, 1990-2015



На сегодняшний день на рынке СПГ находится 17 стран, экспортирующих СПГ, в их число входит и Российская Федерация, занимая 8 место с мощностью производства 10,9 миллион тонн в год СПГ. Однако, безоговорочным лидером на рынке СПГ является Катар с мощностью производства 77,8 миллион тонн в год СПГ.

Рисунок 2 –Экспорт СПГ и доли рынка по странам (миллион тонн в год)



В глобальном масштабе, производство газа внутри самих стран и торговля газа по трубопроводам по-прежнему занимает большую долю рынка газопотребления, 70,6% и 19,6% соответственно. Однако, производство СПГ получило быстрый прирост в конце 1990х и 2000х годов. Таким образом, в 2014 году потребление СПГ составило 9,8% от мирового потребления газа. Важно отметить, что и по сей день, СПГ сохраняет самые высокие темпы роста из трёх источников потребления газа, составляя в среднем 6,6% в год начиная с 2000 года. Однако этот показатель снизился до 2,2% в год в период с 2010 до 2014 года.

На январь 2016 года, мощность строящихся заводов СПГ составила 141,5 млн. тонн в год СПГ. Основная доля данной мощности приходится на США (62,0 млн. тонн в год) и Австралию (53,8 млн. тонн в год). Также проекты в стадии строительства находятся в России (16,5 млн. тонн в год), Малайзии (6,3 млн. тонн в год), Индонезии (0,5 млн. тонн в год) и Камеруне (2,4 млн. тонн в год). Таким образом, ожидаемый прирост в мировой мощности производства СПГ к 2021 году составит +46%.

Говоря о СПГ проектах Российской Федерации стоит упомянуть Компанию Ямал СПГ. Оператором Проекта является ОАО «Ямал СПГ» - совместное предприятие ОАО «НОВАТЭК» (50,1%), концерна TOTAL (20%), Китайской Национальной Нефтегазовой Корпорации (20%) и Фонда Шелкового пути (9,9%). Данный проект находится в стадии строительства с 2013 года. Первая очередь завода будет введена в эксплуатацию в конце 2017, вторая очередь в 2018 и третья очередь в 2019 году. Таким образом, до 2021 года мощность СПГ проектов Российской Федерации увеличится как минимум на 151%, достигнув 27,4 млн. тонн в год. [1]

Также в России на стадии проектирования находятся следующие объекты ПАО«Газпром»: третья очередь проекта - Сахалин-2, мощность которой составит 5 млн тонн в год. Завод СПГ в районе КС Портовая, мощностью 1,5 млн. тонн в год. «Балтийский СПГ» мощностью 10 млн. тонн в год. «Владивосток СПГ» мощностью 15 млн. тонн в год. Таким образом, потенциальный прирост мощности производства СПГ в России может составить +395% достигнув 53,9 млн. тонн в год к 2021 году.

Однако, основная проблема в проектировании и строительстве заводов СПГ заключается в том, что Россия не располагает собственной технологией сжижения природного газа. Что делает проекты крайне дорогостоящими. По примерным оценкам, объём капитальных вложений на 1 млн. тонн в год СПГ составляет 1,5 млрд. долларов. А также, не маловажен и тот факт, что Российским Компаниям приходится делить пакет акций с иностранными Компаниями владеющими технологиями сжижения. Например, с такими Компаниями как: Shell, TOTAL, LindeGroup, ExxonMobil. Данное обстоятельство делает Отечественные проекты уязвимыми к санкционному режиму со стороны зарубежных партнеров.

Таким образом, российским нефтегазовым компаниям необходимо предпринимать активные действия для создания собственной технологии сжижения природного газа. Однако, на сегодняшний день Россия не располагает технологиями производства главного криогенного теплообменника сжижения природного газа. Данный аспект делает невозможным разработку лабораторных и опытно- промышленных установок СПГ.

Одним из решений данной проблемы может стать разработка хозяйственных моделей заводов СПГ, находящихся на территории Российской Федерации. Данные модели возможно рассчитать в среде программ симуляции технологических процессов AspenHYSYS, ProII или PetroSim. Хозяйственные модели, созданные на основе действующих заводов СПГ, отличаются крайне высокой точностью. Погрешность данных моделей колеблется в пределах 3-5%. Данная точность расчётных моделей позволяет проводить исследовательские работы с достаточной точностью.



В ходе исследования была выполнена исследовательская модель, с погрешностью до 10%, завода сжижения природного газа Компании ОАО «Ямал СПГ» находящегося на стадии пуско-наладочных работ. Данная модель была выполнена в среде HYSYS и включает в себя не только цех подготовки и сжижения газа, но также вспомогательные сооружения.

Благодаря данной расчётной модели, выполненной в статическом режиме, была выполнена попытка оптимизации блока установки стабилизации нестабильного конденсата и установки компримирования газов стабилизации. Технологическое решение заключалось в направлении компримированных газов стабилизации через установленные теплообменники боковых отборов колонны стабилизации, с дальнейшим доохлаждением компримированных газов стабилизации в аппаратах воздушного охлаждения. Нагретые же боковые потоки направлялись обратно в колонну стабилизации. Таким образом удалось распределить тепловую нагрузку в колонне стабилизации более равномерно и снизить потребление тепловой энергии с 8,96 Гкал/час до 7,02 Гкал/час на исследуемом блоке. Данные результаты подтвердили способность технологической модели, выполненной в среде HYSYS, разрабатывать новые технологические решения для завода СПГ. Что в свою очередь подтверждает предположение и о создании собственной технологии сжижения природного газа. [2,3,4]

Однако, стоит помнить, что добиться результатов в разработке новых технологических решений возможно только в тесной кооперации нефтегазовых компаний с ведущими инженерными вузами Российской Федерации. Примером такого сотрудничества может быть совместная работа ПАО «Газпром» и ПАО «НОВАТЭК» с Санкт-Петербургским горным университетом.

#### Литература

1. Internationalgasunion. 2016 WorldLNGReport, LNG 18 Conference&Exhibitionedition, 2016. – 92 с.:ил.
2. Гохштейн Д.П. Современные методы термодинамического анализа энергетических установок. - М.: Изд-во «Энергия», 1969. - 368 с.: ил.
3. Лейтес И.Л. Второй закон и его 12 заповедей. Популярная термодинамика и химическая энерготехнология. – М.: Изд-во МГУ, 2002.-176 с.: ил.
4. Учебник HYSYS. Модульные операции, «ЗАО» Технефтехим, 2004 – 738 с.: ил.

**А. ШТЫКА, П. МЕРЧИНСКИ, Т. МАНЕЦКИ**

*Лодзинский технический университет, Институт Общей и Экологической Химии, Лодзь, Польша*

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ НОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ КАТАЛИЗАТОРОВ

### Введение

В настоящее время углеродные нанотрубки (УНТ) играют все более важную роль в катализе. Металлические катализаторы, нанесенные на УНТ, успешно используются для разнообразных жидко- (гидрирование, гидроформилирование) или газофазных (процесс Фишера-Тропша, разложения аммиака) реакций, а также в электро- (электроды топливных элементов) и фотокатализе [1].

В большинстве случаев катализаторы, нанесенные на УНТ, проявляют лучшую активность по сравнению с катализаторами на основе традиционных носителей.

Как и другие углеродные материалы, УНТ являются гидрофобными и инертными по своей природе, что затрудняет приготовление нанесенных катализаторов. Даже при нанесении небольших количеств активной фазы, часто возникают проблемы с недостатком осаждения и агрегаций металлических частиц, что приводит к их нежелательно большому размеру.

Для равномерного нанесения активной фазы на УНТ, они предварительно обрабатываются растворами окислителей ( $H_2O_2$ ,  $KMnO_4$ ) и кислотами ( $HNO_3$ ,  $H_2SO_4$ ). Такая обработка приводит к образованию на поверхности нанотрубок кислородсодержащих групп, которые могут выступать центрами зародышеобразования для роста наночастиц металла. Функциональные группы могут также быть сформированы путем введения соответствующего количества водяного пара на этапе синтеза углеродных нанотрубок. Помимо этого водяной пар может также очищать УНТ и улучшать их рост за счет травления аморфного углерода с поверхности катализатора во время синтеза.

Целью данной работы является исследование синтеза углеродных нанотрубок с применением водяного пара, в частности, как параметры синтеза влияют на свойства углеродных нанотрубок (УНТ), и, соответственно, на активность нанесенных на УНТ катализаторов.

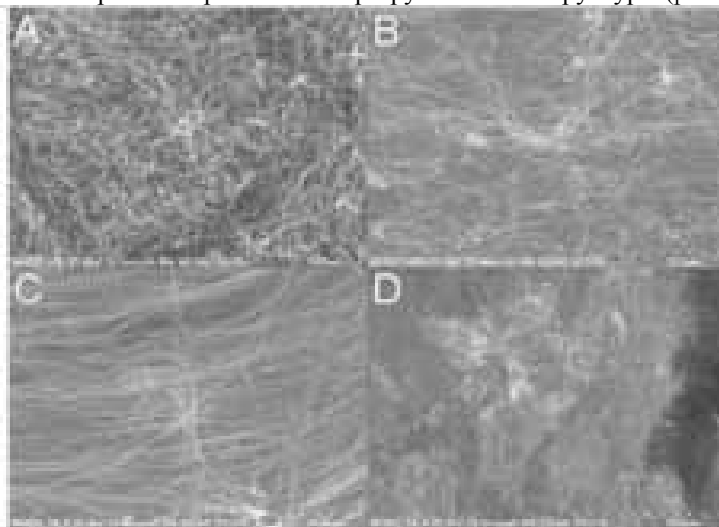
### Методы исследования

Углеродные нанотрубки были синтезированы методом химического парового осаждения с участием аэрозоля (AACVD). Синтез УНТ основан на распылении раствора прекурсора катализатора в «источ-

нике углерода» (ферроцен в толуоле), на последующем испарении и разлеожении образованного аэрозоля в реакционной зоне. Синтез проводили при 850 °С в течение 40 мин. с использованием N<sub>2</sub> как газа-носителя. Одновременно водяной пар подавался в реактор путем пропускания инертного газа (10-70 см<sup>3</sup>/min) через барботер, заполненный водой. Нанесенные медные катализаторы были получены методом мокрой пропитки. Нанотрубки были пропитаны соответствующим количеством водного раствора Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и оставлены в покое на 12 часов. Далее полученные образцы сушили при 120 °С в течение 2 ч., а затем прокаливали на воздухе при 350 °С в течение 4 ч. Физико-химические свойства катализаторов и носителей были исследованы с помощью ТПВ (температурно-программированное восстановление), ТПД-NH<sub>3</sub> (температурно-программированная десорбция), ТГ (термогравиметрия), БЭТ (метод Брюнера-Эммета-Теллера), Н<sub>2</sub> хемосорбции и РСА (рентгеноструктурный анализ) и Фурье-ИКС (инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье). Каталитические свойства катализаторов были изучены в реакции окислительно-парового риформинга метанола (H<sub>2</sub>O/CH<sub>3</sub>OH/O<sub>2</sub>= 1/1/0.4) с использованием проточного кварцевого реактора при атмосферном давлении и при температуре в интервале 200 - 300 °С.

### Результаты и обсуждение

Рост нанотрубок наблюдался во всех случаях, в независимости от скорости потока мокрого газа-носителя. Все зарегистрированные дифракционные кривые полученных образцов имели полосы, расположены вблизи (002) (100) (110) и (112) отражений графита. Тем не менее, полученные результаты показали, что свойства УНТ (чистота, структура и поверхностная кислотность) зависит от количества введенного водного пара. Так, введение незначительных количеств водяного пара во время синтеза оказывает положительное влияние на чистоту УНТ (рис. 1). Нанотрубки, полученные таким образом, имели наименьшее количество других аллотропных модификаций углерода. Однако использование более высокой концентрации водяного пара привело к ингибированию роста УНТ и разрушению их структуры (рис 1.D)



**Рис. 1.** СЭМ изображения углеродных нанотрубок, полученных без (А) и с использованием мокрого газа-носителя при различных скоростях потока: 10 см<sup>3</sup>/min (В), 50 см<sup>3</sup>/min (С) и 70 см<sup>3</sup>/min (D).

ИК спектры подтвердили наличие функциональных групп на поверхности УНТ вне зависимости от того, была ли использована водяная пара. На спектрах полученных нанотрубок наблюдались полосы, которые относятся к поглощению следующих молекулярных групп: CH<sub>3</sub> (2960 см<sup>-1</sup>), CH<sub>2</sub> (2920 и 2850 см<sup>-1</sup>), C-O (1050 и 1750 см<sup>-1</sup>). Также наблюдалась полоса при 1540 см<sup>-1</sup>, которая может быть связана как с карбоксильными, так и с карбонильными группами. Тем не менее, в соответствии с результатами ТГА и ТПД-NH<sub>3</sub>, концентрация этих групп была значительно выше на поверхности функционализированных углеродных нанотрубок, чем на поверхности обычных образцов. Так, кривые ДТГ показали, что термическая стабильность нанотрубок, полученных с использованием водяной пары, значительно меньше (420 °С) в сравнении с нефункционализированными образцами (490 °С). Это указывает на наличие большого количества кислородсодержащих групп, которые являются более реакционными по отношению к кислороду. Функционализированные нанотрубки также характеризовались значительно высшим уровнем поглощения NH<sub>3</sub> (общее количество адсорбированного аммиака 36,90 ммоль/г), тогда как «чистые» образцы практически не адсорбировали молекулы аммиака (3,20 ммоль/г), что также подтверждает интенсивное образование функциональных групп во время синтеза с применением водяной пары. Согласно полученным результатам тестов активности, катализатор 20%Cu/УНТ-H<sub>2</sub>O показал более высокую конверсию метанола (7,7% при 200 °С и 61,4% при 300 °С) чем 20%Cu /УНТ (7.0 и 48.6 при 200 и 300 °С, соответственно). Улучшенная активность катализатора 20%Cu/УНТ-H<sub>2</sub>O может быть результатом более равномерного распределения активной фазы, что достигается благодаря большому количеству мест зародышеобразования на поверхности УНТ-H<sub>2</sub>O.

### Выводы

Полученные результаты указывают, что применение мокрого газа-носителя во время синтеза может быть предпочтительней для получения подходящих носителей для катализаторов.

## Литература

1. Y. Yan, J. Miao, Z. Yang, F.-X. Xiao, H. B. Yang, B. Liu, Y. Yang. Chem. Soc. Rev., 2015, 44, 3295-3346

С.С. ЩЕРБАКОВ, М.М. ПОЛЕЩУК  
Белорусский государственный университет, Минск

# ПРИМЕНЕНИЕ СИЛ ЛОРЕНЦА И ВАН-ДЕР-ВААЛЬСА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ НАНООБЪЕКТАМИ С УЧЕТОМ СОПРОТИВЛЕНИЯ СРЕДЫ

**Введение** В области нанотехнологий одной из наиболее значимых проблем является манипулирование объектами наноразмеров с целью реализации их макроперемещений. На данный момент существует несколько способов управления нанобъектами, например, с помощью атомно-силовых и сканирующих туннельных микроскопов. Однако данные способы не позволяют перемещать нанобъекты на расстояния порядка сантиметров или метров из-за малой рабочей области. Также одним из способов перемещения могло бы быть использование сложного наномеханического устройства, работающего по принципу "рука робота", но более перспективной представляется возможность использовать электромагнитный способ перемещения нанометровых объектов, основанный на электромагнитной левитации токопроводящего объекта или посредника [1-3]. Конечно, реализация данного метода должна учитывать сопротивление среды.

**Постановка задачи.** Управление движением нанобъектов основано на электромагнитно-силовом методе воздействия силами Лоренца на токопроводящий или заряженный микро- или макропосредник, к которому осуществляется крепление нанобъектов с помощью сил Ван-дер-Ваальса [1-3].

В настоящей работе ставится задача определения закона изменения напряженности электромагнитного поля, обеспечивающего перемещение посредника по заданной нелинейной траектории с учетом сопротивления среды. Как известно, заряженное тело (частица) может быть приведено в движение с помощью сил Лоренца. Тогда второй закон Ньютона для заряженной частицы выглядит следующим образом:

$$m\ddot{\vec{r}} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}), \quad (1)$$

где  $m$  – масса посредника,  $q$  – электрический заряд,  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  – векторы электрического и магнитного полей,  $\vec{v}$  – вектор скорости посредника,  $\vec{g}$  – ускорение свободного падения.

В свою очередь, взаимодействие (притяжение) нанобъекта к посреднику осуществляется за счет сил Ван-дер-Ваальса, которые при взаимодействии двух сферических тел с радиусами  $R_1$  и  $R_2$ , если расстояние между ними  $r \ll R_1$  или  $R_2$ , имеет вид

$$F^{(vw)}(r) = \frac{AR_1R_2}{(R_1 + R_2)^6 r}, \quad (2)$$

где  $A$  – постоянная Хамакера.

На основе (1) и (2) может быть сформулирован метод управления объектами наноразмеров посредством токопроводящих посредников [1,2].

Во время движения заряженный металлический посредник «захватывает» объект и переносит его в другую область пространства. Отделение объекта от посредника производится «стряхиванием» при торможении посредника, т.е. когда

$$m\ddot{\vec{r}} = F^{(vw)}(r); \quad (3)$$

В силу малых массы и размеров второго тела, основное значение имеет движение крупного заряженного посредника под действие электрического поля:

Траектория движения частиц задаётся либо координатным, либо аналитическим способом. Следует принять во внимание, что движение осуществляется за счёт шести неизвестных компонент электромагнитного поля  $\{E^x, E^y, E^z, B^x, B^y, B^z\}$ , а уравнений в системе три, поэтому для замыкания системы предположим, что движение будет осуществляться за счёт лишь трёх компонент поля  $\{E^y, E^z, B^z\}$ . Сделать это возможно уже потому, что данных трёх компонент хватает, чтобы осуществлять движение тела по трём различным координатам. Также примем во внимание сопротивление среды, в которой происходит движение. Тогда система (4) примет в вид

$$\left\{ \begin{array}{l} m \frac{\frac{x_i - x_{i-1}}{dt} - \frac{x_{i-1} - x_{i-2}}{dt}}{dt} = q \frac{y_i - y_{i-1}}{dt} \mu_{cp} B_z; \\ m \frac{\frac{y_i - y_{i-1}}{dt} - \frac{y_{i-1} - y_{i-2}}{dt}}{dt} = q \left( \frac{x_i - x_{i-1}}{dt} \mu_{cp} B_z + \varepsilon_{cp} E_y \right); \\ m \frac{\frac{z_i - z_{i-1}}{dt} - \frac{z_{i-1} - z_{i-2}}{dt}}{dt} = q \varepsilon_{cp} E_z - mg. \end{array} \right. \quad (4)$$

где  $\mu_{cp}$  и  $\varepsilon_{cp}$  – магнитное сопротивление и электрическая проницаемость среды.

Константы, которые были использованы в вычислениях —  
 $q = 1 \text{ Кл}, m = 1 \times 10^{-6} \text{ кг}, dt = 0.01 \text{ с}, R_1 = 10^{-9} \text{ м}, R_2 = 10^{-10} \text{ м}, r = 10^{-11} \text{ м}, \mu_{cp} = 0,9991, \varepsilon_{cp} = 0,012345.$

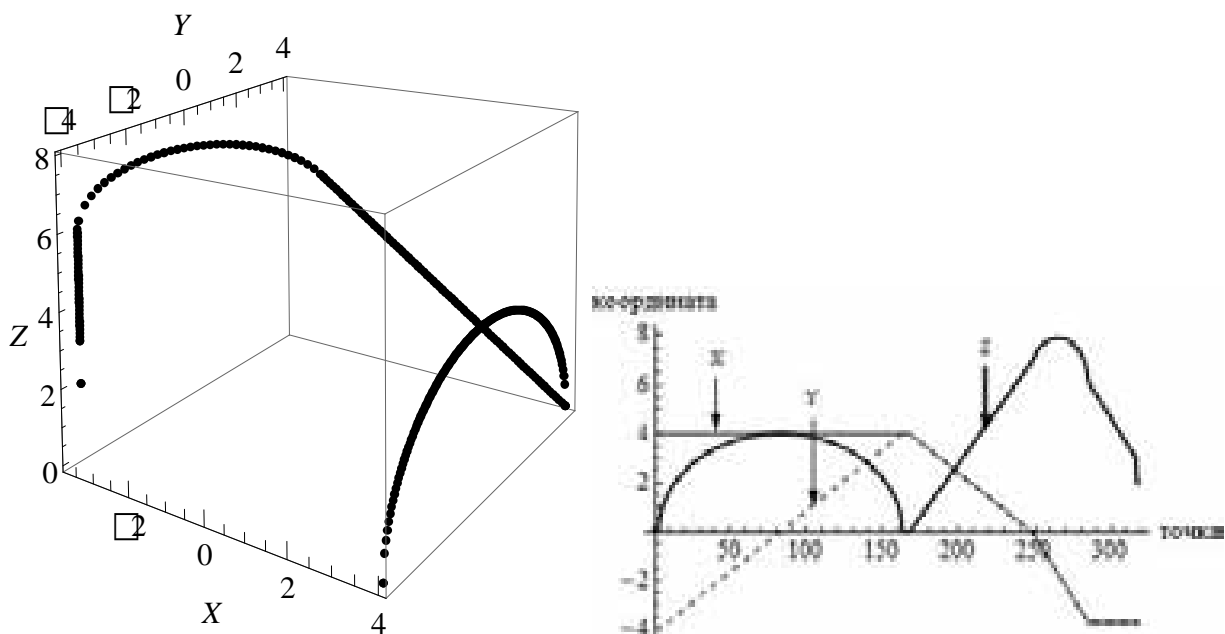
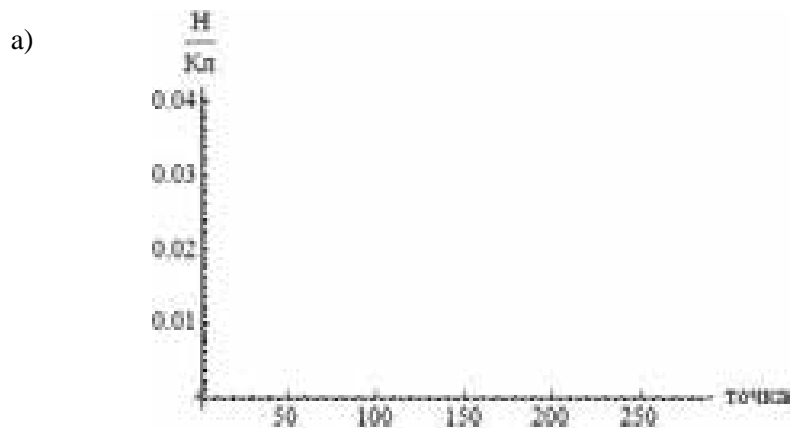


Рисунок 1 – Траектория движения тела



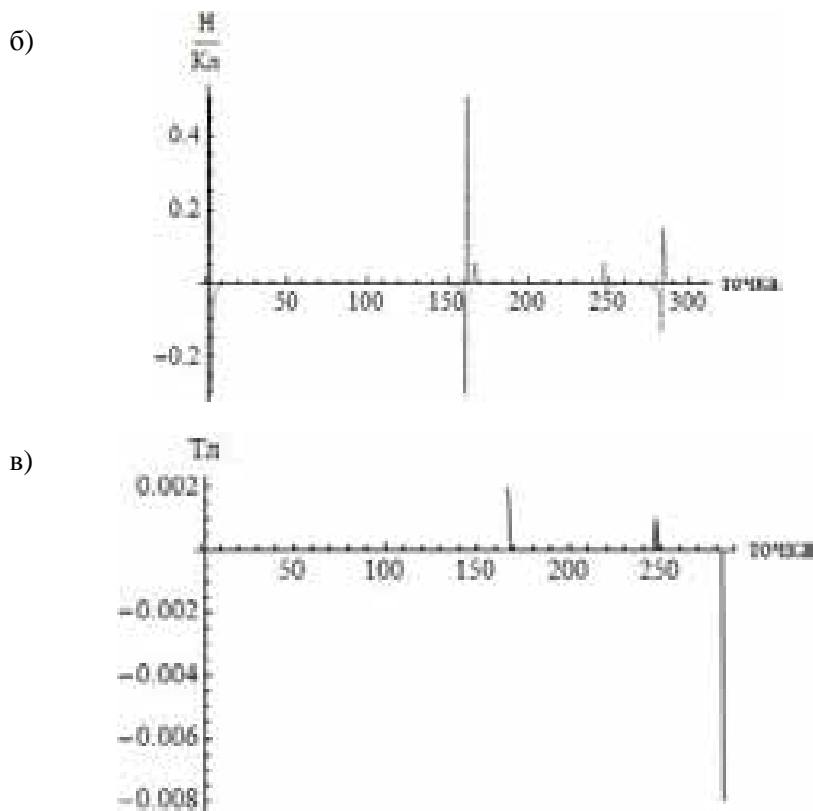


Рисунок 2 – Графики изменения полей  $E_y$ (а),  $E_z$ (б),  $B_z$ (в)

Рассмотрен метод управления наночастицами с помощью электромагнитных полей посредством сил Лоренца и Ван-Дер-Ваальса. Данный способ не предполагает механического воздействия на частицу, а лишь требует задания полей с параметрами необходимыми для движения частицы по требуемой траектории. Решена обратная модельная задача об определении напряжённости электрического поля и магнитной индукции в каждый момент времени для реализации движения наночастицы по криволинейной траектории

#### Литература

1. Щербаков, С.С. О некоторых методах управления движением и деформированием нанообъектов / С.С. Щербаков, Л.А. Сосновский // «Наноструктурные материалы – 2014: Беларусь-Россия-Украина (НАНО-2014)»: Материалы IV-й Международной научной конференции, Минск, 7-10 октября 2014 г. / редкол.: П.А. Витязь [и др.]. –Минск: Беларуская навука, 2014. – С.328.
2. Щербаков, С.С. Электромагнитно-силовой метод управления нанообъектами / С.С. Щербаков, Л.А. Сосновский // Теоретическая и прикладная механика: Межведомственный сборник научно-методических статей. –Вып.30. –Минск: БНТУ, –2015. –С.306-310.
3. Sherbakov, S.S. Manipulation of nanoobjects by electromagnetic and van der Waals forces / S.S. Sherbakov, L.A. Sosnovskiy // Proc. of 8-th International Symposium on Mechanics of Materials and Structures and Fracture and Fragmentation in Science and Engineering Conference, May 31 – June 3, Augustow, (Poland) / Ed.: A. Seweryn – Bialystok university of Technology. 2015. –P. 147-148.

# **МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ- КОНКУРСА СТУДЕНТОВ ВЫПУСКНОГО КУРСА**

**I.M. NAROZHNYI**  
*Russian Friendship University*

## **TOOL FOR THE IDENTIFICATION OF GAS OIL-WATER EXPLORATION**

*Annotation. The paper describes: a change in the level of the liquid column during repair work in wells with abnormally low reservoir pressure and at the time of the onset of the occurrence of the gas-oil-water exploration; Signs of the beginning of the gas-oil-water exploration; The principle of the tool, allowing to determine the level of the column of liquid in the well; Algorithm of operation of the tool detecting the beginning of the occurrence of gas-oil-water exploration; The ability to conduct technological operations when using the tool in the wellhead tying scheme; Make an example of the potential cost-effectiveness when using the tool.*

*Key words: signs of gas-oil-water show, wells with abnormally low reservoir pressure, well workover, a tool for monitoring the level of the liquid column.*

All current repair and overhaul associated with natural (geological) and technological risks and minimizing that require both substantive and formal reasons (requirements of normative acts).

The most dangerous emergencies in the oil and gas industry emissions are in various types of Fluid manifestations.

Analysis of acts of investigation of accidents at hazardous production facilities in current and capital repairs of wells allows noted that the specifics of the occurrence of oil and gas wells fluid manifestations with abnormally low formation pressure (leading), wells with hydrostatic and wells with anomalously high formation pressure (anomalously high formation pressure) differs significantly.

Wells meters layers, leading gas, oil and water inflow phenomenon rather rare. However, if you compare the number of gas, oil and water inflow who crossed in an outdoor fountain at current repair and overhaul works on such wells, it becomes clear that the members of the current repair and overhaul brigades, in most cases, do not expect the emergence of gas, oil and water inflow which later turns into an outdoor fountain, it is on such wells.

Identifying signs of beginning and sealing process gas, oil and water inflow wellhead can be attributed to human factors, which in turn increases the probability of transition gas, oil and water inflow in outdoor fountain.

According to internal documents of companies specializing in current repair and overhaul developed according to the requirements of an order from the Federal service for ecological, technological and Atomic supervision from March 12, 2013 N 101 on approval of federal rules and regulations in the field of industrial safety "safety rules in the oil and gas industry" we can distinguish eight basic signs indicating the beginning of the income formation fluid into the wellbore:

- fluid overflow from the well in the absence of circulation;
- increase the volume of fluid in tanks;
- the increase in the rate of flow of fluid from the well with the continued filing of pumping units;
- the decrease, compared to the estimated volume of fluid refill, lift tool;
- the increase in the volume of the displaced fluid from a well while tripping pipe, as compared to the design;
- reducing the level of fluid column in the well when the technological stops and simple.

Naturally, the emergence of gas, oil and water inflow can occur due to many factors, but it is necessary to distinguish the two most probable development scenario of events:

First: violation of technology topping out well or because geological complications occurs the absorption of liquids jamming i.e. less pressure fluid column, which in turn causes the reservoir pressure becomes more pressure on fluid column in the well and into the wellbore formation fluid flow begins.

Second: a geological reasons, there is an increase in reservoir pressure that eventually becomes more fluid column pressure of wellbore and reservoir fluid flow occurs into the well.

To prevent open all of the above options spouting development and signs of gas, oil and water inflow require direct control Downhole fluid level, which is difficult to implement when the level is at a considerable distance from the wellhead.

To solve the above problems, it is proposed to use ultrasonic gauge control module number and frequency measurements. This module will automatically shoot parametric data level of fluid column in the wellbore, pursue their recording and transmission to the Control Panel, if he will give gas, oil and water inflow light and sound signals.

The use of this device will help eliminate the risk of a public fountain, which in turn will prevent both financial losses and environmental damage. Also worth remembering that each accident is accompanied by workers' injuries of varying degrees of severity, including possible deaths. And of course, don't forget the absolute truth, which reads as follows: "Prevent easier than extinguish."

#### References

- 1 Doroshenko E V Pokrepin B V Pokrepin G V SPETSIALIST PO REMONTU NEFTYANYH I GAZOVYH SKVAZHIN 2009
- 2 Umetbaev V G Merzlyakov V F Volochkov N S Kapitalnyj remont skvazhin 2000
- 1 Gazizov A A i dr Intensifikatsiya dobychi nefi v oslozhnennyh usloviyah Kazan T Sentr innovatsionnyh tekhnologij 2008 T 303
- 1 Blazhevich V A Umetbaev V G Spravochnik мастера по капитальному ремонту скважин 1985
- 2 Prikaz Federalnoj sluzhby po ehkologicheskomu tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 12 marta 2013 g N 101 Ob utverzhdenii Federalnyh norm i pravil v oblasti promyshlennoj bezopasnosti Pravila bezopasnosti v neftyanoj i gazovoj promyshlennosti

**Р.Р. ГАЙСИНА**

*Альметьевский государственный нефтяной институт*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РОССИЙСКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ МЕХАНООБРАБОТКИ В СТАНКАХ С ЧПУ**

В данной работе проводится анализ САМ-систем: SprutCam и AdemCam. Основная цель - выбор оптимальной системы автоматизированного проектирования для разработки корпусных деталей нефтяного машиностроения.

Обеспечение высокого качества технологических процессов при минимальных затратах труда и времени на их подготовку и изготовление является главным условием рационального использования станков с ЧПУ.

Ответственным и решающим этапом в технологической подготовке производства является разработка управляющих программ. На станках с числовым программным управлением на программирование тратится почти третья часть от стоимости детали. При изготовлении сложных по конструкции деталей, где требуется ручная подготовка управляющей программы, показатель стоимости увеличивается.

Применение систем автоматизированной подготовки управляющих программ (САПР) – это актуальная и очень важная задача для любого типа производства. Модуль САМ – автоматизирует расчеты траекторий перемещения инструмента для обработки на станках с ЧПУ и обеспечивает выдачу управляющих программ с помощью компьютера. От выбора САМ-системы зависит не только качество изготавливаемой продукции, но и в целом производительность предприятия.

При обработке детали «Корпус» выявлены достоинства Sprut CAM перед системой ADEM.

**Научный руководитель:** ст. преподаватель Т.Г. Девжеева

**И.А. ДАУТОВА**

*Альметьевский государственный нефтяной институт*

## **ОЦЕНКА СЦЕНАРИЕВ ДЕЙСТВИЯ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ КОМПАНИИ ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ ДОБЫЧИ НЕФТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

Финансовая устойчивость нефтегазодобывающего предприятия в значительной степени зависит от эффективного управления структурой фонда добывающих скважин. Современное состояние нефтедобычи в России характеризуется ростом малодобитных, высокообводненных скважин, что оказывает существенное влияние на увеличение эксплуатационных затрат на фоне нестабильного уровня цены на нефть. Данные факторы не могут не оказывать влияние на эффективность деятельности предприятия, поэтому данная проблема требует к себе особого внимания и является актуальной для нефтегазодобывающих предприятий.

В работе проведен анализ структуры фонда скважин одного из НГДУ ПАО «Гатнефть», приведено ранжирование скважин по категориям рентабельности, рассчитаны основные экономические показатели по каждой категории. Сделаны обоснованные выводы, что для экономических и производственных служб целесообразно владеть информацией о прогнозной рентабельности скважины в ближайшие годы, о возможности выбытия скважины из рентабельного фонда для принятия решений в части оптимизации их работы на прединвестиционном этапе. В работе предлагается алгоритм определения пороговой рентабельности скважин, периода его достижения, влияния, предлагаемых мероприятий на продление времени рентабельной эксплуатации с учетом цены на нефть для рентабельных и нерентабельных скважин. 10 декабря 2016 г. было подписано соглашение с ОПЕК об ограничении добычи нефти. В связи с этим, на наш взгляд, для нефтедобывающих предприятий, важно разработать бизнес-модель, позволяющую сократить добычу нефти и, в то же время, не допустить существенного ухудшения финансовых показателей. Используя результаты геологического и гидродинамического моделирования разработаны 4 сценария поведения предприятия при ограничении добычи нефти. В результате анализа выбран наиболее оптимальный сценарий.

**Научный руководитель:** к.э.н., доцент Ч.С. Закирова

**Е.К. МАСЕНКО**

*Альметьевский государственный нефтяной институт*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ НЕФТИ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ПРИЕМО-РАЗДАТОЧНЫХ УСТРОЙСТВ РАЗЛИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ НА ПРИМЕРЕ РВС-5000**

На Ново-Суксинской УПВСН эксплуатируются три резервуара (РВС-5000 № 4, 5, 7) в качестве товарных резервуаров по следующей схеме: в один резервуар ведется прием товарной нефти, второй резервуар находится в «отстое», с третьего резервуара ведется откачка нефти на ПСП «Наб.Челны» через СИКН № 223. При выводе одного из этих резервуаров в ремонт приходится использовать РВС-3000 № 2 (технологический) в качестве товарного. При проведении капитального ремонта РВС-5000 № 7 предлагается для более эффективного использования резервуара в качестве технологического товарного оснастить его внутренней начинкой «маточником» для ввода товарной нефти с целью равномерного распределения по всему поперечному сечению резервуара и улучшению отделения остаточной воды.

Внутренняя начинка в РВС 5000 № 7 отсутствует, что ведёт к неэффективной его эксплуатации (в качестве товарного возможно попадание остаточной воды на приём товарных насосов и далее на СИКН № 223, что сразу же приведет к остановке сдачи нефти НГДУ «Прикамнефть»).

Предлагается смонтировать внутреннюю начинку резервуара: на линии приема нефти смонтировать распределяющее устройство (маточник) на уровне 1,0 м от днища резервуара. Данное техническое перевооружение резервуара за счёт использования внутренней начинки позволит получить следующие положительные эффекты:

1. Улучшить качество товарной продукции УПВСН, откачиваемой на «ПСП Наб. Челны».
2. Уменьшить количество нефти, повторно возвращаемой в голову процесса при «подрезке» товарных резервуаров перед откачкой на «ПСП Наб. Челны».
3. Исключить попадание нефти с повышенным влагосодержанием на ПСП «Наб. Челны».

**Научный руководитель:** к.т.н., доцент Исмагилова З.Ф.

**Т.Р. РАХМАТУЛЛИН**

*Альметьевский государственный нефтяной институт*

## **БЕСПИЛОТНЫЙ АППАРАТ ДЛЯ ОБЛЁТА ТРАССЫ ТРУБОПРОВОДА**

Регулярный мониторинг трасс трубопроводов позволяет наиболее безопаснее вести перекачку нефти и газа. Необходимо знать состояние труб, соответствие проектным положениям, следить за несанкционированными врезками или переездами. В настоящее время следят за состоянием трассы с помощью облёта вертолетами. Как показывает практика такой способ очень затратный, поэтому подобные мероприятия проводятся раз в 2 месяца, что недостаточно для трубопроводов.

Для таких целей я разработал аппарат который мог справляться с поставленной задачей. Самолет снабжен автопилотом, на наземной станции только наблюдают за процессом и в случае необходимости корректируют полёт. Вся собранная информация обрабатывается на базе, после возвращения аппарата, позво-



ляя оценить состояние нефте- и газопроводов. Маршрут полёта задаётся по GPS точкам привязанных к карте. Аппарат способен передвигаться со скоростью 60-110 км/ч в течение 2 часов. Основной частью самолета является одноплатный компьютер raspberry pi, который обрабатывает всю информацию поступающей в самолёт.

Использование беспилотного аппарата экономически выгоднее и позволяет увеличить количество вылетов в неделю, а значит и увеличить качество мониторинга. И при этом масса аппарата составляет 3 кг. Специально встроенный газоанализатор может получать точную концентрацию углеводородных газов.

Себестоимость аппарата составила 50 тыс.руб. По экономическим расчётам было выявлено что на обслуживание в год беспилотного аппарата обходится - 1 млн.420 тыс.руб., а на вертолёт МИ8 - 5 млн.216 тыс.руб.

Достоинства: Без участия человека, небольшие габариты и вес, недорогая стоимость аппарата, период между облётами составляет 3 часа, экономия средств и времени, повышается количество вылетов в неделю, быстрое реагирование.

Характеристики аппарата: Размах крыла – 1,32 м, рабочая высота полета – 60-300 м, дальность полета – до 25 км, масса – 3,1 кг.

**Научный руководитель:** к.т.н., доцент Исмагилова З.Ф.

**Э.Д.САХАБИЕВА**

*Альметьевский государственный нефтяной институт*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПОДВОДНОГО ПЕРЕХОДА ТИПА «ТРУБА В ТРУБЕ»**

В настоящее время на промыслах в основном используются стальные трубы, срок эксплуатации которых превышает 10 лет. По промышленным трубопроводам перекачивается агрессивная среда (с большим содержанием воды, серы и механических примесей). За это время они подвергаются коррозии, появляются коррозионные трещины, в следствие чего проблема выявления мест утечек является актуальной проблемой. Анализ показал, что наиболее часто корродирующими участками являются участки трубопроводов, проложенные в водонасыщенных грунтах, в том числе подводные переходы.

Подводные переходы являются наиболее опасными экологическими участками трубопровода. Аварии на этих участках могут привести к значительным последствиям для водных объектов. Поэтому очень важно следить за состоянием труб, уже находящихся в эксплуатации, и предупреждать серьезные аварии.

Рассматриваемый мною подводный переход промышленного трубопровода DN250 выполнен методом «труба в трубе». Защитный кожух выполнен в виде стальной трубы DN500.

Предлагается заполнить внутреннее пространство некоторой средой и произвести монтаж технологического оборудования (манометров) на узлах задвижек. Контролируя давление в межтрубном пространстве на манометрах, можно судить о наличии утечек. Как только давление изменится, следует провести внутритрубную диагностику, с целью нахождения местоположения утечки. Само внутритрубное пространство можно заполнить инертным газом, воздухом или жидким тосолом.

Кроме того, предлагается установить автоматические сигнализаторы, которые подают сигнал об изменении давления на пульт, находящийся в цехе, отвечающем за эксплуатацию и ремонт трубопровода.

Этот метод позволит снизить количество внутритрубных диагностик, проводимых предприятием, так как длина промышленного трубопровода является довольно малой. Следовательно, снизится стоимость обслуживания трубопровода.

**Научный руководитель:** к.т.н., доцент З.Ф. Исмагилова

**Р.Р. АХМЕТОВА**

*Бакирский государственный университет*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ ЗАКАЧКИ В НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ КОЛЛЕКТОРАХ**

В последние годы в разработку активно вовлекаются коллектора с низкой проницаемостью пласта. Из-за значительной длительности «традиционных» видов гидродинамических исследований (ГДИС) методами КПД и КВД на таких пластах на практике активно применяются и развиваются «малозатратные» технологии ГДИС. Одним из наиболее распространенных методов «малозатратного» вида ГДИС в нагнета-

тельных скважинах являются исследования на установившихся режимах закачки (методом построения индикаторных диаграмм). Данный вид ГДИС позволяет оценить пластовое давление и коэффициент приемистости скважины.

Для оценки пластового давления и коэффициента приемистости нагнетательной скважины рассмотрена численная модель элемента девятиточечной системы разработки, которая состоит из трех добывающих скважин с трещинами ГРП и одной нагнетательной скважины с трещиной автоГРП. Моделируется работа скважин при постоянном забойном давлении в течение 300 суток, далее в нагнетательной скважине проводится последовательная смена режимов работы при различных значениях приемистости.

В данной работе выполнены численные расчеты при различных проницаемостях пласта ( $k = 0.1, 1, 10, 100$  мД), проницаемостях трещины автоГРП (100Д) и различных длительностях режимов закачки ( $t=0.1, 0.5, 1, 3, 5, 10, 20, 25, 50, 100$  сут.). Полученные расчеты сравнивались с давлением на контуре питания в численной модели.

При увеличении проницаемости пласта уменьшается разница между давлением, полученным по индикаторной диаграмме и давлением на контуре питания в численной модели.

**Научный руководитель:** к.ф.-м.н., доцента А. Я. Давлетбаев

**П.К. КАБАНОВА**

*Башкирский государственный университет*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИНЫ ГРП В СЛОИСТОНЕОДНОРОДНОМ ПЛАСТЕ**

Одним из самых эффективных методов интенсификации добычи углеводородов является гидроразрыв пласта (ГРП). В настоящее время ГРП активно применяется при разработке месторождений с трудноизвлекаемыми запасами нефти и газа. Метод ГРП заключается в создании избыточного давления, превышающего горное давление, при помощи закачки в пласт флюида. Вследствие этого происходит разрыв породы и образование трещин.

Существует несколько моделей, используемых для моделирования трещин ГРП: двумерные (2D), трехмерные (3D), псевдотрехмерные (P3D) и планарные (PL3D). Большинство трещин ГРП моделируются с помощью моделей P3D и PL3D. Планарная модель точно описывает распространение трещины, но является вычислительно сложной. Псевдотрехмерные модели для упрощения расчетов используют приближенные решения, вследствие чего высота трещины, например, может быть рассчитана некорректно. Поэтому возникает необходимость в создании более точной модели трещины.

В данной работе исследуется профиль раскрытия вертикальной трещины ГРП с закрепленными концами методом численного моделирования. Рассматривается пласт, для которого характерна слоистая неоднородность. Считаем, что раскрытие трещины обеспечивается постоянным давлением жидкости внутри трещины, а также гидростатическим давлением жидкости. Математическая модель для данной задачи включает дифференциальное уравнение равновесия в частных производных, обобщенный закон Гука, соотношение Коши для случая малых деформаций.

Задача решалась с использованием метода конечных элементов, реализованного в пакете FreeFem++. Было исследовано раскрытие трещины в зависимости от давления жидкости внутри трещины и упругих свойств пласта. Также была исследована применимость приближенной схемы для расчета ширины раскрытия трещины.

**Научный руководитель:** к.ф.-м.н. А. В. Аксаков.

**И.А. МУХТАРОВ**

*Башкирский государственный университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СОЛЕОТЛОЖЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТАХ ПОГРУЖНОГО НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

Актуальным на сегодняшний день вопросом повышения эффективности добычи углеводородов, является вопрос о борьбе с солеотложением на погружном оборудовании при эксплуатации скважин. Солеотложение катализирует износ глубиннонасосного оборудования, приводит к не запланированным тратам на ремонт скважин, разбор и чистку аппаратуры. Всё это в совокупности значительно ухудшает экономические показатели работы нефтегазодобывающих предприятий.

Одним из решений данной проблемы, не требующей больших затрат, является обработка флюида электромагнитным полем. Способ этот уже применяется, но лишь частично, так как до конца механизм воздействия электромагнитного излучения на механизм осадкообразования ещё не изучен.

Для более подробного изучения механизмов образования кристаллов соли, был собран экспериментальный стенд, который предусматривал: перемешивание модельного раствора, варьирование расхода жидкости раствора и его подачу в блок обработки электромагнитным полем, протекание раствора через трубку – свидетель, в которой откладывалась соль, пробоотборники для забора модельного раствора и, в дальнейшем, его титрования и выявление концентрации соли в растворе.

Осадок, который был получен и изучаемого раствора, отправлялся на рентгено – флуоресцентный анализ, который показал, что карбонат кальция выпадает в двух формах. Без электромагнитной обработки соль выпадает в форме кальцита, а после электромагнитной обработки в форме арагонита.

В рамках опытов создавался сильно пресыщенный раствор, который облучался электромагнитом, а позже попадал в трубку – свидетель, на которой откладывался карбонат кальция. В результате экспериментов было выявлено, что электромагнитное поле снижает отложение карбоната кальция на нагретой металлической поверхности.

**Научный руководитель:** к.т.н., доцент Р.Р. Зиннатуллин

**Н. И. ШАЯХМЕТОВ**

*Бакирский государственный университет*

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО НАГРЕВА НЕФТЯНОГО ПЛАСТА**

Запасы традиционных энергетических ресурсов истощаются, в поэтому в мире все чаще рассматривается возможность использования и добычи тяжелой нефти, так как на данный момент в мировых запасах они составляют большую часть.

На сегодняшний день, применение новых методов в нефтедобычи является крайне актуальным. Имеются различные способы разработки труднодобываемых залежей путем химических, тепловых, газовых и других воздействий. Многие из этих методов являются небезопасными для окружающей среды, а так же исключают возможность добыть оставшуюся нефть более перспективными методами в будущем. На данный момент самый безопасный комплекс методов воздействия – электромагнитными полями.

В работе рассмотрено электромагнитное воздействие на пласт, которое основывается на использовании внутренних источников тепла, возникающих под воздействием высокочастотных электромагнитных полей. Отличие постановки задачи от существующих аналогов состоит в том, что источник электромагнитного нагрева в работе берется через вектор Умова-Пойнтинга и напряженность электрического поля. Моделирование проводилось методом контрольных объемов.

В результате моделирования были получены аналитическое решение и численная модель рассматриваемой задачи.

**Научный руководитель:** к.ф.-м.н. В. Н. Киреев.

**А.А. ДАНЬКОВ**

*Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова*

## **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СМЕСИТЕЛЕЙ С ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ РЕЖИМОМ СМЕШИВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ**

На современных предприятиях, где технологической линией предусмотрено использование смесительного оборудования по сухому способу смешивания, применяют различные типы смесителей сыпучих материалов: ленточного типа, барабанные горизонтальные смесители, смесители роторного типа и т.д.

Как показал опыт, быстрое и качественное смешивание достигается в смесительном оборудовании, в котором использован принцип перевода сыпучего материала в псевдооживленное состояние с помощью быстровращающегося вертикального ротора.

В данной статье рассматриваются существующие современные конструкции смесителей для производства сухих строительных смесей, использующие высокоскоростной режим работы. Указаны их конструктивные особенности, достоинства и недостатки, а также описаны возможные пути решения существующих проблем в сегменте сухих строительных смесей.

**П.В. ИГНАТОВ**

*Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭКСКАВАТОРА ЭКГ – 18**

При современных объемах добычи руд черных и цветных металлов подземный способ ведения горных работ становится малоэффективным, так как применение мощной техники сдерживается ограниченными размерами горных выработок и условиями поддержания покрывающих пород.

Открытый способ разработки полезных ископаемых является наиболее перспективным в техническом, экономическом и социальном отношениях. Благодаря мощной индустриальной базе и огромным запасам полезных ископаемых, расположенных близко к поверхности, этим способом в наше время добывается 75% общего объема твердого минерального сырья, потребляемого народным хозяйством страны.

На карьере ПАО «Михайловский ГОК» для добычи железной руды применяется экскаватор ЭКГ-18, предназначенный для разработки открытым способом и погрузки в транспортные средства или в отвал полезных ископаемых и пород вскрыши I и II категорий по трудности экскавации без предварительного рыхления и III, IV и V категорий с предварительным рыхлением взрывом.

Несмотря на высокие производственные показатели экскаватора ЭКГ-18, он обладает рядом недостатков, основными из которых является низкая эксплуатационная надежность его подъёмной лебедки, проявляющаяся в разрушении под воздействием максимальных нагрузок элементов крепления, соединяющих крышку и корпус её редуктора.

Это обстоятельство значительно снижает эксплуатационные возможности машины, резко уменьшает её производительность, вызывает перебои в технологическом процессе добычи полезных ископаемых, а также в разы увеличивает затраты времени и материальных средств на ремонт и обслуживание экскаватора.

Для решения этой проблемы в условиях предприятия нами было предложено увеличить диаметры шпилек бобышек тихоходного вала до максимально возможных для базового редуктора значений, увеличить длину их резьбовых частей, установить в пространстве между бобышками тихоходного и промежуточного валов фланцевые накладки, увеличив при этом диаметры соединяющих их болтов, установленных с нулевым зазором.

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.Г. Дмитриенко

**И.В. КАЛАТОЗИШВИЛИ**

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Имеющиеся на сегодняшний день зависимости, описывающие процесс резания с точки зрения использования при построении технологических процессов и построения автоматизированных систем управления станками имеют ряд недостатков: эмпирические зависимости могут быть использованы в относительно узком диапазоне технологических режимов, не учитывающие высокопроизводительные режимы обработки; приведенные расчетные зависимости, измеренные значения температуры в зоне резания и силовые параметры могут давать неточные эмпирические температурные и силовые зависимости или не согласовываться с аналитическими моделями; весьма большое количество разнообразных коэффициентов и параметров, которые не всегда могут быть определены для использования в частном случае и др.

Численное моделирование позволяет: получить динамическую трёхмерную картину упруго-пластических, силовых процессов и процессов теплопередачи; выявить комплекс взаимосвязей между режимами обработки и состоянием поверхностного слоя изделия; получить информации о параметрах, недоступных для прямого или косвенного измерения.

Приведены результаты численного имитационного моделирования процесса резания при механической обработке точением наружной цилиндрической поверхности и плоского фрезерования.

Решено ряд задач для широкого диапазона подач и скоростей резания при точении, и получены зависимости, учитывающие температурно-силовое состояние с режимами механической обработки. Выведены температурные оптимумы, позволяющие обеспечить благоприятные условия в зоне резания.

Использование имитационных моделей также позволяет идентифицировать процесс резания, получить разгонные кривые и определить передаточные функции по каналам управления.

**Научный руководитель:** канд. техн. наук, доц. А.В. Гринек

**Д.В. КУЗНЕЦОВ**

*Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова*

## **АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ВНУТРИМЕЛЬНИЧНОГО КЛАССИФИКАТОРА**

В настоящее время в РФ происходит подъем строительной индустрии. Это влечет за собой необходимость постоянного увеличения объемов производства строительных материалов. Начиная с 1998 г. объемы производства цементной промышленности постепенно наращивались, и в 2015 г. выпуск цемента составил 69 млн. т. в год. Россия вернулась в десятку стран производителей цемента и занимает седьмое место в мире.

В настоящее время помол портландцементного клинкера осуществляют преимущественно в шаровых мельницах (ТШМ), производства которых известны - это большая производительность, надежность в работе, простота в обслуживании и ремонте, но они имеют ряд недостатков - это низкий к.п.д., большие удельные энергозатраты (при получении 1 т. цемента затрачивается до 40 кВт·ч электроэнергии), большой удельный расход мелющих тел (до 0,5 мелющих тел при получении 1т. цемента). Повышение эффективности работы этого агрегата является одной из задач, решение которых приведет к росту объемов выпуска и повышению качества продукции цементных предприятий.

Нами предложено внутримельничное классифицирующее устройство для второй помольной камеры.

Для решения задачи по организации процесса классификации измельчаемого материала непосредственно в полости ТШМ, была разработана принципиально новая, конструкция внутримельничного устройства, которая позволяет организовать в полости помольного агрегата рециркуляцию части загрузки, сопровождающуюся процессами классификации и вывода готового продукта из зоны измельчения, а крупные частицы возвращаются на доизмельчение.

Применение устройства в ТШМ позволило уменьшить количество мелющих тел во второй камере, снизить на 2-3 кВт·ч энергозатраты на тонну цемента.

**Научный руководитель:** к.т.н., профессор Ю.М. Фадин

**А.Н. ОКУНЕВ**

*Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова*

## **МАГНИТНЫЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ СИЛЬНОМАГНИТНЫХ РУД**

На обогатительной фабрике ПАО «Лебединский ГОК» для обогащения сильномагнитных железных руд применяется магнитный сепаратор шведской фирмы «Сала» с магнитной системой из постоянных магнитов.

Данная машина обладает рядом достоинств: простотой и надёжностью конструкции, низкой энергоёмкостью ввиду отсутствия электромагнитов, высокой ремонтпригодностью, возможностью плавного регулирования глубины ванны и, как следствие, напряженности магнитного поля (в сторону уменьшения).

Несмотря на ряд достоинств, сепаратор имеет некоторые недостатки, основным из которых является невозможность регулирования напряженности (в сторону увеличения) и равномерности магнитного поля, создаваемого магнитной системой в рабочей зоне машины. Данный недостаток не позволяет настраивать ее в соответствии с конкретными условиями эксплуатации (содержание железа в руде, содержание твёрдого в пульпе, стадия сепарации) и сужает область её применения до первоначальной сепарации.

С целью решения данной проблемы был проведён патентный поиск, в результате которого были отобраны и проанализированы конструкции магнитных систем барабанных сепараторов с регулируемым магнитным полем. Анализ показал, что большинство подобных конструкций весьма сложны и дорогостоящи, обладают невысокой надёжностью, повышенной металлоёмкостью и ограниченными возможностями регулирования параметров магнитного поля. Ввиду этого нами была предложена собственная конструкция магнитной системы, позволяющая в кратчайшие сроки осуществлять отдельную ручную регулировку напряженности (как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения) и равномерности магнитного поля

без демонтажа барабана с незначительным нарушением его целостности. В целях подтверждения изобретательского уровня, промышленной применимости и дальнейшего совершенствования данная конструкция была оформлена заявкой на полезную модель.

**Научный руководитель:** д.т.н., профессор С.Ю. Лозовая

**Е.Г. ПАХОТИН**

*Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова*

## **ПРИМЕНЕНИЕ СИМУЛЯЦИИ КИНЕМАТИКИ CAD/CAM/CAE СИСТЕМЫ NX ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Современная промышленность технологического оборудования нуждается в постоянном совершенствовании выпускаемой продукции, а также разработке новых конструкций машин и механизмов.

Эффективным способом сокращения сроков подготовки нового оборудования к эксплуатации является применение систем автоматизированного проектирования. На сегодняшний день доступен широкий спектр программного обеспечения, с помощью которого специалисты могут решать любые задачи проектирования.

Одной из передовых систем автоматизированного проектирования является CAD/CAM/CAE система NX. Проектирование оборудования в этой системе производится не только при помощи создания электронно-цифровой модели оборудования, но и создания виртуального механизма на её основе.

Средства кинематического анализа систем автоматизированного проектирования позволяют получить данные о работе проектируемого механизма до производства его первого лабораторного прототипа, что существенно снижает затраты на разработку оборудования.

Приложение NX «Симуляция кинематики» позволяет получить точные выходные данные о работе механизма в результате проведения симуляции его работы. В процессе проектирования немаловажную роль имеет возможность анализа интерференций геометрии элементов механизма, по результатам которого инженер может сделать вывод о работоспособности конструкции и, при необходимости, внести в неё изменения.

В данном докладе представлены результаты процесса разработки модернизации планетарного смесителя для сухих строительных смесей, направленной на повышение эффективности его работы за счет снижения износа его приводной части. Кинематический анализ был применен для получения оптимальных геометрических параметров конструкции, в результате чего было обеспечено успешное внедрение модернизации в существующий лабораторный прототип планетарного смесителя.

**Научный руководитель:** к.т.н., профессор М.Ю. Ельцов

**А.Ю. СИТАР**

*Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛЕБЕДИНСКОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА**

Жемчужиной и горнорудной столицей курской магнитной аномалии (КМА) называют г. Губкин Белгородской области, потому что историю города нельзя отделить от истории развития всего Курско-Белгородского железорудного бассейна.

В 1882 году Русское географическое общество решило начать работы по изучению магнитных аномалий, поручив наблюдения Н.Д. Пильчикову. Он провел наблюдения в 71 точке и в отчете о работе по изучению аномалии земного магнетизма указывал на необходимость систематических исследований под Курском.

Среди первопроходцев КМА имена известных ученых: П.Б. Иноходцева, П.П. Лазарева, и др. Профессор Т. Мура, обобщив все наблюдения русских исследователей с 1874 по 1895 годы, подтвердил все открытия, сделанные ранее.

Самый большой вклад в изучение КМА внес выпускник Санкт-Петербургского горного института И. М. Губкин, который возглавил в 1920 г. Особую комиссию по ее исследованию. В результате проведенных работ в 1923 г. в одной из скважин подтвердилось наличие залежей железной руды.

В доме, где ранее проживал академик И. М. Губкин, создан единственный в России музей, где есть экспонаты по истории открытия, исследования и промышленного освоения богатств железорудного бас-

сейна – КМА, представлены рудные и нерудные полезные ископаемые, редкие минералы и горные породы Лебединского и Коробковского месторождений.

В перспективе развития Лебединского горно-обогатительного комбината намечено строительство первого в Европе завода по производству горячебрикетированного железа мощностью первой очереди 1,0 млн. т в год, электросталеплавильного и прокатного производств, а также создание многопрофильного производства, в составе которого кроме железорудной продукции развивается производство строительных материалов.

**Научный руководитель:** к.т.н., доцент Е.В. Шопина

**А. А. СТРАХОВА**

*Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова*

## **ЛЕБЕДИНСКИЙ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫЙ КОМБИНАТ. ДОБЫЧА И ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ**

Лебединский ГОК (Лебединский горно-обогатительный комбинат) - является крупнейшим в России предприятием по добыче и обогащению железной руды и производству высококачественного сырья для черной металлургии. Именно на Лебединском руднике впервые в Советском Союзе стали добывать железорудное сырье открытым способом. Максимальная ширина карьера Лебединского ГОКа составляет 5 км, глубина - 600 м. Сырьевой базой комбината являются уникальные по масштабам и качеству запасы железистых кварцитов.

Объем добываемой в открытом карьере горной массы составляет 80 млн. тонн в год, в том числе более 40 млн. тонн железистых кварцитов.

Лебединский ГОК владеет технологией дообогатения железорудного концентрата, повышая массовую долю железа до 71% и является единственным в России производителем сырья для технологий прямого восстановления железа.

Добыча руды осуществляется открытым способом при помощи взрывания, экскавации и транспортировки горной массы автомобильным и железнодорожным транспортом. Попутно добывается нерудное минеральное сырье - песок, мел, кристаллические сланцы, которые с помощью внутреннего железнодорожного транспорта отгружаются потребителям.

Технологический цикл переработки железной руды заканчивается производством железорудных окисленных окатышей с массовой долей железа более 66%.

Лебединский ГОК дважды занесен в книгу рекордов Гиннеса: 1. Как предприятие, разрабатывающее уникальное по запасам месторождение железной руды; 2. Как предприятие, имеющее крупнейший в мире карьер по добыче негорючих полезных ископаемых.

**Научный руководитель:** к.т.н., доцент Е. В. Шопина

**Н.Ю. ШЕЛКОВАЯ**

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

## **АНАЛИЗ УПРУГИХ СМЕЩЕНИЙ ВАЛА ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ**

В работе предлагается анализ упругих смещений нежесткого вала при токарной обработке. К нежестким валам относятся такие валы, у которых длина в десять раз превышает их диаметр. При обточке на токарном станке они прогибаются под действием веса и усилия резания, в результате деталь получает неправильную форму и размеры. Обработка непроизводительная и выполняется с малыми глубинами и подачами. При увеличении режимов обработки деталь может быть вырвана из центров. Для усиления жесткости обрабатываемого вала вводится дополнительная опора, которая воспринимает радиальную составляющую сил резания. Такая опора называется люнетом. Чтобы проанализировать в какой мере силы резания влияют на погрешность обработки вала в работе представлена математическая модель упругих деформаций вала в плоскости ZOХ и YOХ в зависимости от скорости резания, подачи и координаты приложения силы. Для расчетов принимаем ступенчатый вал длиной 242мм и минимальным диаметром 14 мм. Также в работе оценивается продольная устойчивость вала-это требуется для анализа эффективного закрепления вала при обработке. В работе приведены расчетные схемы вала при закреплении в патроне и центрах под действием всех сил, действующих на вал, как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. Анализируется влияние сил и крутящего момента на погрешность обработки валов в продольном и поперечном сечении.

**Е.Г. ШЕМЕТОВ**

*Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЯ CAD/CAM/CAE СИСТЕМ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРНОРУДНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

В современных условиях, кроме требований к качеству выпускаемой продукции, добавляется еще и необходимость сокращения времени выхода ее на рынок при одновременном удовлетворении индивидуальных потребностей клиентов.

Горнорудные предприятия, занимающиеся проектированием и производством горной техники, нуждаются в высококвалифицированных специалистах. На сегодняшний день при изготовлении технической документации используют системы автоматизированного проектирования AutoCad, Компас-3D и в единичных случаях систему NX.

Применение подобных систем позволяет в 2-3 раза сократить время разработок от идеи-концепции до воплощения в металл.

Современный выпускник университета должен уметь использовать новейшие информационные технологии и нести свое знание в производство.

После того как студент осваивает трехмерное моделирование он переходит к изучению прочностных, динамических расчетов, и в зависимости от научного направления изучает различные модули программных продуктов, такие как исследование потоков воздуха, тепловой расчет, анализ кинетической энергии и т.д. Когда студенты собирают машину подетально и проводят её расчет они наглядно разбираются в строение машины, тем самым облегчают понятие о принципе работы оборудования и у студента появляются мысли о модернизации того или иного узла машины. Таким образом, с университета выпускаются высокоспециализированные инженеры, которые способны конкурировать на рынке труда не только в России, но и за рубежом.

В данной работе рассматривается разработка струйной мельницы с плоской помольной камерой для получения железоокисных пигментов, а также проводится исследование движения потоков для определения конструкции и оптимальных габаритных размеров для эффективной работы данного агрегата.

**Научный руководитель:** к.т.н., доцент В.Г. Дмитриенко

**Н.В. МУРЗИН**

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА УСТАНОВЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ МЕЖДУ ОТКРЫТЫМИ И ПОДЗЕМНЫМИ РАБОТАМИ**

Развитие экономического и промышленного потенциала страны ставит задачу повышения эффективности использования сырьевых ресурсов. Увеличение объемов добычи и переработки минерального сырья приводит к росту нагрузки на природный комплекс и ухудшению экологической ситуации. Это в полной мере касается разработки рудных и угольных месторождений, когда глубина залегания полезного ископаемого предопределяет его разработку открытым и подземным способами. На эффективность отработки месторождения влияют как организационно-технические, так и технологические решения.

Оценка эффективности горных работ с этих позиций позволяет говорить о том, что применение открытых и подземных работ для отработки одного месторождения дает возможность в большей мере использовать преимущества каждого способа разработки и снизить негативные факторы одного из них за счет другого.

Граница между открытыми и подземными работами во многом определяет эффективность разработки месторождения в целом и является одной из основных задач, решаемых при проектировании карьеров, планировании горных работ и отработке запасов. Разработанные методики установления границы перехода от открытых к подземным работам позволяют найти аналитические решения данной задачи статическими и динамическими методами. В качестве критериев установления границ между способами разработки используют себестоимость, прибыль, норму прибыли, чистый дисконтированный доход и индекс доходности.



Основываясь на существующих методиках определения конечной глубины карьера с использованием в качестве критерия установления границ прибыли от реализации продукции нами разработана экономико-математическая модель для решения данной задачи, учитывающая изменение технологии отвалообразования.

Углубленная оценка показала, что использование выработанного пространства карьера и рудника для размещения вскрышных пород позволяет изменить глубину перехода от открытых к подземным работам.

**Научный руководитель:** д.т.н., профессор Ф.В.Дудинский

**А.Е. СТАРКОВ**

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

## **ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ И РЕКУЛЬТИВАЦИИ БОРТОВ НЕГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ**

Примерно около четверти нарушенных горными работами земель в России приходится на карьеры по добыче стройматериалов. С целью изыскания способов сокращения площади земель, нарушенных при добыче стройматериалов, выполнен анализ использования земель на 34 горнодобывающих предприятий Иркутской области. Все предприятия связаны с добычей песка, глины, песчано-гравийной смеси.

Анализ нарушенных земель при добыче стройматериалов позволил установить зависимость структуры использования земель, а также землеёмкости производства, объемов работ по рекультивации, величины потерь и разубоживания полезного ископаемого от количества запасов и производственной мощности горнодобывающих предприятий. При анализе выявлены изменения, произошедшие в структуре добычи стройматериалов за последние 10-20 лет, установлено, что крупные предприятия в настоящее время заменены небольшими фирмами. Последнее привело к уменьшению площадей лицензионных отводов, усложнению технологии разработки месторождений, дополнительным потерям полезного ископаемого вдоль контура запасов и росту доли выложенных бортов карьера в общей площади нарушенных земель. В ходе исследования было предложено в процессе добычи полезных ископаемых борта карьеров формировать за контурами запасов, а породы, взятые при заоткоске, использовать для их выколаживания, при этом угол наклона бортов карьера устанавливать исходя из равенства объема пород, необходимого для выколаживания бортов, и объема пород, взятого за контурами запасов при формировании этих бортов.

Предложенное техническое решение позволяет при максимальном сокращении потерь полезного ископаемого в бортах карьера уменьшить общую площадь нарушенных земель при разработке небольших объектов на 3-5%.

**Научный руководитель:** д.т.н., профессор Б.Л. Тальгамер

**К.Д. СТРАШКО**

*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОСВОЕНИЯ ГЛУБОКИХ ТАЛЫХ РОССЫПЕЙ**

Горные работы оказывают весьма негативное воздействие на окружающую среду. Удельные показатели выбросов и сбросов, а также землеёмкости на единицу продукции на небольших карьерах гораздо выше, чем на крупных объектах. Большими удельными показателями выбросов, сбросов, водопотребления и землеёмкости характеризуется открытый способ разработки россыпей.

В настоящее время среди неосвоенных россыпей большую долю занимают достаточно глубокие месторождения (15-40 м), с небольшой мощностью продуктивного пласта (1-2 м), и незначительными запасами песков (50-150 тыс.м<sup>3</sup>). Освоение таких талых россыпей с использованием традиционной технологии и расположением торфов во внешних отвалах влечет не только большие экономические затраты, но и весьма негативное воздействие на окружающую среду.

В значительной степени устранить это воздействие позволяет скважинная гидродобыча. Скважинная гидродобыча (СГД) – перспективный геотехнологический метод разработки маловалунистых, рыхлых и слабосцементированных залежей полезных ископаемых, в том числе россыпного золота. Способ основан на гидравлическом принципе разрушения горного массива у забоя скважины, переводе полезного ископаемого на месте залегания в состояние гидросмеси с ее транспортированием к обогатительному прибору.

В качестве примера рассмотрена возможность применения СГД на одном из участков россыпи р. Шаман. Россыпь глубиной до 18,5 м, средняя валунистость песков до 5%, содержание глинистых пород 3%. Для участка россыпи ИрНИТУ разработан проект горных работ, согласно которому будет нарушено около

65,5 га земель, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу составят 70,5 т/год. Использование СГД на этом участке позволит сократить землеемкость горных работ в 1,6 раза, уменьшить количество выбросов в атмосферу в 2,2 раза и таким образом существенно снизить негативное воздействие горных работ на окружающую среду.

**Научный руководитель:** д.т.н., профессор Б.Л. Тальгамер

**Б. М. ЛОБАСТОВ**

*Сибирский федеральный университет*

## **ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ХВОСТОВ ЗИФ-1,2,3 ОЛИМПИАДИНСКОГО ГОКА И ПРОЦЕССЫ ВТОРИЧНОГО МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ В НИХ**

В хранилище жидких хвостов Олимпиадинского ГОКа за более, чем 20 лет накоплены продукты переработки 110 млн тонн руды, из них 17,4 млн тонн – это окисленные руды Олимпиадинского месторождения, 79 млн тонн – золото-сульфидные руды этого же объекта, остальное приходится на месторождения Титимухта, Ведуда, Олень.

Состав отложений хвостохранилища изучен по керновым пробам и пробам драгирования, отобранным по профилям со дна хвостохранилища. Для изучения минерального и вещественного состава хвостов и оборотных вод использовался разнообразный комплекс исследований: оптическое изучение искусственных шлихов, электронная микроскопия, рентгенофлуоресцентный анализ, рентгенофазовый анализ, пробирный анализ, анализ проб методами ICP-MSи атомной абсорбции, химические анализы оборотных вод. Дана характеристика элементного состава хвостов и оборотных вод, определены элементы зональности в распределении золота и сопутствующих компонентов.

Установлено наличие большого количества вторичных минеральных образований: гидроксидов Fe и Mn, вторичных минералов Sb, As, Pb (валентинит, скородит, арсенолит, церуссит и др), гипса (содержание которого достигает 13%), свидетельствующих о широком проявлении процессов вторичного минералообразования в хвостохранилище. Для оценки масштабов этих процессов изучен состав оборотных вод и изменчивость содержания элементов в толще воды с глубиной. Проведён анализ форм золота в хвостохранилище. Для золота свободная форма нахождения не характерна. Присутствуют связанные и растворимые формы. Наличие последних установлено косвенно: после ресситовки с большим количеством воды, суммарное содержание золота существенно меньше, чем в исходных пробах. Поставлены экспериментальные работы на хвостохранилище по изучению взаимодействия оборотных вод, остаточных концентраций золота и реагентов с минералами и техногенными образованиями.

**Научный руководитель:** д.г.-м.н., профессор В. А. Макаров

**Н. А. ШАРОВА**

*Сибирский федеральный университет*

*Институт горного дела геологии и геотехнологий*

## **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОЗДУХООБМЕНА В ГЛУБОКИХ КАРЬЕРАХ**

Современные карьеры характеризуются значительной глубиной залегания добываемых полезных ископаемых, до 500 – 600 м и более. При таких глубинах снижается влияние осуществляющих проветривание естественных сил (ветровых и тепловых, что сопровождается ухудшением санитарно-гигиенического состояния атмосферы карьера.

Использование средств искусственного проветривания для нормализации атмосферы карьера является экономически невыгодным, вследствие огромных объемов проветриваемого пространства, достигающих десятки и даже сотни млн. м<sup>3</sup>. Отсюда, поиск способов интенсификации естественного воздухообмена в глубоких карьерах является актуальным.

В рамках настоящей работы проведен патентный и литературный обзор способов и средств интенсификации естественного воздухообмена в карьерах, выполнен их критический анализ. Разработан и предложен способ повышения интенсивности естественного проветривания с помощью траншей, соединяющих карьерное пространство с дневной поверхностью (рис. 1). Преимущества предлагаемого способа заключаются в уменьшении объема зоны рециркуляции (рис. 2). Кроме этого, траншеи для проветривания уменьшают объем вскрышных горных работ при расширении карьера.

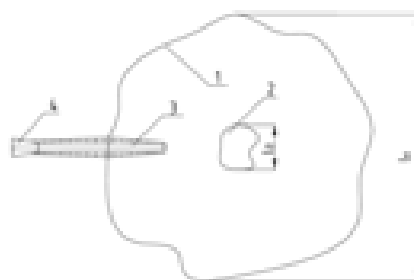


Рис. 1. Карьер с вентиляционной траншеей

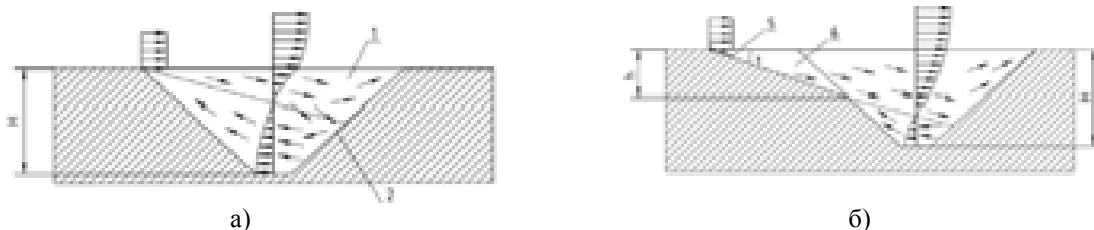


Рис. 2. Схема естественного проветривания карьера: а) при отсутствии вентиляционных траншей; б) при наличии вентиляционных траншей

**Научный руководитель:** к.т.н., доцент Шахрай С.Г.

**П.А. ГЛИК**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

## УПРАВЛЕНИЕ АКТИВНОСТЬЮ КАТАЛИЗАТОРА РИФОРМИНГА ПУТЕМ ПОДДЕРЖАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВОДНО-ХЛОРНОГО БАЛАНСА

Примерно 15-20 % катализаторов риформинга ежегодно используемых в промышленности, заменяются новыми из-за ресурсного истощения. В связи с этим, фактическое направление развития химической науки определяется в создании технологии сохранения активности катализаторов с целью увеличения их ресурса за счет использования прикладных математических моделей каталитических процессов, принимая во внимание условия эксплуатации катализаторов.

Промышленный опыт эксплуатации установок риформинга показал, что дефицит хлора приводит к преждевременному снижению активности катализатора в наиболее важной реакции изомеризации аланов, что отрицательно сказывается на качестве продукции. Дефицит хлора также способствует ускорению процесса дезактивации платиновых центров катализатора, что приводит к снижению активности катализатора в реакциях дегидроциклизации парафинов и снижению селективности процесса в целом. Напротив, избыток хлора способствует увеличению кислотной активности катализатора и, как следствие, ускорению реакции гидрокрекинга парафинов, которое приводит к снижению селективности процесса.

Было подтверждено предположение, что при каждой температуре существует оптимальная подача воды, при которой будет обеспечиваться максимальная конверсия кокса. При этом расход воды в диапазоне 0,3 – 0,5 л/ч имеет наиболее благоприятные результаты. Оптимальное содержание хлора в реакторе находится в диапазоне 1-2 ppm, что составляет расход хлорорганики 30,0 – 45,0 г/ч. При этом содержание SO<sub>2</sub> в реакционном объеме не превышает 0,6 ppm, что допустимо для работы катализатора.

Расчет оптимального значения расхода воды и хлора позволяет увеличить срок службы катализатора. При увеличенной подаче воды концентрация кокса при коксонакоплении на один и тот же объем переработанного сырья существенно ниже, что достигается увеличенным значением степени конверсии кокса. В зависимости от влажности системы подача хлорорганики в реакторы установки Л-35-11/600 колеблется в диапазоне 1,0-4,0 мг/кг сырья.

**Научный руководитель:** д.т.н., профессор каф. ХТТ НИ ТПУ Э.Д. Иванчина

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АДСОРБЕРОВ В ТЕХНОЛОГИЯХ ПОДГОТОВКИ ГАЗА В РАМКАХ УЧЕТА ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ И ТИПА ЕЕ ВНУТРЕННЕЙ И ВНЕШНЕЙ ИЗОЛЯЦИИ**

Поставка природного газа потребителям – это сложный технический и организационный процесс, включающий в себя поиск и разработку залежей углеводородного сырья, системы сбора и подготовки газа, протяженные транспортные газопроводы и множество людей, вовлеченных во все этапы. Транспортирующие компании заинтересованы в снижении издержек производства и экономии денежных средств, и одним из способов этого добиться является снижение металлоёмкости проектов. Известен способ оптимизации конструкции адсорбера установки подготовки газа при помощи использования внутренней огнеупорной футеровки, но ввиду отсутствия конкретной рекомендации по расчету в государственных стандартах необходимо доказать, что уменьшение металлоёмкости за счет утонения стенки обечайки адсорбера не приведёт к разрыву сосуда под давлением.

Таким образом, авторы работы сформулировали цель исследования, которая заключалась в технико-экономическом сравнении конструкции адсорберов с внутренней и внешней изоляцией в зависимости от методики расчета. Для достижения цель в работе выполнены следующие задачи:

1. Проведён аналитический обзор технологий подготовки газа к транспорту, конструкций адсорберов и методики расчета толщины стенки адсорбера;
2. Проведён тепловой расчет адсорбера в стадии регенерации;
3. Рассчитана толщину стенки по методике ГОСТ;
4. Рассчитана толщину стенки по методике, изложенной в иностранных источниках;
5. Проведён технико-экономический анализ.

Расчеты показали, что использование внутренней футеровки позволяет уменьшить толщину цилиндрической обечайки, днища и крышки адсорбера на величины порядка 30-40 мм в зависимости от рабочих условий и температуры регенерации сорбента, в силу чего снижается металлоёмкость проекта.

**Научный руководитель:** С.Н. Харламов, д.ф.-м.н., профессор ТХНГ ИПР ТПУ

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ СКВАЖИН ШАРОСТРУЙНЫМ СПОСОБОМ**

В мировой практике строительства скважин диапазон условий бурения постоянно возрастает в связи с необходимостью разведки и разработки месторождений в сложных горно-геологических условиях, в том числе твердых горных породах, где бурение вращательным способом сопряжено со значительными денежными и временными затратами. Таким образом, актуальность приобретает разработка альтернативных способов разрушения твердых горных пород.

Известен шароструйный способ бурения скважин, показавший высокую эффективность при бурении твердых горных пород по сравнению с механическим вращательным бурением. Однако данный способ не получил широкого внедрения из-за недостаточного уровня теоретической и экспериментальной проработки. Таким образом, необходимы дальнейшие работы в данном направлении.

Для имитации процесса бурения горных пород и визуального наблюдения за его осуществлением был изготовлен и запатентован лабораторный стенд, позволяющий экспериментально исследовать факторы, определяющие эффективность разрушения горной породы при шароструйном бурении. Визуализация быстротекающих процессов осуществлялась при помощи высокоскоростной съемки.

С помощью лабораторного стенда исследовано влияние геометрических параметров бурового снаряда и технологических параметров бурения на эффективность разрушения горных пород. Изучена динамика движения породоразрушающих шаров и теоретически обоснованы экспериментально установленные закономерности. Выявлена оптимальная конструкция бурового снаряда и разработана методика инженерного расчета процессов шароструйного бурения.

Разработана принципиальная конструкция улавливающе-подпитывающего устройства, входящего в состав компоновки низа бурильной колонны и позволяющего значительно увеличить рейсовую скорость

бурения за счет уменьшения числарейсов спуско-подъемных операций. Разработан и запатентован способ поддержания оптимального расстояния между снарядом и забоем при помощи датчика акустических колебаний.

**Научный руководитель:** к.т.н., доцент А.В. Ковалев

**М.З. КАЖУМУХАНОВА**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

## **ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ОТЛОЖЕНИЙ МЫСА МУОСТАХ (БЫКОВСКИЙ ПОЛУОСТРОВ, МОРЕ ЛАПТЕВЫХ)**

Многолетние исследования прибрежной зоны шельфа моря Лаптевых показали, что при катастрофическом по темпам термоабразионном разрушении берегов происходит высвобождение огромных масс реликтового органического углерода с вовлечением его в современный биогеохимический цикл, имеющее глобальное климатическое значение.

**Цель работы:** проведение минералогического и гранулометрического состава, изучение органического вещества пород обнажений мыса Муостах.

Гранулометрический анализ проводился ситовым методом. Минералогический состав изучался под бинокулярным микроскопом отдельно по песчаной и алевритовой фракциям. Исследования глинистой фракции проводились рентгенофазовым методом. Для определения общего содержания органического углерода, легколетучих органических соединений в осадках применялись пиролитический и хроматомасс-спектрометрический (ХМС) анализы. Кроме того использовались результаты изотопного анализа органического углерода.

По полученным данным построена литологическая колонка мыса Муостах, рассчитаны зависимости распределения органического вещества (ТОС) и изотопного состава органического углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ ) по разрезу ледового комплекса мыса Муостах. Так же построены графики, отображающие линейную зависимость параметров пристан/фитан (Pt/Phy) и кислородного индекса (OI); взаимосвязь параметров пристан/фитан и А/В (рассчитанных на основе ХМС); зависимость водородного показателя от изотопного состава осадков.

Полученные результаты отражают комплекс биохимических и химических процессов сопровождающих превращение органического вещества (ОВ) на различных стадиях, начиная от раннего диагенеза и заканчивая разрушением ОВ при выходе пород на дневную поверхность.

**Научный руководитель:** к.г.-м.н., доцент Т.Г. Перевертайло

**Е.С. МАКАРЦОВА**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МОНИТОРИНГЕ ТЕРРИТОРИЙ СНЕЖНЫХ ОТВАЛОВ РОССИИ**

Проблема снежных отвалов крайне актуальна для России, где число дней со снежным покровом составляет от 49 до 250 в году в разных регионах. За этот срок снег аккумулирует в себе загрязнения и при складировании на снежных отвалах (далее – СО) становится источником экологической угрозы.

**Цель** – разработка комплекса методов оценки состояния сложившихся СО для определения параметров строительства санкционированных СО.

**Объекты** – СО города Томска (ул. Мостовая, 40а (СО1), пересечение ул. Ивановского и ул. Высоцкого (СО2), пос. Хромовка, 35/2 (СО3).

**Методы исследования:** картографический (сервис GoogleEarth для расчета площадей и расстояний, кадастровая карта); полевой (пробы почв с разных участков и горизонтов; видовое разнообразие растений) и лабораторные (гранулометрический, механический состав, кислотность и токсичность почвенных образцов).

**Результаты.** По космоснимкам определены даты начала эксплуатации СО (СО1 – 2007 г., СО2 – 2006 г., СО3 – 2010 г.). Выявлены: рост площади СО (на 74-85 %) и развитие деградации растительного покрова (75-82 %). Установлено, что все СО расположены в непредназначенных для этого территориальных зонах, их почвы отличаются повышенным содержанием фракции «мелкий песок» (до 75 % общей массы) в верхнем горизонте, щелочным рН и токсичностью. Выявлены закономерности развития этих процессов, а

также особенности изменения гидротермического режима территорий СО в весенне-летний период (по космоснимкам).

В разработке математическое описание, которое позволит рассчитать необходимую глубину выемки грунта и определить его целевое использование при строительстве санкционированных СО.

Материалы опубликованы в трех статьях (Скопус) и учтены в «Положении о создании в городе территориальной зоны С-3 «Зона складирования снежных масс», принятом Думой г. Томска в декабре 2016 года.

Научный руководитель профессор ТПУ, д.с.-х.н. О.А. Пасько и доцент ТПУ, к.г.-м.н. О.С. Токарева.

**А. А. МЕХ**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

## **КОМПЛЕКСНАЯ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА БУРОВЫХ ШЛАМОВ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ**

В процессе освоения месторождений нефти, при бурении нефтяных скважин образуется большое количество бурового шлама (БШ), который является отходом 4-5 класса опасности, и оказывает непосредственное влияние на окружающую среду.

Для получения комплексной эколого-геохимической оценки буровых шламов был поставлен ряд задач: определение элементного состава методом атомно-эмиссионной спектроскопии; проведение рентгеноструктурного анализа и сканирующей электронной микроскопии с целью определения минералогического состава проб. А также оценка интегральной токсичности исследуемых буровых шламов с применением метода биотестирования, где в качестве тест-объектов использовались водоросли хлореллы *Chlorella vulgaris* Beijer и плодовые мушки *Drosophila melanogaster*.

Анализ химического состава проб бурового шлама показал наличие высокого содержания элементов I и II класса опасности в образцах бурового шлама, As, Pb, Zn и Cu, концентрации которых во много раз превышали ПДК в почве.

Исследование рентгеноструктурным анализом проб бурового шлама показало наличие в каждой пробе кварца, мусковита и альбита. Кварц и мусковит имеют максимальную долю в составе БШ. Наличие такой минеральной ассоциации во всех пробах БШ указывает на схожий состав исходных вмещающих пород. Определение минерального состава с помощью сканирующей электронной микроскопии показало наличие минералов, в составе которых отмечаются такие химические элементы: As, Pb, Ba, Fe, Ti, Zr, Mn, что подтверждается результатом атомно-эмиссионного анализа.

Биотестирование с использованием в качестве тест-объекта водоросли *Chlorella* выявило наличие биологического влияния бурового шлама на тест-объект. В тоже время, использование в качестве тест-объекта мушки *Drosophila melanogaster*, показывает отсутствие токсического эффекта.

Результаты биотестирования показали, что несмотря на отнесение отходов к классу малоопасных и практически неопасных, они могут оказывать негативное влияние, что связано с подвижными формами химических элементов.

**Научный руководитель:** к.г.-м.н. С.В. Азарова

**Ю.Ю. НАДЕЖДИНА**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

## **ЭКОЛОГИЗАЦИЯ И ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ**

Территория Обь-Томского междуречья нами рассматривается как естественная природная эколого-экономическая модель, позволяющая оценить эффективность эксплуатации природных ресурсов и устойчивость развития территории нижнего течения р. Томи. В настоящее время возникла проблема совместной эксплуатации водохозяйственных систем: военно-промышленного и жилищно-коммунального комплексов, так как эти системы объединены воронкой депрессии Томского подземного водозабора. Самые крупные из них: «Сибирский химический комбинат» (СХК), водоканалы гг. Томска и Северска и водозаборы муниципальных образований. Для урбанизированной территории нами установлено, что важнейшими негативными послед-

ствиями являются: гидродинамические и гидрохимические изменения характеристик гидросферы. Игнорирование этой проблемы приводит к развитию негативных техногенных процессов, обуславливает необходимость управления качеством природных вод и возможность перехода систем водоснабжения на новые дорогостоящие технологии очистки воды. Это явилось предметом наших научных исследований.

В процессе научных исследований нами проанализирован состав подземных вод эксплуатируемого водоносного горизонта за весь период эксплуатации водозаборов (45 лет). Многолетняя эксплуатация сказалась на изменении геохимического состава и гидродинамики. Исходя из анализа, нами намечены дальнейшие мероприятия по улучшению качества, эксплуатации подземного водозабора.

Для урегулирования социальных и эколого-экономических проблем нами предлагается создание единого управленческого органа. Различные интересы водопользователей можно объединить путем создания ассоциации водопользователей. Её создание позволит провести экологизацию и территориальное планирование развития водопользования на урбанизированной территории. Для обеспечения её развития на основе законодательства Российской Федерации должны быть разработаны соответствующие законодательные и правовые нормативные документы.

Научные руководители: д.г.-м.н., профессор В.К. Попов, к.г.-м.н., доцент Е.Ю. Пасечник

**А.Е. ПОСКОТИНОВ**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

## **ПРИТОКИ РАССОЛОВ В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА «УДАЧНЫЙ», ИХ РЕЖИМ, УТИЛИЗАЦИЯ И ПРОЦЕССЫ СОЛЕОТЛОЖЕНИЯ**

Подземный рудник «Удачный», осуществляющий разработку одного из крупнейших месторождений алмазов в России – Кимберлитовой трубки «Удачная», как и другие алмазодобывающие предприятия Западной Якутии, сталкивается с проблемой притоков крепких хлоридных кальциевых рассолов, агрессивных к горной крепи, технологическому оборудованию инженерным конструкциям. Поэтому строго необходимо прогнозирование водопритоков, организация водоотведения и последующая утилизация шахтных дренажных вод на предприятиях, осуществляющих добычу полезного ископаемого подземным способом.

Средний приток рассолов в очистные выработки рудника «Удачный» находится в интервале от 270 до 350 м<sup>3</sup>/ч. На участках активного капеза рассолов и хорошей вентиляции проявляются процессы солеотложения, натечные агрегаты вторичных минеральных новообразований имеют вид сталактитов и сосулек. При скоплении крупного объема они не только представляют опасность обрушения, но и затрудняют выполнение операций производственного цикла. Обстановка осложняется нефте- и газопроявлениями. Интенсивность негативных явлений определяется исключительно объемом и динамикой притоков рассола в горные выработки.

Начиная с 2013 года шахтные дренажные воды утилизируются на участке захоронения «Левобережный», путем свободного перетекания из маневровых емкостей в толщу многолетнемерзлых пород, через систему из 12 поглощающих скважин. При указанных объемах закачки полигон сможет обеспечивать возможность захоронения стоков в течении 4-5,5 лет. При эксплуатации полигона захоронения имеют место отклонения от проектных решений (а именно превышения допустимого уровня наполнения), опасность которых была также оценена в данной работе.

В результате проведенных исследований нами проведено районирование месторождения по условиям влияния граничных условий, построена схема превышений напоров над допустимыми уровнями на участке захоронения «Левобережный», а также проведено физико-химическое моделирование с целью прогноза состава вторичных минеральных образований и сравнение результатов с составом реальных образцов.

Научные руководители: д.г.-м.н., профессор Е.М. Дутова, к.г.-м.н., доцент К.И. Кузеванов

**А.А. АЛЕКСЕЕВА, А.Г. САФИУЛИНА, Р.Р. ЗАББАРОВ,  
А.И. ГАФФАРОВ, С.И. ХУСНУТДИНОВ, И.Ш. ХУСНУТДИНОВ**  
*ФГБОУ ВО «КНИТУ»*

## **ПЕРЕРАБОТКА МАСЛО-НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ**

Проблема переработки отработанных масел занимает важное место в мире, поскольку из 30 млн. т ежегодно производимых минеральных масел сбору подлежит только половина, а переработке – менее 5%, что приводит к загрязнению биосферы. Для восстановления отработанных масел применяются технологии,

основанные на физических, физико-химических и химических процессах. Однако, нестабильности состава и высокая степень загрязненности позволяют выбрать универсальный метод их регенерации. Актуальным является вопрос стабилизации состава этих отходов и предварительной очистки от механических примесей, а также удаления воды, что позволит применить стандартные способы регенерации для получения товарных масел.

В качестве объектов для исследования были отобраны образцы масло-нефте содержащих отходов ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»: промышленное отработанное масло (ИМО), моторное отработанное масло (ММО), трансформаторное отработанное масло (ТМО), обезвоженные шламы СОЖ (ШСОЖ).

Для переработки вышеуказанных отходов были исследованы адсорбционная очистка тремя видами адсорбентов и вакуумная перегонка, при этом процесс адсорбционной очистки малоэффективен применительно к данному виду сырья.

В результате вакуумной перегонки предоставленных образцов были получены следующие фракции: фр. НК-400°C, фр. 400-450°C, фр. 450-500 °C, фр. 500-550 °C, кубовый остаток. У фракций и их смесей были исследованы физико-химические свойства, характеризующие базовые масла и степень их очистки.

После сопоставления показателей дистиллятных фракций вакуумной перегонки с требованиями ТУ и ГОСТ на промышленные масла, было выявлено, что некоторые фракции и их смеси соответствуют промышленным маслам марок И-46 ПВ, И-20А, И-40А. Для улучшения качества продуктов, не соответствующих нормативным требованиям к товарным маслам, было предложено использовать присадки.

Применение присадок позволило существенно расширить ассортимент сырья для получения товарных масел. Проанализированные кубовые остатки соответствуют требованиям на котельные топлива марки М 100.

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.Г. Сафиулина

**Ю.А. АЛЬ-ХАНДАРИШ**

*Казанский национальный исследовательский технологический университет*  
**САМОРАСПАДАЮЩИЙСЯ ОТКЛОНИТЕЛЬ ДЛЯ  
КИСЛОТНЫХ ОБРАБОТОК**

В работе предложена технология, обеспечивающая эффективное отклонение кислоты и максимизацию эффекта кислотных обработок в скважинах, где применение только вязкоупругих систем неэффективно. Обычно это скважины вскрывшие трещиноватые коллектора с высоким контрастом проницаемости. Самораспадающийся отклонитель для кислотных обработок обеспечивает эффективное отклонение даже в сильно трещиноватых продуктивных интервалах.

Отклонитель временно прекращает поглощение в естественные трещины и проницаемые каналы в карбонатных пластах путем одновременной коагуляции зоны поглощения полимерными волокнами и высоковязким гелем, образующимся в ходе реакции самоотклоняющейся кислоты с карбонатной породой. После проведения обработки полимерные волокна и вязкоупругий гель полностью распадаются под действием температуры и пластовых флюидов.

Эффективность отклонителя оценивали с помощью динамического фильтр-пресса OFITE HPHT. При проведении эксперимента исследуемые растворы фильтровали через керамический диск, проницаемостью 550 мД в течение 70 минут, при перепаде давления 3,5 МПа и температуре 110°C. В процессе эксперимента фиксировали объем выделившегося фильтрата. Отклонитель обладает значительно более низкой фильтратоотдачей, чем обычная самоотклоняющаяся кислота. При концентрации самораспадающихся полимерных волокон 6 кг/м<sup>3</sup> фильтратоотдача снижается в 13 раз. Таким образом, самораспадающийся отклонитель может использоваться при кислотных ОПЗ или кислотных ГРП в скважинах с открытым стволом или в скважинах с перфорированным интервалом, при пластовой температуре не менее 70°C.

Научный руководитель: Курашов Д.А.

**М. А.А. АЛЬ-ЮСУФИ**

*Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет*

**ЗАГУСТИТЕЛИ ДЛЯ ЖИДКОСТЕЙ ГЛУШЕНИЯ НА ОСНОВЕ  
СИСТЕМ ПОЛИМЕР-ПАВ**



На сегодняшний день актуальной является задача разработки жидкостей глушения, которые позволяют не только сохранять коллекторские свойства продуктивных пластов, но также безопасно проводить текущий и капитальный ремонт скважин, при этом значительно сокращая затраты на раствор глушения.

Часто, недостатком загущенных водных растворов на основе полимеров является снижение вязкости растворов с увеличением минерализации и температуры. Растворы на основе ряда ионогенных ПАВ в свою очередь обладают высокой устойчивостью к увеличению минерализации воды. Однако, недостатком растворов на основе ПАВ является высокое значение концентрации для достижения необходимой вязкости и низкая устойчивость суспензий с кольматантом. С целью совмещения свойств растворов полимеров и ПАВ были проведены исследования композиционных составов на их основе.

В качестве основы в композиционных составах были использованы наиболее эффективные по результатам предыдущих испытаний полимеры ксантанового типа (Гаммаксан и Duo Vis) при эффективной концентрации 0,5 % масс. [1]. В качестве добавки ПАВ был использован устойчивый к высокоминерализованным водам и к повышенным температурам ПАВ цвиттерионного типа с условной маркировкой ЦПАВ при соотношениях с основой композиции 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 и 1:5.

В результате проведенных исследований установлено, что совместное применение исследуемых ксантановых полимеров и ЦПАВ приводит к увеличению вязкости, увеличению устойчивости к высокой минерализации и высоким температурам, улучшению песконесущей способности, увеличивает устойчивость суспензий на их основе и улучшают фильтрационные характеристики.

**Научный руководитель:** к. т. н., Р.Р. Мингазов

**А.К. ВАХИТОВА**

*Казанский национальный исследовательский технологический университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ ПРОЦЕССА ТЕРМОХИМИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ НЕФТЕЙ**

Основным методом добычи нефти является добыча заводнением, в связи с чем добываемая нефть сильно обводнена. Наиболее эффективным способом обезвоживания таких нефтей на промысловых установках является термохимический метод, заключающийся в дозировании реагентов-деэмульгаторов поток и отстаивании водонефтяной смеси при повышенных температурах. Для каждого месторождения необходимый реагент подбирается эмпирически. Это связано с тем, что механизм деэмульгирования носит гипотетический характер и эффективность того или иного реагента сложно предсказать. Нельзя предположить на количественном уровне, какие факторы, какие механизмы и явления определяют эффективность разрушения водонефтяных эмульсий реагентами-деэмульгаторами. Ясно лишь, что при прогнозировании результатов обезвоживания нефтей стоит оперировать рядом факторов, таких как: содержание в нефти смолисто-асфальтеновых веществ и их строение, плотность и вязкость нефти, поверхностные свойства ПАВ различного рода и прочее.

В процессе работы нами была собрана база данных по деэмульгированию ряда нефтяных эмульсий различными промышленными ПАВ ионогенного и неионогенного типов. Для создания математической модели по оценке и расчету процесса обезвоживания были изучены важные физико-химические характеристики нефтей и реагентов-деэмульгаторов. Среди параметров, влияющих на деэмульгирование, в качестве ключевого было выбрано поверхностное натяжение, создающееся молекулами реагента на межфазной границе «нефть – вода». Но, поскольку, его оценка затруднительна в системе этих двух фаз, в противовес классическому измерению в «воде-толуоле» было предложено простой стагамометрический анализ на границе фаз «светлые фракции - вода», который позволил при малых концентрациях реагента дать результаты, наиболее сопоставимые с данными по разрушению нефтяных эмульсий.

**Научный руководитель:** доцент, к.т.н., Елпидинский А.А.

**А.А. ВЕРХОВЫХ**

*Казанский национальный исследовательский технологический университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ И ПЕРЕКАЧКИ НЕФТИ**

Оборудование, отвечающее за транспортировку нефти, находится под наибольшей нагрузкой на этапе движения пластовой жидкости от скважины до установок подготовки нефти (УПН). Именно на этом этапе перекачиваются высокообводненные нефтяные эмульсии с повышенной вязкостью. Также вязкость

увеличивается, если нефть имеет высокое содержание структурообразующих компонентов - асфальтенов, смол и парафинов. Указанная проблема усугубляется в холодное время года: подвижность перекачиваемой среды резко снижается, что, соответственно, увеличивает объем необходимых энергозатрат. Термохимическое обезвоживание нефтей, реализуемое на дожимной насосной станции и УПН, не только частично решает задачу облегчения перекачки водонефтяных систем, но и обеспечивает достижение качества нефти.

Практически на каждом этапе перекачки и подготовки нефти – и особенно при обезвоживании – используются реагенты различного функционального назначения. Эти реагенты эффективны, но достаточно дороги и требуют как постоянной доставки на объекты нефтяной промышленности, так и блочной установки для дозирования. Идеей, альтернативной применению реагентов, является предложение о внедрении в промысловые процессы – от добычи до подготовки - широкого спектра волновых излучений. В предлагаемой работе рассмотрены и изучены различные физические методы воздействий на водонефтяные системы в контексте перекачки, обезвоживания и обессоливания. Оценено влияние ультразвука и метода «холодного» стержня на реологию нефтей и эмульсий; осуществлено комплексное воздействие микроволн и магнитного поля на термохимическое деэмульгирование; отслежено и обосновано специфическое влияние магнитов на процесс обессоливания нефти. В результате, выработан комплекс рекомендаций и ограничений, который позволит выработать системный подход к использованию волновых методов в нефтепромысловых процессах подготовки и перекачки нефти, с учетом достоинств и недостатков каждого.

**Научный руководитель:** доцент, к.т.н., Елпидинский А.А.

**З.Р. ЗАКИРОВА, И.А. ИВАНОВА**

*Казанский национальный исследовательский технологический университет*

## **ПРОВЕДЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА БИТУМИНОЗНОЙ НЕФТИ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ СОЕДИНЕНИЙ**

Значительная часть нефтяного сырья приходится на высоковязкотяжелые битуминозные нефти. Изучение свойств нефти представляется актуальной задачей при выборе метода разработки и комплексного освоения сверхтяжелого битуминозного нефтяного сырья. Целью работы является изучение изменения в составе и геохимических характеристиках тяжелой битуминозной нефти в условиях протекания гидротермальных процессов. Для исследования была выбрана тяжелая нефть промышленного назначения Ашальчинского месторождения из пермских отложений Республики Татарстан. Для модельных экспериментов были выбраны соединения, входящие в состав породообразующих минералов карбонатных коллекторов: кальцит, доломит,  $MnO_2$ , коалин. В состав модельной смеси входила тяжелая нефть, вода и минеральные добавки. Работы по геотермальному преобразованию проводились в автоклаве при температурах от 250 до 300С и давлениях от 10 до 20 атм. В результате исследования были сделаны следующие выводы. Термокаталитическая конверсия тяжелой нефти сопровождалась изменением компонентного состава преобразованных нефтей. В результате элементного анализа во всех опытах произошло снижение содержания серы. Образцы с использованием только кальцита и доломита оказались наиболее термически устойчивыми. В результате хроматографического анализа во всех экспериментах наблюдалось возрастание парафино-нафтенового фона. Кроме этого нефть имеет биомаркерные признаки участия морского органического вещества водорослевого типа в формировании залежей нефти, о чем говорят рассчитанные геохимические показатели. В результате рентгеноструктурного анализа наблюдался рост зерен, что свидетельствовало о протекании процессов хемосорбции. Кроме этого, было отмечено то, что параметры решеток породообразующих соединений изменялись незначительно. Это говорит о том, что использованные соединения можно отнести к добавкам, проявляющие каталитические функции.

**Научный руководитель:** к. т. н., доцент кафедры «ХТПНГ» С.М. Петров

**З.Р. ЗАКИРОВА**

*Казанский национальный исследовательский технологический университет*

## **ОЦЕНКА ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ В ПЕРИОД КРУПНОМАСШТАБНОГО ИНВЕСТИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ ОАО «ТАИФ-НК»)**

Нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая промышленность является основной отраслью Республики Татарстан (РТ), которая влияет на макроэкономический рост и благосостояние населения всей страны. Группа компаний «ТАИФ» сразу после ввода и освоения проектной мощности в 2006 – 2007 годах, приступила к разработке и поиску путей и планов для превращения остаточного топочного мазута и гудрона в светлые нефтепродукты. В начале 2010 года, специалисты Группы компаний «ТАИФ» нашли новое уникальное предложение от компании «KelloggBrownandRoot» (США), которая предлагала новую, но уже лицензированную технологию «VebaCombiCracking», способную переработать весь имеющийся гудрон в нефть, керосин и дизель на 95%. Это был уникальный и оригинальный гидрокрекинг, полностью отвечающий целям Группы компаний «ТАИФ», включающий в себя 4 последовательных реактора гидрокрекинга. Реализация такого инвестиционного проекта безусловно отражается на финансовом состоянии предприятия. Поэтому немалый интерес представляет изучение изменений финансового состояния в динамике. На основании анализа отчетных данных и материалов, представленных ОАО «ТАИФ-НК», был сделан вывод о том, что в период крупномасштабных инвестиционных проектов финансовое состояние предприятия ухудшается, о чем свидетельствует анализ показателей, характеризующих финансовое состояние предприятия. Ухудшение показателей происходит в связи с увеличением кредиторской задолженности. Однако, оценка экономической эффективности рассматриваемого проекта показывает то, что в случае его реализации согласно установленным срокам, погашение кредиторской задолженности полностью возможно за 2 года. Таким образом, несмотря на то, что реализация таких крупномасштабных проектов как «VebaCombiCracking» временно ухудшает финансовое состояние предприятия, но оно может быстро улучшаться при условии достижения быстрой окупаемости проекта.

**Научный руководитель:** доцент кафедры «Экономики» Н.В.Лыжина

**Р.К. ИБРАГИМОВ, И.А. ИВАНОВА, Д.А.ИБРАГИМОВА**

*Казанский национальный исследовательский технологический университет*

## **КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ, ВЫПАВШИХ В НЕФТЕПРОВОДЕ.**

Основной проблемой при добыче и транспортировке парафинистых нефтей является отложение парафиновых углеводородов со смолами и асфальтенами в нефтедобывающем оборудовании. Это сложная смесь высокомолекулярных соединений трудно поддается удалению. Качественный анализ таких отложений позволит расширить фундаментальные представления о высокомолекулярной части нефти, которая остается неучтенной вследствие ее потери из-за выпадения в нефтедобывающем оборудовании или в призабойной зоне пласта.

Химический состав парафиновых отложений зависит от состава и свойств добываемой нефти и пластовой воды, состояния призабойной зоны пласта и в основном представляет собой: 40-60% мас. твердого и микрокристаллического парафиновых углеводородов, 10-60% смол и асфальтенов, 5-15% воды и механических примесей. Количество и качественный состав парафинов

В качестве объектов исследования отобраны парафинистые нефти и выпавшие из них парафиновые отложения. Проведены опыты по исследованию группового углеводородного состава этих образцов и их термической деструкции с гравиметрическим анализом. Проведен анализ дериватографических кривых образцов с определением их температуры плавления.

Из образцов выделены смолы и асфальтены по методике, основанной на различной растворимости компонентов нефти в углеводородных растворителях и на их различной сорбционной способности. Из масляной фракции образцов были выделены твердые парафины, которые подверглись термическому анализу с целью определения их температуры плавления и косвенной характеристики их качественного состава. Характерный пик на кривой дифференциального термического анализа, приписываемый плавлению твердых парафинов образцов свидетельствует и присутствию в них достаточно однородных по молекулярной массе.

По температуре плавления можно косвенно судить о качественном составе парафиновых углеводородов, составляющих основную массу парафинов.

**Научный руководитель:** д. х. н., профессор кафедры «ХТПНГ» Ю.М. Ганеева

**И.А. ИВАНОВА, А.В. ПАВЛОВ, З.Р. ЗАКИРОВА, Г.Р. ВАЛИЕВА**

*Казанский национальный исследовательский технологический университет*

## **ПОДБОР КИСЛОТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ**

Рост доли трудноизвлекаемых запасов в общем балансе сырьевой базы нефтяной отрасли ставит задачу совершенствования подхода к их освоению в разряд приоритетных. Терригенные коллекторы занимают 1-е место по разработке, ввиду своих петро-физических свойств, что объясняет высокую степень их изученности. Карбонатные же коллекторы нефти и газа по всем геолого-физическим показателям уступают терригенным. Многообразная природная неоднородность строения карбонатных продуктивных пластов сильно ограничивает возможность применения традиционных методов воздействия на пласт. Вопросы разработки таких месторождений сложны и недостаточно изучены, притом, что карбонатные коллекторы представляют собой широкий и разнообразный тип нефтеносных пластов, содержащих значительную долю (30 - 50 %) общих известных запасов нефти. Нефтенасыщенность карбонатных коллекторов выше, чем терригенных, и составляет 74 - 82 %, что также увеличивает интерес к их освоению.

Карбонатные коллекторы, в отличие от терригенных, обладают способностью к существенному улучшению фильтрационных и емкостных свойств при искусственном воздействии растворами соляной кислоты 5 - 6 % - ной концентрации. Вместе с тем соляная кислота без добавок используется сравнительно редко, а на практике применяют композиции кислотных растворов со специальными присадками, предупреждающими образование сгустков и слэжджей, которые в свою очередь усложняют процесс добычи. В данной работе представлен ряд опытов по подбору кислотных композиций для обработки карбонатного пласта в целях увеличения степени его нефтеотдачи, а также облегчающих извлечение нефти нефтедобывающим оборудованием.

**Научный руководитель:** к.х.н., доцент Д.А. Ибрагимова

**Е.В. ХАРИТОНОВ, Г.И. ДУСМЕТОВА, Д.УВЕЗЕИМАНА, ESTHERTOLUWANIYIN**  
*Казанский национальный исследовательский технологический университет*

## **РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЕ ВЯЗКОСТНО-ПРОТИВОТУРБУЛЕНТНОЙ ПРИСАДКИ ДЛЯ НЕФТЯНЫХ СРЕД**

Структура мировых запасов углеводородов последних лет наглядно показывает, что рост запасов вязких и высоковязких нефтей в земной коре приведет к их полному доминированию на мировом рынке энергоресурсов. В настоящий момент их использование все еще экономически невыгодно, однако с каждым годом поиски путей решения удешевления процессов их добычи и транспорта являются все более актуальными. Только на территории Республики Татарстан, по геологической оценке, залежи сверхвязкой нефти варьируется от 1,5 до 7 млрд. тонн. Среднегодовая добыча ПАО «Татнефть» сверхвязкой нефти на 2015-2016 года превысила 200 тыс. тонн/год.

Наиболее перспективными методами транспортировки таких нефтей, является использование специальных добавок – депрессорных и противотурбулентных присадок. Их действие нацелено на снижение вязкости, напряжения сдвига и гидродинамического сопротивления в процессе перекачки в трубопроводной системе, однако основными недостатками таких присадок являются их однонаправленное действие и малая устойчивость к механическим деструкциям, вследствие больших размеров полимеров – основной компонент присадок.

Исходя из этих требований, идет исследовательская деятельность направления на получение состав на получение универсальной присадки для транспортировки нефти и нефтепродуктов, которая сочетает в себе как «вязкостные», так и «противотурбулентные» свойства.

Получена комплексная присадка, включающая в свой состав низкомолекулярный полимер, ПАВ и наноразмерную добавку, где последнее позволяет образовывать новую структуру путем физических связей. Эта способность позволяет сохранять большую живучесть полимерному составу в трубопроводной системе, где основными разрушающими силами являются насосные станции и турбулентное течение. По результатам лабораторных исследований присадка проявляет большой эффект снижения вязкости в ламинарном режиме течения углеводородной системы, тогда как в турбулентном режиме – снижение коэффициента гидродинамического сопротивления.

**Научный руководитель:** д.т.н., профессор Шарифуллин А.В.

**А.Р. АЮПОВ, С.Р. ГИЛЬМУТДИНОВ**  
*Казанский (Приволжский) федеральный университет*

## ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПОТОКА В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ СТВОЛЕ СКВАЖИНЫ

Разработка нефтяных, газовых и битумных месторождений все больше отходит от вертикального бурения скважин. Растет число наклонно направленных и горизонтальных скважин. В связи с этим, в научном мире возрос интерес к изучению структуры и гидродинамики потока в горизонтальных участках скважин.



Основное затруднение, возникающее при проведении геофизических работ и интерпретации данных каротажа, связано с отсутствием однозначного представления о структуре многофазного потока, так как динамика течения флюидов в горизонтальных скважинах существенно отличается от динамики потоков в вертикальных скважинах. Для проведения экспериментов был спроектирован и сконструирован стенд горизонтального участка скважины с интервалом перфорации.

В данной работе представлены результаты опыта проведенного на стенде горизонтального ствола скважины сконструированного в целях визуализации и изучения многообразия процессов, происходящих в горизонтальных скважинах. В «скважину», заполненную жидкостью, внедрялся флюид с изменённой температурой. Рассматривались случаи поступления в ствол «скважины» холодного и горячего потоков. В обоих случаях разница температур между жидкостью в стволе и внедряемым флюидом составила 10°C. В результате было установлено, что непосредственно напротив интервала перфорации и на некотором удалении от него происходит смешивание фаз с образованием турбулентного потока, который в последствии переходит в ламинарный. При этом переходе фиксируется эффект термогравиационного расслоения флюида.

Научный руководитель - ассистент Ячменёва Е.А.

**Р.Р. ГАРИПОВ**

*Казанский (Приволжский) федеральный университет*

## АНАЛИЗ ХАРАКТЕРНЫХ КРИВЫХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ С ЦЕЛЮ ВЫРАБОТКИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ МЕТОДИКИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ

Совершенствование методов интерпретации данных гидродинамических исследований скважин (ГДИС) крайне актуальная задача. Как известно, данные, получаемые в результате анализа данных ГДИС, является важной информацией, характеризующей текущее энергетическое состояние залежи при разработке нефтегазовых месторождений. Неоднократно специалисты сталкиваются с неоднозначностью решения при определении фильтрационно-емкостных параметров пласта. В связи с этим возникает необходимость разработки методик и подходов для получения более достоверных параметров призабойной зоны пласта для специализированных случаев.

Целью работы является выработка методики интерпретации характерных кривых давлений, для определения модели пласта и модели течения жидкости по характерному поведению производной Бурде. В статье рассматриваются кривые восстановления давления (КВД), полученные в процессе многовариантных расчетов.

Для решения поставленных задач использовался гидродинамический симулятор tNavigator от компании RFD. Для исследования были выбраны и рассчитаны следующие варианты с различными вариациями проницаемости и скин-фактора, а также с различным количеством скважин (одна добывающая скважина; одна добывающая и одна нагнетательная скважины; одна добывающая и четыре нагнетательные скважины; влияние границ на одну добывающую), при этом различные вариации пласта: 1) модель однородного пласта; 2) модель двойной пористости.

По результатам тестирования прямых задач были получены наборы кривых, Исследование вида кривых изменения давления и сопоставление с исходными данными прямой задачи (начальные параметры пласта, задаваемые в гидродинамической модели в симуляторе) дает возможность выявить о типичное поведение кривых для конкретного набора параметров.

Научный руководитель: аспирант А.И. Шангараева

Рис. 1. Стенд горизонтального участка скважины с интервалом перфорации

## МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЯ ПЬЕЗО- И ГИДРОПРОВОДНОСТИ КАК ИНСТРУМЕНТ ВЫЯВЛЕНИЯ ОСЛОЖНЕНИЙ РАЗРАБОТКИ

На сегодняшний день гидродинамические исследования скважин (ГДИС) – одно из наиболее эффективных направлений промыслово-геофизического контроля разработки нефтяных и газовых скважин. Методами ГДИС решается множество задач на различных этапах разработки месторождений. С помощью интерпретации данных ГДИС получают информацию непосредственно о системе скважина-пласт. Для понимания динамики параметров системы скважина – пласт с целью эффективного решения задач управления разработкой требуется проведение большого объема ГДИС, что связано с потерями в добычи из-за остановок скважин. В связи с чем становится актуальным проведение нестандартных методов гидродинамического исследования, таких как фильтрационные волны давления.

Целью работы является выработка методики определений осложнений разработки нефтяных и газовых месторождений проведением исследований фильтрационных волн давления и гидродинамических исследований и их дальнейшей интерпретацией

Для решения поставленных задач использовался гидродинамический симулятор tNavigator от компании RFD. Для исследования были выбраны и рассчитаны следующие варианты с различными вариациями осложнения на добывающей и нагнетательной скважине с образованием заколонного перетока (ЗКЦ), отключений пластов из разработки в нагнетательных и добывающих скважинах, уход закачиваемой воды по разлому. Все расчеты проводились на синтетической модели с реальными параметрами флюидов и коллекторов.

По результатам тестирования был получен ряд закономерностей увеличения или уменьшения пьезо- и гидропроводности в зависимости от осложнения. При постоянном мониторинге месторождения и проведении гидродинамических исследований с получением значений пьезо- и гидропроводности возможно выявление осложнений, возникающих при разработке нефтяных и газовых месторождений.

**Научный руководитель:** д.г.-м.н. Шакиров Альберт Наилевич.

**И.И. ИДРИСОВ**

*Казанский (Приволжский) Федеральный Университет*

## ИЗУЧЕНИЕ ПУСТОТНОГО ПРОСТРАНСТВА МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОВСКОЙ МИКРОТОМОГРАФИИ И ЯМР-КЕРН

Одна из важнейших задач при изучении зерна скважин состоит в определении пористости и морфологии порового пространства различного генезиса для прогноза фильтрационно-емкостных свойств соответствующих отложений. Стояла задача, провести исследование образцов зерна на аппаратуре ЯМР-Керн, системе промышленной рентгеновской микротомографии и традиционные методы исследования. Цель исследования - сравнить полученные значения.

Преимуществом рентгеновской компьютерной томографии является определение общей пористости с высокой точностью, получение формы порового пространства в объеме, оценка формы, размера и распределения пор. Для проведения сканирования были подготовлены образцы пород кубической формы, размером 5\*5мм. ЯМР-Керн использовался для исследования полноразмерного зерна. Именно данные по исследованию трансляционной подвижности молекул жидкости (подвижного флюида) в зависимости от временных параметров импульсной последовательности способны дать корректную информацию о размерах пор и проницаемости.

Было отобрано 10 образцов зерна размером около 10 см, из 5 скважин битумного месторождения Республики Татарстана. Образцы зерна исследовались на аппаратуре ЯМР-Керн, системе промышленной рентгеновской микротомографии и традиционные методы исследования. Результатом работы является полученные значения пористости, различными методами. В результате проведенного сравнения можно сделать вывод, что каждый из этих методов позволяет получить дополнительную информацию о пористости. Для корректного определения фильтрационно-емкостных свойств по образцам зерна целесообразно использовать комплекс методов. Более того, томографический и ЯМР метод позволяет, оценить неоднородность пористости и морфологии порового пространства внутри образца не разрушая его и дополнить наше представление о пористости, полученное при традиционных исследованиях. Такая неоднородность пористости является важной информацией при построении геолого-гидродинамических моделей.

**И.Р. МИНГАЗОВ**

*Казанский (Приволжский) федеральный университет*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА IRAPRMS 2013 ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭРОЗИОННЫХ ВРЕЗОВ**

Основной целью работы является уточнение запасов нефти бобриковского горизонта, осложненного зоной развития визейского вреза и построение геологической модели сподсчетом запасов.

В данной работе рассматривается Западно-Салейкинское поднятие Салейкинское месторождения. В тектоническом плане Салейкинское месторождение приурочено к западному склону Южно-Татарского свода. Территория участка месторождения изучена комплексом региональных и детальных геолого-геофизических исследований. Промышленная нефтеносность приурочена к отложениям верейского горизонта среднего карбона, бобриковского горизонта (пласты Б1, Б2, Б3) и турнейского яруса нижнего карбона.

Последний подсчет запасов нефти бобриковской залежи был проведен в 2012 г., после чего были проведены сейсморазведочные работы и пробурено девять скважин, уточнивших геологическое строение, в частности, был выделен контур развития визейского вреза. В связи с чем возникла необходимость пересмотра постоянно действующей геологической модели. Карты эффективных нефтенасыщенных толщин в зоне развития вреза строились с учетом данных по скважинам, только входящим в эту зону.

При построении структурной модели и «врезовой» зоны использовался инструмент Интегрированного структурного моделирования. В первую очередь была построена опорная модель пласта Б1, от которой в дальнейшем конформно были отстроены нижележащие пласты. Для пласта Б2 и Б3 карты толщин ограничивались выделенной по данным результатам сейсморазведочных работ границей вреза, общая толщина пласта на которой была задана значением равным 0. Была построена 3Д модель с последующим подсчетом запасов.

Учитывая характер расположения «врезовой» зоны с использованием геологического моделирования были подсчитаны запасы нефти для пластов бобриковского горизонта, что в результате привело к увеличению начальных геологических запасов на 16,2%.

Научный руководитель: к.г.-м.н. Лукьянова Р.Г.

**Д.С. НИКОЛАЕВ**

*Казанский (Приволжский) федеральный университет*

## **ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ОСНОВНОЙ ПРОДУКТИВНОЙ ТОЛЩИ НА ЗАЛЕЖАХ СВЕРХВЯЗКОЙ НЕФТИ В ТАТАРСТАНЕ**

Разведанные залежи сверхвязкой нефти в Татарстане преимущественно приурочены к песчаникам уфимского яруса. Несмотря на значительную изученность отложений продуктивной пачки, вопрос о присутствии в них неоднородностей значительного простирания весьма актуален, в особенности – для уточнения цифровых моделей месторождений, что является целью данной работы. Присутствие неоднородностей может оказывать значительное влияние на процесс разработки.

Объектом исследования в данной работе является Нижне-Кармальское месторождение. По данным ГИС продуктивная толща достаточно однородна, однако с целью уточнения геологического строения залежи и дальнейшего построения геологической модели был проведен анализ макроописаний керн из вертикальных оценочных скважин. После этого на 147 нк скважине был обнаружен участок плотного песчаника, без нефтенасыщения. Далее с целью уточнить характер распространения выделенного пропластка во всем разрезе необходимо было найти критерии для выделения данного участка и на других скважинах.

Было решено определить распространение искомого пропластка по анализу макроописания керн скважин – по 16 скважинам были определены его кровля и подошва. После этого была построена поверхность пропластка и проведена палеорекострукция толщи песчаной пачки. Образцы из пропластка были изучены с помощью рентгенографического фазового метода с целью определения минерального состава.

В результате работы выяснилось, что пропласток характеризуется доломитовым цементом и может служить флюидоупором, что обязательно должно быть учтено при построении геолого-гидродинамической модели залежи, а с целью более точного выделения данного пропластка на всей территории залежи может быть рекомендовано проведение ГИС микрозондами.

**М.Ф. САЛАХОВА, Л.А. ЗИНУРОВ**  
*Казанский (Приволжский) федеральный университет*

## **УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТУЛЬСКО-БОБРИКОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАЛЕЖИ РОМАШКИНСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ПОСЛЕДУЮЩАЯ ИХ ДОРАЗВЕДКА**

Истощение запасов основных разрабатываемых пластов управлением ПАО «Татнефть», характерное для последней стадии разработки приводит к рассмотрению тупиковых зон, линз, изолированных поднятий. Поэтому цель работы - выявление условий формирования локальных залежей в терригенных коллекторах тульско-бобриковских отложений и последующая их доразведка. Задачи: доизучить тульско-бобриковских отложений в пределах северной части Залежи №31; предложить участки для проведения сейсморазведочных работ для разведочного бурения с целью прироста запасов.

Для понимания условий формирования резервуаров отложений на данной территории, приуроченной к Южно-Татарскому своду, были реконструированы палеотектонические и седиментационные условия, изучение которых направлено на доразведку тульско-бобриковских отложений в пределах северной и северо-западной части залежи №31.

На одной из скважин были проведены сейсмические исследования методом непродольного вертикального сейсмопрофилеирования, что позволило выявить распространение коллектора в восточном направлении. По результатам проделанных работ предложено бурение разведочной скважины №5 в восточном направлении. Результаты дальнейшей оцифровки и переинтерпретации геофизического материала позволили выявить еще 2 перспективных участка, находящихся в северо-западной части залежи №31.

Основной вывод на данном этапе работы: формирование залежей тульско-бобриковского возраста в северной части залежи № 31 связано с Камско-Кинельской системой прогибов и благоприятными геологическими условиями на пути миграции углеводородов: наличием поднятий, сложенных коллекторами. Предлагаются дальнейшие ГТМ: бурение разведочной скважины №6, зарезка БГС из скважины № 5, при положительных результатах произвести дополнительные ГТМ по зарезкам, опробовании пласта на скважине №2, по окончании работ - подсчет запасов.

Научный руководитель: к.г.-м.н., доцент В.М. Смелков

**Д.А. АСАНОВ**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»*

## **ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАЗРАБОТКИ САФЬЯНОВСКОГО МЕДНОКОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ИНЪЕКЦИОННЫМ УПРОЧНЕНИЕМ ЗАКЛАДОЧНОГО МАССИВА**

Высокие затраты на закладочные работы являются существенным недостатком применения камерных систем разработки. В связи с этим работа посвящена конструированию нового варианта системы разработки, заключающегося в инъекционном упрочнении стенок закладочного массива, позволяющего существенно снизить себестоимость закладочных работ.

Согласно предлагаемому варианту системы разработки принимается восходящий порядок отработки запасов. Очистные камеры располагаются вкрест простирания рудного тела. Развитие фронта горных работ в пределах подэтажа – от центра к флангам. Первоначально обрабатывается центральная камера, имеющая форму трапеции, с углом наклона стенок 80-85° (стремится к углу естественного откоса, что повышает устойчивость закладочного массива). Далее выработанное пространство камеры заполняется пустой породой. Подача цементного раствора производится по скважинам из выработок вышележащего подэтажа. Количество скважин рассчитывается исходя из радиуса проникновения раствора в породу. Оработка соседних камер производится в сплошном порядке на оба фланга подэтажа сразу после формирования закладочного массива предшествующих камер. Отбойка запасов ведется в зажимающей среде, обеспечивая тем самым уплотнение не потерявшего подвижность закладочного массива соседней камеры.



Принятый порядок ведения очистных и закладочных работ обеспечит дополнительную устойчивость вертикального обнажения искусственного массива за счет наклона стенок камеры и дополнительного уплотнения взрывом при минимальном объеме твердеющей смеси (20 % от объема).

Технико-экономическая оценка предлагаемой технологии показывает существенное снижение себестоимости очистных работ на 12 %.

**Научный руководитель:** к.т.н., доц. каф. разработки месторождений полезных ископаемых А.М. Мажитов

**Л.Н. БОРТНОВСКАЯ**

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова*

## **АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МАРКШЕЙДЕРСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА СОСТОЯНИЕМ АВТОДОРОЖНОГО ТОННЕЛЯ Г. УФА**

В работе на примере автодорожного тоннеля г. Уфа проанализированы результаты маркшейдерских наблюдений за состоянием внутренней обделки тоннеля и земной поверхности по оси тоннеля. Выделены основные причины деформирования и предложены мероприятия по сохранности объекта.

Уфимский автодорожный тоннель является частью проекта «Мостовой переход через р. Уфа». Общая проектная длина тоннеля – 1249м, ширина проезжей части одного тоннеля - 8,5 м, высота тоннеля (габарит) – 5 м. Сооружение тоннеля горным способом ведется под опережающим защитным сводом, который создается рядом скважин с установкой в них перфорированных труб, заполненных цементно-песчаной смесью. По мере разработки породы устанавливается временное крепление. Возведение постоянной обделки производится из армометаллоблоков с заполнением бетоном.

Геологические условия сложные: массив относится к категории грунтов со слабыми структурными связями и обладает низкими прочностными характеристиками, приводящими к развитию карстово-суффозионных процессов.

Для наблюдения за состоянием массива разработана программа геотехнического мониторинга, предусматривающая заложение на земной поверхности по оси тоннеля и в самом тоннеле реперов. Наблюдения производятся техническим нивелированием грунтовых реперов нивелиром SOKKIA C-410 от реперов высотной основы II класса. По данным наблюдений, подвижки временного крепления незначительные и составляют не более 10 мм.

В качестве мероприятий рекомендуется усиление бортов штольни дополнительным креплением и возведением средней опоры с постоянным креплением, а также дальнейшее производство маркшейдерских наблюдений.

Научный руководитель: к.т.н. Е.А. Романько

**И.С. ГОРДЕЕВА**

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова*

## **АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЦЕССА СУХОГО ТУШЕНИЯ КОКСА В ПРЕДЕЛАХ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Мировое производство кокса на сегодняшний день составляет около 986 млн. т. в год.

В коксохимическом действующем производстве при охлаждении 1 тонны кокса от 1200 °С до 200 °С выделяется около 54,2 кг.у.т.

Физическая теплота раскаленного кокса является ценным вторичным энергетическим ресурсом, использование которого ведется нерационально.

На основе этого проведен термодинамический анализ действующего процесса сухого тушения кокса и определено, что при охлаждении кокса с 1200 до 200 °С возможно выработать 0,435 тонн пара параметров 4 МПа, 350 °С.

Поставлена задача - повышение эффективности использования отводимой теплоты в процессе сухого тушения кокса. Достичь ее возможно при минимизации разности температур между греющим и нагреваемыми потоками веществ. Это, в свою очередь, приводит к высвобождению новой высокотемпературной области, в которой возможно обрабатывать материалы. В качестве такого материала возможно использовать, например, известняк, так как его температурный уровень позволяет полностью произвести нагрев и декарбонизацию.

Это ведет к построению новой схемы процесса сухого тушения кокса. При использовании данной схемы возможно выработать 0,11 тонн пара, параметров 4 МПа, 350 °С, получить обожженную известь в количестве 105 кг или 23,31 кг.у.т. с одной тонны потушенного кокса, а также ценный источник газ - монооксид углерода, в количестве 84,224 м<sup>3</sup> с одной тонны потушенного кокса, с низшей теплотой сгорания 12,6 МДж/м<sup>3</sup>.

Данный газ возможно использовать в различных направлениях. Одним из возможных вариантов является подмешивание монооксида углерода к коксовому или доменному газу, что приводит к изменению топливной характеристики газовой смеси.

Научный руководитель: д.т.н., профессор С.В. Картавец

**З.Р.ДАУТБАЕВ**

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова*

## **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВАРИАНТА РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ И НАПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ НА СЕВЕРО- КРУТОРОЖИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ГАББРО-ДИАБАЗОВ И ДИАБАЗОВ**

В работе предлагается обоснование и экономическая оценка возможных вариантов вскрытия Северо-Круторожинского участка месторождения и развития горных работ. В ходе исследований были рассмотрены 3 базовые варианта вскрытия участка: в северной части с рабочих площадок существующего карьера (вариант 1); с южной части с соответствующих отметок поверхности (вариант 2) и с северо-восточной части с наивысших отметок поверхности (вариант 3). Также были проведены исследования по выбору места расположения нового отвала вскрышных пород и определение его параметров. При оценке вариантов вскрытия и развития горных работ на Северо-Круторожинском участке были сохранены принятые при разработке Круторожинского месторождения отметки подошвы уступов, параметры системы разработки, режим работы предприятия. Данные варианты отличаются значениями текущего коэффициента вскрыши и расстояниями транспортирования полезного ископаемого и вскрышных пород. Для каждого из принятых вариантов вскрытия были проанализированы по 3 варианта развития горных работ. Для каждого из вариантов и подвариантов были подсчитаны технико-экономические показатели. В результате выполненных исследований был рекомендован к реализации вариант с наилучшими технико-экономическими показателями. Выяснили что в условиях Северо-Круторожинского участка наиболее предпочтительным является вариант 2, который из всех рассмотренных характеризуется наибольшим текущим коэффициентом вскрыши, но при этом обеспечивается минимальное расстояние транспортирования вскрышных пород.

Научный руководитель: к.т.н., доцент К.В. Бурмистров, к.т.н., доцент В.Ю.Заляднов

**Е.А. ИГУМЕНШЕВА**

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ НЕТРАДИЦИОННОГО ТОПЛИВА**

Изучены отходы флотации ООО «ММК-Уголь» с целью возможности их использования в качестве нетрадиционного сырья в установках для сжигания высокосольных углей. На основе технического анализа и теплотехнических расчетов обоснована возможность использования отходов флотации в смеси с рядовым углем в качестве сырья в топках низкотемпературного кипящего слоя (НТКС). Использование отходов в качестве топлива в топке НТКС в чистом виде нецелесообразно из-за высокой влажности и зольности. Поэтому были составлены смеси различных составов: 90% отходы + 10% уголь «Г»; 50% отходы + 50% уголь «Г»; 30% отходы + 70% уголь «Г»; 10% отходы + 90% уголь «Г». Анализы показали, что оптимальной по низшей теплоте сгорания рабочего топлива и расходу сжигаемой смеси является смесь состава: 10% отходов и 90% рядового угля марки «Г». Использование данной смеси в топке НТКС позволит осуществить сушку угольного концентрата с производительностью 164 т/ч, снизить эксплуатационные затраты на содержание отстойников, а также сократить нерациональное отчуждение земельных ресурсов и при эффективной системе очистки дымовых выбросов обеспечить снижение загрязнений окружающей среды.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Н.Ю.Свечникова

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ МЕДНЫХ РУД**

Минерально-сырьевой комплекс (МСК) включает совокупность отраслей по разведке, добыче, транспортировке и переработке твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых.

Технологические процессы добычи и переработки руд цветных металлов на предприятиях горной промышленности весьма энергоемки, при этом энергетическая составляющая может составлять 10-40% и более от общего объема затрат.

Одной из таких предприятий является ООО «Башмедь» - крупное промышленное предприятие Республики Башкортостан и сырьевого комплекса российской металлургической компании, второй по величине производитель меди в России – ООО «УГМК – Холдинг». Владеет лицензиями на отработку «Юбилейного», «Дергамышского» и группы «Подольских» месторождений с общими запасами около 200 миллионов тонн.

Одним из актуальных вопросов предприятия является снижение себестоимости продукции, что можно достигнуть за счет издержек на оплату электроэнергии.

По расчетам затраты электроэнергии на добычу, дробление, измельчение, обогащение 1 тонны медной руды с содержанием 2,95% Cu составляет 121,846 кВт·ч. Предприятие производит медь в медном концентрате для чего требуется дополнительно затрачивать 4,297 м<sup>3</sup> природного газа на 1 тонну меди.

Одним из решений этой проблемы может служить применение газотурбинной установки для выработки электроэнергии на собственные нужды. Утилизируя отходящие газы, сокращается объем дымовых газов, повышается энергетический потенциал топлива и позволяет его использовать более полно, что ведет к экономическому эффекту. Производя собственную электроэнергию предприятие не будет покупать ее у удаленных источников и экономить на топливе.

Научный руководитель: д.т.н., профессор С.В. Картавец

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ФЛОТАЦИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА ПОЛУСУХИМ МЕТОДОМ**

В результате деятельности обогатительных фабрик образуется большое количество отходов флотации. Утилизация их путём сжигания, скопления в отвалах является экологически и экономически неприемлемой. Поэтому предлагается использование отходов углеобогащения в строительной промышленности в связи с возрастающей потребностью строительного комплекса в новых, эффективных, экономически выгодных строительных материалах с высокими эксплуатационными и физико-механическими показателями.

Основными направлениями использования отходов в строительстве являются:

- производство силикатного кирпича;
- производство цементов;
- производство стеновых керамических изделий;
- производство вяжущих;
- использование в строительных растворах;
- производство бетонов;
- производство аглопорита и др.

В работе были изучены отходы с ленточного фильтр-пресса флотационного отделения ООО «ММК-Уголь» и предложено их использование в строительных целях в качестве отошающей добавки в глиняную шихту для производства керамического кирпича полусухим методом.

Предложенный метод утилизации отходов позволит увеличить резерв топлива, заменить дефицитное строительное сырье дешевым и более доступным.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Н.Ю. Свечникова

## **ПОДСЧЕТ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ НА ТРЕНИЕ В МОДЕЛИ МНОГОСЕГМЕНТНОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ**

В рамках прохождения стажировки в компании с ограниченной ответственностью «RoxarTechnologiesAS» в феврале 2016 года, перед нами была поставлена задача определить степень влияния трения на потери давления в многосегментной скважине, используя программный комплекс для гидродинамического моделирования TempestMORE.

Как известно, чтобы в скважину поступала жидкость из продуктивных пластов должно выполняться следующее условие: пластовое давление должно быть выше забойного давления. Как правило, перепад давления с течением времени сводится на нет в силу разных причин (падение давления из-за веса жидкости, падение давления из-за трения между жидкостью и трубой и т.д.)

В данной работе рассмотрены потери давления на трение при движении флюида по горизонтальному участку. Такие потери поддаются оценке с помощью формул трубной гидравлики и специальных уравнений. Необходимость проверки правильности расчета потерь давления на трение в многосегментной горизонтальной скважине в программном комплексе Tempest MORE 7.1.4 имеет важный характер для правильного анализа работы каждой скважины.

По итогам проделанной работы были сделаны выводы о влиянии различных параметров на потери давления на трение и на разницу между аналитическими расчетами и расчетами, выполненными в Tempest-MORE. Помимо этого встал вопрос о целесообразности применения ключевого слова «WSEG», так как значения потери давления на трение оказались достаточно низкими, а время расчета модели заметно увеличилось. Исходя из этого, стало ясно, что расчет гидравлического трения оправдывает себя при моделировании скважин большой длины и малого радиуса (важнейший параметр), а также при добыче вязких нефтей.

Научный руководитель: доцент, С.Е. Ершов

**А.Ю. БУХАРЕВ**

*Московский Физико-Технический Институт (Государственный Университет)*

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ОБСТАНОВОК ОСАДКОАКОПЛЕНИЯ МЕТОДАМИ ГЛУБИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

Анализ рентабельности освоения и выбор стратегии разработки нефтегазовых месторождений невозможны без построения надёжной гидродинамической модели нефтегазоносного пласта. Эффективность такой модели в свою очередь неразрывно связана с качеством исходной геологической модели.

В связи с истощением фонда низкорасчленённых коллекторов классические способы моделирования геометрии и физических свойств нефтегазоносного пласта (вариограммный метод) становятся неприменимы – нарушаются условия, заложенные в основу метода: стационарность и изотропность моделируемых физических полей.

Альтернативными способами геологического моделирования являются объектная и многоточечная геостатистика, основанные на использовании заданных наборов пространственных структур или тренировочных образов, таких как флювиальные русла, конусы выноса, эоловые дюны и тому подобное. Использование этих методик позволяет избежать вариограммного подхода и учесть пространственную корреляцию моделируемых параметров.

Выбор вышеупомянутых геологических объектов для моделирования требует знания площадного распределения обстановок осадконакопления (фациальных карт). Общий подход к построению таких карт включает в себя анализ кернового материала, детальное изучение сейсмических данных, анализ и интерпретацию скважинных данных, последующую корреляцию полученных результатов. К сожалению, в ряде случаев доступ к керновому материалу затруднён или невозможен, что препятствует обработке скважинных данных и построению фациальных карт.

В целях оптимизации работы геолога в данной работе была предложена и опробована на двух нефтегазовых месторождениях методика автоматической интерпретации скважинных данных (ПС-каротажи) и построения фациальных карт. Дискриминативный классификатор, построенный на основе вейвлет-СНС (свёрточной нейронной сети), был «обучен» на одной части проинтерпретированных геологом ПС-сигналов и протестирован на другой. В результате алгоритм показал наиболее успешный результат среди подобных работ – 90% правильно распознанных обстановок осадконакопления.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Н.С. Исмагилов

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА ТРЕЩИН ГРП В НЕОДНОРОДНОМ ПОЛЕ НАПРЯЖЕНИЙ С УЧЁТОМ ЕСТЕСТВЕННОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ

На данный момент существуют различные подходы к решению задачи определения траектории НФ - трещин ГРП: трёхмерное геомеханическое моделирование позволяет достаточно точно определить траекторию ценой значительных вычислительных затрат; существующие симуляторы ГРП могут работать быстрее, но при их использовании вопросу траектории отводится второстепенное значение. В настоящее время активно изучаются месторождения с трудноизвлекаемыми запасами, которые характеризуются сложными фильтрационно-ёмкостными свойствами и системой НФ - естественных трещин, основным методом разработки таких месторождений является гибридный ГРП. На траекторию НФ существенным образом влияют НФ, с которыми пересекаются НФ. Таким образом, возникает необходимость создания расчётного модуля, позволяющего быстро рассчитать траекторию трещины ГРП с учётом естественной трещиноватости.

В работе решается двумерная задача распространения трещины в неоднородном поле напряжений с учётом естественной трещиноватости: учитывается возмущение напряжения, вызванное самой трещиной, тектоническое напряжение, система разработки, взаимодействие НФ с НФ. В классической постановке вышеуказанной задачи мощность пласта считается бесконечной, введение поправки на конечную мощность пласта приводит к другому результату, данный случай рассматривается в настоящей работе.

При распространении трещины на её траекторию влияет множество параметров, в частности: давление жидкости в трещине, раскрытость предыдущих стадий за счет закрепления на проппант, изменение поля напряжений, вызванное взаимным влиянием трещин, естественная трещиноватость. В работе рассматривается одновременное и последовательное развитие трещин ГРП, взаимодействие трещин при их пересечении, показано влияние закрепленного профиля ширины на траектории последующих стадий ГРП.

Научный руководитель: к.ф.-м.н. А.А.Пустовских

**А.В. КОРНЕЕВ**

*Московский Физико-Технический Институт (Государственный Университет)*

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФУНКЦИИ ГРИНА И АЛГОРИТМА ЭВАЛЬДА ДЛЯ РАСЧЁТА ПРИТОКА ЖИДКОСТИ К СКВАЖИНАМ

Фильтрация упругой жидкости к скважинам в пористой среде описывается уравнением пьезопроводности, относящееся к классу параболических уравнений математической физики. Для решения таких уравнений широко используется метод функций Грина, в рамках которого решение представляется в виде ряда по собственным функциям соответствующего линейного оператора:

$$p(\vec{r}) = \int d\vec{r}' \frac{\psi_n(\vec{r})\psi_n(\vec{r}')}{\lambda_n} q(\vec{r}'), \quad (1)$$

где  $q(\vec{r})$  - функция дебита скважины.

С учётом формулы суммирования Пуассона выражение (1) может быть записано в виде

$$p(\vec{r}) = \int d\vec{r}' \sum_n \int_0^\infty d\eta \psi_n(\vec{r})\psi_n(\vec{r}') e^{-\lambda_n \eta} q(\vec{r}'). \quad (2)$$

Однако в ряде практически важных случаев скорость сходимости таких рядов мала, что приводит к необходимости учёта большого числа членов разложения и значительному увеличению времени расчёта, что делает нецелесообразным использование метода функций Грина для решения задач, где важна скорость решения уравнений фильтрации. Для решения проблемы сходимости таких рядов был применён метод суммирования Эвальда, который получил широкое применение при решении прикладных задач. В настоящей работе метод функций Грина и алгоритм Эвальда применяются для расчёта нестационарного притока однофазной жидкости к нефтяным скважинам. Рассмотрены случаи вертикальной, горизонтальной и наклонной скважин. Также были рассчитаны коэффициенты продуктивности скважин для каждого из случаев.

Научный руководитель: к.т.н. Посвянский Дмитрий Владимирович

## **ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ МОДУЛЯ ЮНГА НА РОСТ ТРЕЩИНЫ ГРП.**

На практике свойства пород неоднородно распределены по пространству. При этом геометрия трещины ГРП чувствительна к множеству параметров, в том числе к распределению упругих модулей и напряжений. В процессе поиска оптимального типа заканчивания скважины информация о геометрии трещины ГРП является определяющим фактором при принятии решения. Изложенное исследование будет интересно разработчикам месторождений. В данной работе рассматривается трещина ГРП в пласте, который однороден по упругим свойствам, за исключением пропластка, значение модуля Юнга в котором выше такового в среде.

Моделирование роста трещины ГРП проводилось с помощью модели, относящейся к семейству Planar3D. Критерием продвижения фронта трещины принято превышение коэффициентом интенсивности напряжений трещиностойкости среды.

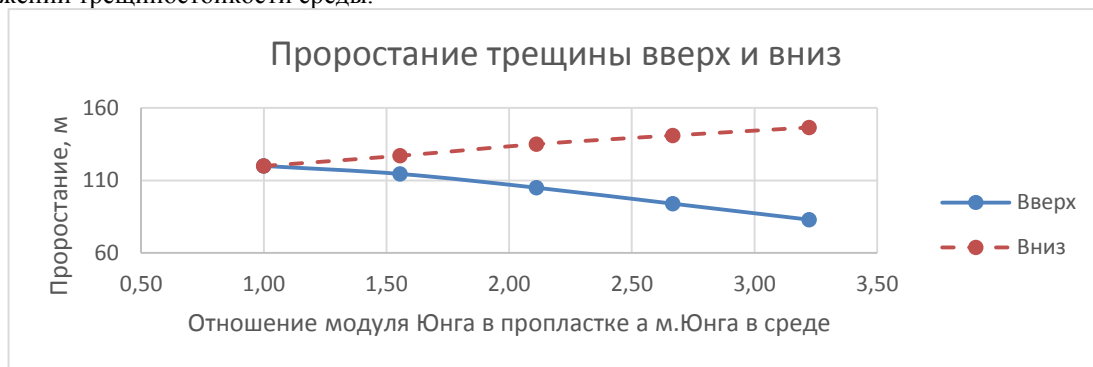


Рисунок 1, результаты моделирования

Как видно на рисунке 1, наличие неоднородности модуля Юнга оказывает заметное влияние на геометрию трещины по вертикали, а конкретно на длину прорастания трещины вверх и вниз от точки инициализации роста. Это объясняется тем, что повышенный модуль Юнга вызывает локальное уменьшение раскрытия трещины в пропластке, повышенное сопротивление потоку жидкости ГРП в направлении неоднородности и асимметрию роста трещины. Зависимость горизонтальных размеров трещины от модуля Юнга незначительна.

Научный руководитель: к.т.н. А.А.Быков

## **ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ РАЗРУШАЮЩИХ УСИЛИЙ ПОЛУПОГРУЖНОГО ЛЕДОКОЛЬНОГО ТАНКЕРА.**

При транспортировке нефти и сжиженного газа при помощи танкеров в арктических условиях большую проблему представляет воздействие на них ледяных полей. Представленное в данной работе полупогружное транспортное ледокольное судно нового типа для перевозки жидких грузов способно самостоятельно преодолевать сплошные ледяные поля, что значительно сокращает время кругового рейса и является существенным преимуществом перед танкерами, нуждающимися в ледокольном обслуживании. Разрушение льда осуществляется снизу-вверх прочным узким тараном, расположенным вдоль всего корпуса сверху. Рассмотрен случай, когда угол между разрушающей кромкой ледокола и плоскостью льда составляет ноль градусов (разрушение при всплытии танкера). Ледяной покров рассматривается как упругие однородные изотропные плиты, лежащие на винклеровском основании. Решалась задача цилиндрического изгиба полубесконечных и конечных ледяных плит различных размеров и толщин. Величины разрушающих нагрузок и прогибы при цилиндрическом изгибе конечных и бесконечных плит определялись из решений дифференциального уравнения четвертого порядка. Для конечных плит решение осуществлялось методом начальных параметров А.Н.Крылова, при различных граничных условиях. Получены величины нагрузок, приводящих к образованию трещин и полного пролома плит для различной толщины льда от 1 до 6 метров. За критерий разрушения принималось предельное растягивающее напряжение при изгибе для морского льда. Расчет раз-

рушения льда тараном, разрушающая кромка которого находится под острым углом к плоскости плиты, осуществлялось с помощью вычислительного комплекса Abaqus.

В работе были получены результаты, подтверждающие, что конструкция ледокола позволяет создавать вертикальное усилие достаточное для разрушения ледяных полей толщиной свыше 4м ледовых образований толщиной до 7 м и более, что на сегодняшний день превосходит показатели любого ледокольного судна, введенного в эксплуатацию и находящихся в стадии постройки и проектирования.

Научный руководитель: к.т.н. Щербаков Владимир Николаевич

**В.А. БЫЧЕК**

*Норильский государственный индустриальный институт*

## **РАЗРАБОТКА НАКЛОННОГО ЛЕНТОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ СОРТИРОВКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ**

При производстве строительных материалов (песок, гравий, щебень и др.) исходное сырье в большинстве случаев представляет собой неоднородную по крупности смесь, содержащую различные примеси и включения.

Основными способами разделения сыпучих материалов является классификация их по размерным характеристикам на решетных грохотах и в восходящем воздушном потоке в аспирационных каналах. Несмотря на широкое их применение в различных отраслях промышленности, они имеют целый ряд недостатков и преимуществ, в зависимости от использования их при переработке того или иного вида сырья. Как правило, основным недостатком их оказывается относительно низкая эффективность грохочения, что вынуждает производить установку нескольких поочередно работающих рабочих органов (решет), либо производить сортировку сыпучих материалов в несколько стадий.

Наиболее перспективным и интересным на взгляд автора является метод разделения сыпучих материалов на фрикционных сортировочных машинах, который использует различие в коэффициентах трения отдельных составляющих сыпучей смеси.

Преимуществами данного метода являются:

- более высокая эффективность разделения материала (исключается установка дополнительных рабочих органов);
- исключается необходимость разделения сыпучих материалов в несколько стадий;
- высокая эффективность отделения частиц плоской и игольчатой формы (по сравнению с колосниковыми решетками).

Цель данной работы - исследование наклонного ленточного устройства для разделения строительных сыпучих материалов на фракции.

Научный руководитель: к.т.н., доцент М.А.Перепелкин

**Э.Э. ГУСЕЙНОВА**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Норильский государственный индустриальный институт»*

## **ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ СРЕДЫ МОНОГОРОДА НОРИЛЬСК**

Инвестиционное развитие промышленных территорий является актуальной задачей в особенности для моногородов. При решении задачи следует оценивать условия для вновь создаваемых предприятий и условия, которое создает предприятие в результате своей хозяйственной деятельности. Поэтому существует потребность в создании модели учета влияния факторов определяющих инвестиционную среду моногорода.

В создаваемой модели факторы должны классифицироваться на три категории: административный, бюджетный и корпоративный стимулы. В идеале все стимулы должны работать одновременно для создания благоприятной инвестиционной среды моногорода.

Рассматривая административный стимул, были изучены различные методики оценки инвестиционного климата территорий, однако и у этих методик были свои минусы. Поэтому нами была разработана авторская методика для оценки развития инвестиционного климата на территории. Данная методика позволяет оценить условия для вновь создаваемых предприятий.

Условия создающее градообразующее предприятие на территории направленное на инвестирование, возможно, оценивать на примере градообслуживающих предприятий из сферы транспорта, ремонта, строи-

тельства и т.д. Градообслуживающая компания, осваивая различные рынки, может столкнуться с разными барьерами, которые могут ослаблять позиции данной компании на рынке. И для этого необходимо оценивать реальный потенциал и барьеры, существующие для ее деятельности, во избежание ликвидации бизнеса в будущем.

Научный руководитель: к.э.н., доцент кафедры БУиФ, Р.А. Кулян

**А.В.КАВЕРЗИН**

*Норильский Государственный индустриальный институт*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПЕРЕРАБОТКИ БОГАТЫХ ГАЗОВ МЕДНОГО ЗАВОДА**

В настоящее время в мировой практике одним из способов переработки отходящих газов серных и сернокислотных цехов металлургических заводов от остатков диоксида серы является активное поглощение  $\text{SO}_2$  раствором соды с получением раствора гидросульфита (бисульфита) натрия –  $\text{NaHSO}_3$ . Бисульфит натрия является сильным восстановителем и широко применяется в химическом, металлургическом, текстильном, бумажном и фармацевтическом производствах.

После закрытия Никелевого завода были проведены пилотные испытания, которые показали принципиальную возможность получения бисульфита натрия из отходящих газов участка производства элементарной серы Сушильного цеха Медного завода (содержащих до 3%об $\text{SO}_2$ ). Однако использование для получения раствора  $\text{NaHSO}_3$  отходящих газов УПЭС потребовало бы предварительного охлаждения этих газов (температура 350 – 400 °С), а высокое содержание в них влаги привело бы к разбавлению конечного раствора  $\text{NaHSO}_3$  и необходимости организации мероприятий по поддержанию водного баланса. Помимо этого, установка по получению бисульфита натрия из бедных газов потребовала бы использования крупногабаритного оборудования и значительных площадей. Таким образом актуальной является задача по получению раствора бисульфита натрия из богатых газов плавильных агрегатов (с содержанием до 30 %об $\text{SO}_2$ ).

В связи с этим **целью** проведенного исследования является: обзор способов переработки газов, содержащих от 18 до 30 %об $\text{SO}_2$ ; определение оптимальных режимных параметров процесса получения раствора бисульфита натрия из богатых по содержанию диоксида серы отходящих газов печей Ванюкова Медного завода.

Научный руководитель: Главный специалист проектного офиса по реализации Серного проекта ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» к.т.н., доцент кафедры МЦМ А.В.Келехсаев.

**А.А. КОСТЮЧЕНКО**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Норильский государственный индустриальный институт»*

## **ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФИНАНСОВО- ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПАО «ГМК «НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ» ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ**

В современное время компании в целях своего развития требуется расширение горнорудной базы. Затраты и неверный выбор методов их финансирования может привести к ухудшению показателей финансовой устойчивости и в самом худшем случае, к возникновению риска банкротства. Иными словами, в компаниях присутствует проблема неэффективного корпоративного управления, связанная с управлением заемными средствами. Модернизация производства связана с реализацией важных для компании инвестиционных проектов, инвестирование которых может быть причиной возникновения ситуации нехватки денежных средств, а, следовательно, вызвать потребность в привлечении дополнительных сумм.

Для оценки финансовой устойчивости компании был проведен анализ важных экономических показателей, таких как рентабельность продаж, коэффициент текущей ликвидности и эффект финансового рычага. Также была проведена оценка вероятности возникновения банкротства по методике Алтмана.

В рамках проделанной работы были рассчитаны прогнозные значения чистой прибыли компании в ближайший период для расчета излишка или недостачи денежных средств в целях финансирования инвестиционных проектов. Рассмотрены возможные источники финансирования и рассчитаны показатели затрат, связанных с их привлечением. На основе проделанных расчетов наиболее оптимальны источником



является привлечение банковского кредита. Также, к оптимальным был отнесен такой источник, как эмиссия обыкновенных акций. В работе рассмотрено влияние данных методов финансирования на показатели компании: при привлечении кредита рассчитано изменение финансовых коэффициентов, а при эмиссии обыкновенных акций внимание уделяется изменению доли участия акционеров.

**Научный руководитель:** к.э.н., доцент кафедры БУиФ Р.А. Кулян

**Д.В. СЕДОВ**

*Норильский государственный индустриальный институт*

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ**

Одной из целей управления воздуходелительной установкой (ВРУ) низкого давления является стабилизация технологических переменных: расход технологического кислорода, технического кислорода и азота. Стабилизация режима достигается изменением расхода воздуха. В настоящее время управление ВРУ ведется вручную. Актуальны исследования и разработки по автоматизации процессов управления, что требует построения математических моделей объекта.

Трудность моделирования ВРУ как объекта управления вызвана неприменимостью аналитических способов описания из-за сложной структуры связей между элементами системы. Возможные решения вытекают из опыта ведения процесса глубокого охлаждения для конкретных установок. В докладе обсуждаются вопросы построения модели динамики ВРУ как объекта стабилизации расхода кислорода и азота на основе априорной информации из литературных источников, данных архивизации технологических переменных и знаний экспертов (операторов).

В работе на основе пассивной идентификации выдвинута гипотеза о топологии и структуре объекта управления. Получены оценочные значения параметров модели. Уточнение параметров достигается путем проведения активного эксперимента на ВРУ в режиме нормальной эксплуатации по предложенной схеме.

На основе принятой структуры и оценочных значений параметров линейной модели объекта настроен типовой алгоритм системы автоматической стабилизации для одного из режимов работы.

**Научный руководитель:** ст.пр. И.И. Суляев

**Т.В. СОКОЛОВА**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Норильский государственный индустриальный институт»*

## **МУНИЦИПАЛЬНЫЕ ИНВЕСТИЦИИ, КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ФИНАНСОВОЙ И СОЦИАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА**

Муниципальные инвестиции – это важный элемент социально-экономического развития промышленного города. Из-за того, что на уровне муниципалитета реализуется большая часть государственных функций, муниципальные инвестиции приобретают значимую роль для развития всего региона в целом.

Муниципальное образование город Норильск – это территория промышленного значения, и это оказывает значительное влияние на его экономическое положение. Данная направленность территории определяет то, что большая часть работающего населения – это работники горной промышленности, они формируют основную часть добавленной стоимости продукции, произведенной на территории города. Бюджетная сфера, наряду с функциями управления, выполняет обслуживание граждан и организаций. При сокращении работников горной промышленности, наблюдается тенденция к сокращению более быстрыми темпами работников бюджетной сферы. Следствием этого является снижение потребительской активности населения и ослабление социальной инфраструктуры города.

Важную значимость в улучшении инвестиционной деятельности на территории города имеет участие в ней самого населения. Привлечение финансов домашних хозяйств в качестве инвестиционных ресурсов и их инвестирование в производственную и социальную инфраструктуру муниципального образования – это возможность восполнить недостаток собственных средств на территории города.

В связи с этим нами была изучена эффективность муниципальных инвестиций и их необходимость на территории промышленного города.

**Е.А. ТИССЕН**

*ФГБОУ ВО «Норильский государственный индустриальный институт»*

## **ПЕРЕРАБОТКА ТОВАРНОГО ОТСЕЧЁННОГО ЭЛЕКТРОЛИТА ЦЭМ МЕДНОГО ЗАВОДА**

Для поддержания оптимального состава электролита на предприятиях ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» в процессе электрорафинирования меди определенную его часть выводят на регенерацию.

В настоящее время, в связи с закрытием Никелевого завода, переработка выведенных растворов производится методом нейтрализации содовым раствором, а также методом двухстадийной переработки растворов Медного завода на Надеждинском металлургическом заводе имени Б.И. Колесникова, что является дорогостоящим процессом.

Из-за проблем, связанных с утилизацией сульфатных стоков, образующихся в результате процессов, а также высоких потерь цветных и благородных металлов необходимо технико-экономическое решение, способное повысить извлечение цветных металлов в товарную продукцию и понизить затраты на осуществление процесса.

В связи с этим нами выполнены исследования в области последовательного и дробного осаждения сульфатов; построены зависимости динамического осаждения сульфатов никеля и меди от температуры и скорости охлаждения; определены граничные параметры и условия получения чистых солей категории технического купороса, соответствующего требованиям ГОСТ 19347-99 для марки Б «Купорос медный. Технические условия».

Научный руководитель: директор «Центра инженерного сопровождения производства» ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», к.т.н., доцент кафедры МЦМ А.И.Юрьев

**Г.Х.ШАРИФОВА**

*Норильский государственный индустриальный институт*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ В СВЯЗИ С КОНВЕРГЕНЦИЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

В работе предлагается обоснование и оптимизация методики инструментальных наблюдений за конвергенцией подземных горных выработок электронным тахеометром. Наблюдения за деформированием контура выработок при помощи электронных тахеометров высокой точности дает новые возможности в плане оценки геомеханической обстановки исследуемого участка. Так, по результатам наблюдений можно определить основные параметры процесса сдвижения горного массива: наклоны, горизонтальные деформации и кривизну. Ранее для наблюдения за сдвижением в толще пород применялось тригонометрическое или геометрическое нивелирование, но так как, результатом таких наблюдений является лишь определение превышений, минус этих наблюдений в том, что оценивать сдвижение можно только по одному показателю – по высоте. Основным преимуществом высокоточных электронных тахеометров является возможность получения результатов инструментальных наблюдений – координат точек  $(X, Y, Z)$ , посредством внутренних программ инструмента с высокой степенью надежности и точности. Таким образом, результаты одних наблюдений можно использовать и как данные тахеометрической съемки, т.е. для определения величин смещения точек в плане и по высоте, и как данные оценки параметров сдвижения горного массива. Эти данные позволят отстраивать цифровые триангуляционные модели выработок, и, сравнивая эти модели во времени, оценивать действующие в массиве геомеханические процессы. Современные высокоточные тахеометры оснащены быстрыми безотражательными дальномерами, точными устройствами отсчитывания и прикладным программным обеспечением, позволяющим исключать многие погрешности и ошибки, которые ранее делали невозможным высокоточное определение координат при помощи обычных оптических теодолитов. Их использование сокращает время на производство инструментальных работ и камеральную обработку, а за счет использования в электронных тахеометрах стандартных интерфейсов передачи данных между компьютером и инструментом, облегчает процесс обработки результатов наблюдений, исключая ошибки отсчитывания.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Н.А. Туртыгина

**А.О. ШИШКИНА**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Норильский государственный индустриальный институт»*

## **ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА БЮДЖЕТНОЙ СИСТЕМЕ СТРАНЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

На современном этапе развития отечественной экономики наиболее актуальными являются вопросы мобилизации органами власти финансовых ресурсов для решения поставленных перед ними задач. В условиях замедления экономического роста и ограничения возможностей внешних заимствований, необходим поиск внутренних резервов повышения налогового потенциала экономики промышленных территорий, в том числе за счет противодействия развитию теневой экономики в сфере добычи, оборота и транспортировки чёрных и цветных металлов.

По данным Росстата, в России насчитывается 68 моногородов с металлургической специализацией экономики, где проживают около 3,8 млн. чел., благосостояние которых во многом зависит от эффективности и социальной позиции крупного бизнеса, качества государственного и муниципального регулирования. Отсутствие действенных государственных мер регулирования в сфере оборота отходов металлов наносит значительный экономический ущерб бюджетной системе страны и ее национальным интересам.

Настоящее научное исследование призвано указать на наиболее уязвимые участки в сфере оборота металлов, управление которыми позволяет преступным структурам создавать себе нелегальный доход за счёт национальных ресурсов.

Результатом исследования показал, что территория недополучает огромных средств для своего развития и поддержания социального благополучия граждан, работающих в тяжелейших климатических и профессиональных условиях Севера. Автором обобщён практический опыт противодействия правонарушениям в сфере оборота металлов зарубежных и отечественных надзорных органов; предложены меры устранения существующей проблемы.

Научный руководитель: к.э.н., доцент кафедры БУиФ Р.А. Кулян

**Н.А. МОРОЗОВ**

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО И ФАЗОВОГО СОСТАВА ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОННОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ МИКРОСКОПИИ И РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКТОМЕТРИИ**

Исследовались образцы вскрышных пород месторождения свинцово-цинковых руд, расположенного в Архангельской области. Проведены петрографические исследования, определен элементный и фазовый составы серии образцов. Для большинства образцов структура мелко-среднекристаллическая, неравномернозернистая с вкрапленностью рудного минерала, лепидогранобластовая, текстура - сланцеватая. Изучение шлифов показало, что в среднем порода состоит из скрытокристаллического вещества, предположительно глинистого состава (до 50 об. %), кварца (до 40 об. %), карбонатных минералов (до 10 об. %), рудного минерала (около 5-10 об. %), сфалерита (от 0 до 5 об. %). Скрытокристаллические выделения вещества, предположительно глинистого состава, равномерно распространены по всему объему и подчеркивают направления рассланцевания. Карбонатные минералы и кварц образуют ксеноморфные или идиоморфные кристаллы размером до 0,1 мм. Количество карбонатных минералов меняется от 0 до 10 об. % по объему породы. Рудный минерал образует гипидиоморфные, идиоморфные кристаллы, среди которых преобладают кубической формы, размером до 2,5 мм, распространен в породе не равномерно. Сфалерит образует ксеноморфные кристаллы, размером от первых долей мм до 0,1 мм, распространен неравномерно по объему породы.

По результатам исследования горной породы с помощью электронного микроскопа в структуре грунта установлены микротрещины и нарушения размером менее 5 мкм, которые распространяются хаотично по всей площади шлифа. По результатам элементного анализа в пробах выявлено присутствие цинка, свинца, галлия, титана, алюминия, хрома, стронция. На основе дифрактограмм был определен фазовый состав образцов.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Черепецкая Е.Б.

## **РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНОГО КОНТРОЛЛЕРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗОГРЕВА СТАЛЬНОГО СЛИТКА**

Однокристалльные моноблочные программируемые контроллеры предназначены для работы в составе управляющих вычислительных комплексов (УВК) и обеспечивают обработку сигналов различного назначения, в нашем случае регулирование температуры при термической обработке стальных слитков.

Предполагается, что основными факторами экономической эффективности от внедрения перспективной модели моноблочного ПЛК будет надежность, а главное – меньшая цена МБК по сравнению с аналогами отечественных и зарубежных производителей.

Уменьшить затраты на производство средств управления можно используя обновленную элементную базу, а именно использование новых, улучшенных, и в то же время более дешевых образцов комплектующих для производства устройства управления, можно достичь некоторого удешевления перспективной модели.

В настоящее время начали появляться примеры промышленного становления предприятий (например, системы автоматизации) и, безусловно, им уже сейчас требуются современные системы автоматизированного управления производством и технологическими процессами

В данной работе проведена системная интеграция программируемого логического контроллера (ПЛК) с элементом автоматизированной системы управления, которая включает задачу автоматизации.

Сделан обзор существующих методов построения и практических реализаций крейтовых блочных, бескрейтовых битовых и моноблочных ПЛК отечественных и зарубежных производителей с использованием основных положений ГОСТ Р 51840-2001 ( МЭК 61131-1-92) и ГОСТ Р 51841-2001 (МЭК 1131-2-92).

Проведен анализ, теоретическое осмысление влияния различных факторов на технические характеристики и работоспособность устройств обработки данных.

Научный руководитель: п.т.н. Певзнер Л.Д.

**Ю.С. БРЕЖНЕВА**

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»*

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ УСТАНОВКИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ № 2 ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

Проблема поиска путей повышения производственного потенциала предприятия видится весьма актуальной в настоящее время. С целью решения поставленной цели на примере акционерного общества «Оскольский электрометаллургический комбинат» (далее АО «ОЭМК»), как предприятия, входящего в «Холдинговую компанию «Металлоинвест»», были определены следующие задачи: проведен финансово-экономического состояния, хозяйственно-производственной деятельности АО «ОЭМК», а также прикладной стратегический анализ на базе сбалансированной системы показателей. В результате были разработаны мероприятия по повышению производственного потенциала предприятия и финансовой устойчивости АО «ОЭМК» и была произведена оценка их экономической эффективности.

Коэффициенты износа на конец 2014 и 2015 гг. соответственно равны 54,01 % и 58,93 %, коэффициенты годности на начало и конец года падают и соответственно на конец 2014 и 2015 гг. равны 45,99 % и 41,07 %, что нежелательно. Срок обновления очень высок 50,96 в 2015 году лет, что является негативным показателем. Это говорит о том, что основных строительных средств практически не происходило в 2015 году, основные фонды устаревают, а обновление основных фондов практически не происходило. Необходимо более интенсивное обновление основных фондов.

В целях повышения производственного потенциала предложены следующие меры: инвестиционный проект «Реконструкция комплекса объектов установки металлизации № 2 с заменой реакционных труб реформера». Данный проект поможет увеличить производительность установки металлизации № 2 с 82 тонн/час до 105 тонн/час за счет замены объектов инвестирования, а также снизить себестоимость выпускаемой продукции, снизить удельный расход природного газа с 311 до 300 м<sup>3</sup>/тонну, снизить потребность в металлоломе с 1131,3 до 958 тыс. тонн.

Научный руководитель: к.э.н., доцент Е.Н. Елисеева

## **ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА НА ПОКАЗАТЕЛИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРИ ТОРЦЕВОМ ВЫПУСКЕ РУДЫ**

Анализ опыта применения систем с обрушением при подземной разработке руд мелкофракционного состава показал, что очистная выемка при среднем размере куска 150÷200 мм сопряжена со значительными трудностями. Уже на ранней стадии выпуска формируются каналы, связывающие зону погрузки с налегающими обрушенными породами. То есть происходит так называемый процесс «трубообразования», в результате которого разубоживание наблюдается уже после выпуска 15÷20% отбитой руды, а что в конечном итоге приводит к значительным ее потерям.

Крупнофракционное дробление руды является основным условием эффективного применения систем с обрушением, обеспечивающим сохранность кристаллов, снижение объемов подготовительно-нарезных и буровзрывных работ, а управление контактом руда – порода, обеспечивает снижение потерь и разубоживания руды. Это достигается также за счет регулирования высоты этажа (подэтажа) и расстояния между смежными выпускными выработками.

Известно, что параметры фигуры выпуска зависят от сыпучих свойств руды. С увеличением содержания крупнокусковых фракций в обрушенной рудной массе возрастает коэффициент разрыхления, что приводит к расширению объема фигуры выпуска. Чем больше этот коэффициент, тем лучше сыпучие свойства руды, тем успешнее протекает выпуск.

В целях обеспечения минимизации уровня потерь и разубоживания необходимо кроме производства выпуска на промежуточных подэтажах одновременно проводить и этажный выпуск соблюдая при этом его равномерно-последовательный режим. Для этого, в процессе отбойки на первом подэтаже суммарная толщина отбитого слоя, на втором – и т.д. должны соответствовать радиусу фигуры выпуска на каждом горизонте. смещение выпускных выработок в смежных по вертикали подэтажах не должно превышать величину диаметра фигуры выпуска, соответствующей принятой высоте подэтажа.

Научный руководитель: д.т.н., профессор И.Н. Савич

**Э.В. ГОРОБЕНКО**

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»*

## **РАЗРАБОТКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОПОЛЗНЕОПАСНЫХ СКЛОНОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ УСТОЙЧИВОСТИ**

В настоящее время нет метода, определяющего наиболее точно координаты границ породы. Самые часто используемые методы получают координаты границ по средствам математического расчета, что влечет за собой высокий процент вероятности неверной интерпретации полученных результатов изменчивости свойств пород.

Предлагаемый метод определения границ ИГЭ с учетом пространственно-временной изменчивости свойств решает проблему субъективизма, т.к. при соответствии изменчивости всех измеряемых параметров, мы можем с большей вероятностью утверждать, что это один ИГЭ, чем при использовании основных применяемых методов математического определения границ. Точки, в которых наблюдается экстремальная (максимальная) скорость изменения параметра – это потенциальные координаты границ. Исследуя изменчивость всех параметров свойств массива горных пород, и сравнив результаты, мы можем с вероятностью, близкой к 100%, сказать, что в области, где свойства пород не имеют расхождения более чем на утроенное среднеквадратичное отклонение, залегает единый ИГЭ.

Данный метод определения границ повышает точность определения устойчивости оползнеопасных склонов. Наибольшую оползнеопасность на участке дороги «Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» представляют склоны, расположенные вдоль трассы на левом берегу реки Мзымта, на участке от вокзала «Альпика-Сервис», который является крайней северной точкой трассы, до портала ближайшего тоннеля. Используя предлагаемый метод можно было бы избежать различных оползневых процессов. Поэтому следующая задача, которую предстоит решить – как автоматизировать процесс использования метода.

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.В. Ческидов

## **ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНОГО УЗЛА «СИТИ» НА ОБЪЕКТЫ ПОДЗЕМНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

В работе выполнен геотехнический прогноз (оценка) влияния строительно-монтажных работ по возведению здания терминала транспортно-пересадочного узла (ТПУ) «Сити» на изменение напряженно-деформированного состояния окружающего грунтового массива, в том числе, на объекты подземной инфраструктуры для обеспечения их сохранности и безопасной эксплуатации.

Был найден радиус зоны влияния, выполнено расчетное моделирование сложившейся геотехнической ситуации, проведены деформационные расчеты с использованием программного комплекса «Plaxis 2D». Основными выходными данными деформационных расчетов являлись: изополя вертикальных дополнительных перемещений окружающего грунтового массива в зоне предполагаемого строительства проектируемого здания терминала ТПУ «Сити» на строительной и эксплуатационной стадиях; максимальные дополнительные деформации основания опор существующей эстакады третьего транспортного кольца (осадки и относительная разность осадок) на строительной и эксплуатационной стадиях; общие дополнительные перемещения существующего кабельного коллектора на строительной и эксплуатационной стадиях; значения внутренних усилий, возникающих в строительных конструкциях существующего кабельного коллектора на исходной, строительной и эксплуатационной стадиях.

Для существующего кабельного коллектора диаметром 2000 мм выполнена оценка допустимости его деформаций по предельным состояниям. По результатам проверки прочности железобетонных сечений стенки кабельного коллектора установлено, что имеющийся исходный конструктивный запас прочности строительных конструкций кабельного коллектора позволяет воспринимать дополнительные воздействия от строительства проектируемого здания терминала ТПУ «Сити» с сохранением коэффициента запаса прочности  $K_{\text{зап}} > 1,00$ .

Научный руководитель: д.т.н., профессор Е.Б. Черепецкая

**О.Н. КОЗЛОВА**

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»*

## **РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ БАРБОТАЖНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ ЦИНКСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

В последние годы в связи с образованием и накоплением значительного количества промышленных техногенных отходов возрастает значение их комплексной утилизации. В России уже накоплено более 80 млрд. т промышленных отходов, ежегодно образуется до 2,7 млрд. т.

Техногенные месторождения зачастую характеризуются содержанием полезных компонентов выше, чем в месторождениях природных ископаемых. Использование техногенных отходов в качестве недорогого металлургического сырья позволит существенно снизить себестоимость готовой продукции, а также улучшить экологическую обстановку регионов.

Одной из нерешенных проблем являются цинкосодержавшие отходы черной металлургии. Содержание цинка в пылях и шламах достигает 30 %. Известно, что наличие цинка в шихте доменных печей служит причиной резкого ухудшения газодинамических показателей доменного процесса и увеличения расхода кокса. Сброс цинкосодержавших шламов в отвалы и шламонакопители приводят к существенным потерям цинка и ухудшению экологической ситуации регионов.

В работе были проведены термодинамические исследования поведения цинка в доменной печи на программном термодинамическом комплексе HSC Chemistry 6.1, оценены экономические потери в доменном производстве от увеличения прихода цинка с шихтовыми материалами.

Для решения проблемы утилизации цинкосодержавших материалов предложена ресурсо- и энергосберегающая барботажная технология с полным селективным извлечением полезных компонентов в товарные продукты. Новая технология является видоизменяемой применительно к существующим требованиям конкретного источника отходов и потребителей продукции переработки.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Г.С. Подгородецкий

**Д.С. КУРЕНКОВ**

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»*

## **СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

На современном этапе развития горного дела обеспечение промышленной и экологической безопасности ведения горных работ не представляется возможным без разработки и внедрения систем комплексного мониторинга состояния природно-технических систем, формируемых в результате инженерной и хозяйственной деятельности человека. В горнодобывающей отрасли отсутствует комплексная информатизация, позволяющая создавать в рамках предприятия единое информационное поле, а дефицит данных не позволяет своевременно реагировать на изменение состояния функционирующего горнотехнического сооружения и принимать необходимые проектные и технологические решения для предотвращения негативных изменений и стабилизации состояния.

Разработка комплексной системы мониторинга, учитывающей взаимное влияние нескольких параметров, собранных независимыми друг от друга системами, является одной из приоритетных задач современной науки.

Проведенный анализ опыта внедрения систем мониторинга на горных предприятиях и современная нормативно-правовая база показывают, что для успешного ведения горных работ в наши дни необходимо привлечение в данную сферу деятельности новейших технологий и методов обеспечения мониторинга. Качественное информационное обеспечение геотехнологий позволит значительно снизить риск аварийных ситуаций и минимизировать социальные и экономические потери.

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.В. Ческидов

**И.А. МЕЛЬНИЧЕНКО**

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»*

## **ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЧИВОСТИ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД**

Предлагаемый метод определения границ ИГЭ с учетом пространственно-временной изменчивости свойств решает проблему субъективизма, т.к. при соответствии изменчивости всех измеряемых параметров, мы можем с большей вероятностью утверждать, что это один ИГЭ, чем при использовании основных применяемых методов математического определения границ. Точки, в которых наблюдается экстремальная (максимальная) скорость изменения параметра – это потенциальные координаты границ. Исследуя изменчивость всех параметров свойств массива горных пород, и сравнив результаты, мы можем с вероятностью, близкой к 100%, сказать, что в области, где свойства пород не имеют расхождения более чем на утроенное среднеквадратичное отклонение, залегает единый ИГЭ.

Метод определения границ ИГЭ с учетом пространственно-временной изменчивости может быть использован не только при определении границ, но и при оконтуривании рудных и нерудных тел. Поэтому следующая задача, которая предстоит решить – как автоматизировать процесс использования метода, и как применить его при оконтуривании полезных ископаемых.

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.В. Ческидов

**Д. В. МОРОЗОВ**

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»*

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ БОРТОВ КАРЬЕРА ОТ ПРОЦЕССОВ ВЫВЕТРИВАНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКОЙ**

Определение степени выветривания горных пород является важнейшей составляющей в решении многочисленных задач, возникающих при проектировании и ведении открытых горных работ.

В настоящей работе рассматриваются возможности оценки влияния факторов выветривания на структуру и свойства образцов горных пород, слагающих борта карьера рудника «Железный» Ковдорского

ГОКа, методом контактной лазерно-ультразвуковой структуроскопии, а также оценке эффективности их защиты от влияния данных факторов полимерной пленкой.

С использованием уникальных научных установок – лазерно-ультразвуковых структуроскопов «ГЕОСКАН-02М», работающем в теновом режиме, и «ГЕОСКАН-02МУ», работающем в эхо-режиме проведены эксперименты по определению степени нарушенности образцов пироксенита на основе расчета относительной мощности структурного акустического шума.

В качестве информативных параметров, характеризующих структурную поврежденность образцов, были введены дополнительно показатели  $Q_\alpha$  и  $Q_c$ . Параметр  $Q_\alpha$  определялся как отношение коэффициента затухания продольных волн в образце с контрольного участка, покрытого пленкой, к коэффициенту затухания в образце без защитной пленки. Параметр  $Q_c$  характеризовал относительное уменьшение скорости распространения продольных волн, изменялся в результате воздействия различных факторов несущественно, поэтому отношение соответствующих значений оказалось мало информативно. Значения указанных параметров определялись на частотах 1,5 МГц и 2 МГц. Значение параметра  $Q_c$  для частоте 2МГц оказалось равным 14%. Значение параметра  $Q_\alpha$  на частотах 2МГц и 1,5МГц оказалось равным 1,9 и 1,5, соответственно. Очевидно, что динамика коэффициента затухания в гораздо больше степени, чем скорость распространения упругих волн, характеризует изменения, происходящие в структуре горных пород под влиянием разрушающих факторов.

Таким образом, показано, что применение полимерной пленки является эффективным средством для защиты бортов карьера от процессов выветривания.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Е.Б. Черепецкая

**С.В. ШЕВЧУК**

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»*

## **КВАЛИМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАМЕННЫХ СОЛЕЙ НА ОСНОВЕ МНОГОФАКТОРНОЙ ГЕОМЕТРИЗАЦИИ**

Квалиметрия недр, как совокупность методов измерения и оценки качества продукции недропользования, является одной из самых древних и в тоже время самых современных и актуальных областей науки, сформировалась как область горной науки в конце XX века.

Парадигма современной междисциплинарной научной деятельности – это взаимопроникновение геологии, горного дела, геометрии и квалиметрии недр.

В условиях глобализации рынка минерального сырья появилась объективная необходимость осуществлять переоценку минерально-сырьевой базы горно-добывающих предприятий.

Совокупность наблюдательных, вычислительных (математических) и графических действий, имеющих конечной целью геометрическое изображение форм, свойств и процессов, определяются термином «геометризация».

В зависимости от типа полезного ископаемого необходимо проводить комплексное исследование свойств и показателей, отражающие качественные характеристики и производить объективную оценку качества полезных ископаемых в сквозной технологической цепи с учетом требований потребителей к качеству конечной горной продукции и взаимосвязи количества, качества и цены потребления.

По данным опробования всей площади шахтного поля Илецкого месторождения, разделенного на четыре блока, каменная соль высокого качества с различными качественными показателями, что должно учитываться при планировании горных работ и добыче.

Для планирования добычи полезного ископаемого с определенным качеством каменной соли в условиях данного месторождения, необходимо создать горно-геометрическую модель месторождения на основе многофакторной геометризации качественных свойств.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Руденко В.В.



## **ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ ЛАЗЕРНО-УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ**

При получении данных о структуре и свойствах геоматериалов, в том числе горных пород, основываются на результатах исследований (петрография и геофизика), однако данные метода не дают конкретного представления о внутренней структуре образцов и массивов пород ввиду того, что требуется разрушение образцов. Поэтому особый интерес приобретают неразрушающие интроскопические методы получения информации.

Непосредственное диагностирование структуры и свойств горных пород неразрушающими методами в настоящее время возможно только с применением рентгеновской томографии, позволяющей исследовать лишь небольшие по размеру образцы. В связи с этим, при создании ресурсосберегающих технологий, возникает необходимость развивать такие методы исследований структуры и свойств горных пород, которые позволили бы добиться использования минимальных усилий при разрушении и выделении минеральных агрегатов, и избежать переизмельчения.

В настоящей работе приведены теоретические оценки параметров 32 канальной оптико-акустической антенны для лазерно-ультразвуковой томографии горных пород. Рассчитаны геометрические размеры каждого из элементов, исследовано влияние апертуры антенны и количества приемников на точность восстановления изображения данных источников. Была рассмотрена идеальная наиболее полная апертура антенны размером 360. В исследованиях показано, что при апертуре 360 можно надежно различить точечные источники при вариации количества точечных приемников от 256 до 64. Уменьшение количества приемников приводит к появлению артефактов. Оптимальным является использование апертуры приемной антенны в диапазоне от 90 до 180 градусов. При использовании больших значений апертуры необходимо следить за тем, чтобы объект находился в фокусе антенны. Также исследована степень влияния нарушения периодичности в расположении приемных элементов антенны на качество восстанавливаемого изображения. Неопределенность положения приемника составляла 05 от среднего углового расстояния между приемниками.

Проведенные исследования показали, что неопределенность в расположении приемных элементов антенны слабо влияет на качество получаемых изображений.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Черепецкая Е.Б.

**А. А. КАБАНЕЦ**

*Омский государственный технический университет*

## **БЕСПРОВОДНАЯ ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРИЧЕСТВА ПОРТАТИВНЫМ УСТРОЙСТВАМ**

Научная новизна. Данное усовершенствование портативного зарядного устройства увеличивает количество передаваемой энергии на расстоянии, а так же уменьшает время для зарядки портативного устройства. Использование резонанса для увеличения дальности передачи. Увеличение производительности путем изменения формы волны до несинусоидальных.

Краткое описание. Многие сталкивались ситуацией когда их портативное устройство (ноутбук, смартфон) показывало индикатор с низким уровнем батареи. Люди находящиеся в аэропортах, больницы и в других местах где возможно долгое ожидание без подзарядки телефона или ноутбука. Вынуждены искать место для подзарядки, но время потраченное на поиск и зарядку батареи сказывается на повседневном графике. Командой, мы разрабатываем устройство которое не только способствует быстрому заряду устройства, но и будет доступно для всех. Визуально будет представлять собой аппарат длиной 1 метр и шириной 1,5 метра внутри него будет ячейки для телефонов и ноутбуков. В центре будет расположен монитор с внутренним процессором (контроллер), который будет регулировать напряжение в ячейках и выдавать код запуска ячейки. Для каждого портативного устройства будет создаваться спецификация. С помощью её можно будет ввести модель портативного устройства и сразу же после ввода будут представлены характеристики данного устройства в момент подзарядки. Если портативное устройство устарело и его нет в базе данных, то выбирается стандартный режим передачи электричества.

Научный руководитель: к.э.н., профессор И.Н.Квасов

## **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ МАЗУТОМ ПОЧВ (В УСЛОВИЯХ МОДЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА)**

Как известно ежегодные потери нефтепродуктов происходят при транспортировке, переработке и использовании нефти и нефтепродуктов.

В число причин таких потерь следует назвать масштабный разлив мазута и загрязнение селитебной зоны вокруг котельной № 127 в п. Степной Омской области.

Цель работы — дать оценку экологического состояния загрязненных мазутом почвы селитебной зоны п. Степной по биологическим показателям.

Разработать и апробировать комплекс оригинальных технологий рекультивации загрязненных и деградированных почв на территории Омской области в п. Степной.

В данном исследовании был использован мазут, собранный на загрязненной территории у котельной.

В исследованиях применяли пшеницу для обработки методик и постановки модели.

Для проращивания использовалась пшеница СТО 64350476-0019-2016 с Алтайского края.

Определение энергии прорастания и всхожести семян пшеницы определены по ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести.

В лабораторном модельном опыте исследовано влияние загрязнения мазутом почв в разной концентрации. Установлено снижение показателей прорастания и начального роста растений в результате загрязнения.

В модельном опыте на фильтровальной бумаге зарегистрирован эффект стимуляции ростовых процессов при добавлении мазута, это объясняется, что мазут может выступать как дополнительный источник минеральных элементов.

Однако в эксперименте, проведенном, на почве было установлено, что мазут обладает выраженными гидрофобными свойствами, что ведет к деградации почвы.

Научный руководитель: к.б.н., доцент М.В.Кубарева

**В. О. БЕЛЯЕВА**

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОНОСНОСТИ СОЛЯНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ШАХТНОГО ПОЛЯ РУДНИКА БКПРУ-2**

В настоящее время установлено, что газовый фактор является определяющим в механизме развязывания и протекания газодинамических явлений в калийных рудниках. Без участия газового фактора газодинамические явления не происходят. В этой связи исследование газоносности соляных пород является актуальной задачей, т.к. количественные характеристики газоносности используются при прогнозировании зон, опасных по ГДЯ, и разработке научно обоснованных параметров профилактического дегазационного бурения для предотвращения газодинамических явлений из кровли и почвы горных выработок.

Соляные породы Верхнекамского месторождения газоносны. Газоносность породы определяется объемом газа, приходящимся на единицу массы или объема породы, и его составом.

Методика шахтных экспериментальных исследований газоносности в руднике БКПРУ-2 включала определение газоносности пород по свободным газам и определение компонентного состава свободных газов. Методика исследований реализовывалась путем шахтных инструментальных наблюдений за газовыделениями из шпуров диаметром 42 мм, пробуренных в горных выработках с одновременным отбором проб свободного газа.

Для проведения анализа компонентного состава газов используются современные газовые хроматографы 450-GC компании «Varian, Inc».

Для условий шахтного поля рудника БКПРУ-2 в результате шахтных экспериментальных исследований были получены данные о газоносности по свободным газам следующих пластов: В, Б-В, АБ, А-КрI, КрI, КрI-КрII, КрII и КрIII. Выборки данных шахтных экспериментальных исследований газоносности соляных пород по свободным газам были подвергнуты процедурам проверки на однородность и статистической обработки данных.

На добычных пластах АБ и КрII обнаружено большое содержание  $N_2$  и  $CH_4$ .

Научный руководитель: д.т.н., профессор, заведующий кафедры Разработки месторождений полезных ископаемых ПНИПУС. С. Андрейко.

**М.С. БУКРИН**

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АМОРТИЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ МНОГОКАНАТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК**

Для обеспечения безопасной эксплуатации многоканатных шахтных подъемных установок они оснащены амортизирующими устройствами для торможения подъемных сосудов при проскальзывании подъемных канатов по шкиву трения.

В работе рассмотрены принципиальные схемы компоновки и установки амортизаторов в нижней части шахтного ствола и на копре. Выполнен расчет требуемой высоты переподъема для безопасной остановки подъемных сосудов в амортизирующих устройствах. Расчеты выполнены для двух видов амортизаторов: канатно винтовых и клиновых деревянных. Определена эффективность каждого вида амортизаторов. Показаны преимущества использования трехручьевых амортизаторов с последовательной протяжкой амортизационных канатов: повышается плавность остановки подъемных сосудов и возможность ступенчатого торможения, а так же обеспечивается более гибкая настройка амортизаторов. Предложена схема установки конструкции перспективного амортизирующего устройства для многоканатных подъемных установок.

Научный руководитель: д.т.н., доц., Г.Д. Трифанов.

**И.Д. ИДРИСОВ, П.В. ЧЕРЕПАНОВ**

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ РЕАГЕНТОВ НА СВОЙСТВА ТАМПОНАЖНОГО РАСТВОРА**

Проблема качественного крепления скважин остается актуальной долгие годы. Обеспечение равномерности заполнения затрубного пространства и высокой плотности контакта цементного камня как с обсадной колонной, так и с горной породой является многофакторной задачей, при решении которой требуется учитывать состояние и геометрию ствола скважины и технологические свойства бурового промывочного, буферного и тампонажного растворов.

В работе описаны результаты лабораторных исследований влияния реагентов на основе эфиров целлюлозы на водоудерживающие и структурно-реологические свойства тампонажных растворов. Экспериментально исследованы реагенты на основе метилпропилцеллюлозы и гидроксипропилцеллюлозы, имеющие разную степень полимеризации и молекулярный вес.

С увеличением концентрации реагентов в тампонажном растворе снижается его подвижность. При этом растекаемость тампонажного раствора снижается с увеличением температуры и концентрации реагента. Для пластической вязкости и динамического напряжения сдвига получены тенденции роста значений параметров с увеличением концентрации реагентов и температуры опыта. Статическое напряжение сдвига имеет прямую зависимость от концентрации реагентов и обратную – от температуры опыта. Оптимальные результаты получены с реагентом МЦ-20000. При концентрациях реагентов более 0,2% необходим ввод пластифицирующих добавок в тампонажный раствор.

Установлено положительное влияние вводимых реагентов на водоотдачу тампонажного раствора. При низких и нормальных температурах достигается снижение водоотдачи до 150 см<sup>3</sup>/30 мин, при умеренных температурах – до 250 см<sup>3</sup>/30 мин. Наилучшие результаты по снижению водоотдачи получены с реагентами НЕС-100000 и Natrosol 250 ННР.

При дополнительной обработке тампонажного раствора пластифицирующей добавкой возможно получение тампонажных растворов с рабочими технологическими параметрами.

Научный руководитель: старший преподаватель каф. НГТ Куницких А. А.

## **УЧЕТ ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНОГО СТРОЕНИЯ ПРИ ПОИСКАХ И РАЗРАБОТКЕ РИФОВЫХ РЕЗЕРВУАРОВ БЕРЕЗНИКОВСКОГО ПАЛЕОПЛАТО**

Березниковское палеоплато позднефранско-турнейского возраста относится к территории Соликамской депрессии, потенциал нефтеносности которой один из самых высоких в Пермском крае. Наибольшей перспективностью здесь обладает верхнедевонско-турнейский нефтегазоносный комплекс. Исследуемый объект Т-Фм является рифовым массивом, который имеет сложное строение. Фациальная неоднородность обуславливает трудности при поисках, разведке и разработке месторождений на Березниковском палеоплато. В работе приведен анализ литолого-фациального строения верхнедевонско-турнейских рифов Березниковского палеоплато. Выполнено сопоставление рифовых массивов северной и южной части палеоплато. Оценены коллекторские свойства и выполнен анализ промысловых характеристик отдельно по фациальным зонам. Составлена схема прогнозных фациальных зон месторождения им. Архангельского.

Были выделены следующие фациальные зоны: зона биогермного ядра, зона верхнего тылового шлейфа рифа, зона нижнего тылового шлейфа рифа и зона передового склона. В ходе анализа установлено, что наиболее благоприятной является зона верхнего тылового шлейфа. Дебиты данной зоны стабильны и высоки. Что касается зоны передового склона, то первоначально её дебиты достигают высоких значений, но затем происходит быстрое снижение показателей. Это обусловлено развитой трещиноватостью. При падении давления трещины смыкаются и проницаемость снижается. Зона биогермного ядра имеет наибольшие значения эффективных нефтенасыщенных толщин, однако фильтрационно-емкостные свойства данной зоны достаточно низкие. Для этой зоны рекомендуется проведение кислотных обработок и кислотного гидроразрыва пласта. Зона нижнего тылового шлейфа имеет средние значения по фильтрационно-емкостным свойствам и по дебитам.

В результате работы выделены зоны, в которых добыча нефти наиболее эффективна и неэффективна, предложены рекомендации для оптимизации добычи нефти. Для подготовленных структур Березниковского палеоплато выделены перспективные зоны для заложения первых поисково-оценочных скважин.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Кривошеков Сергей Николаевич

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ «УРАЛ»**

Выполнен анализ схем резания массивов калийно-магниевых солей исполнительными органами проходческо-очистных комбайнов типа «Урал». Доказано, что принятые конструктивные параметры породоразрушающих исполнительных органов данных выемочных машин определяют значительный выход мелких классов в продуктах отбойки при стружкообразовании и обуславливают повышенные удельные энергозатраты процесса разрушения калийного массива. Наиболее сложные схемы резания забоя реализуют резцы поворотных дисков, траектории движения которых определяются частотой относительного и переносного вращения, а также скоростью подачи комбайна. Отмечено, что удельные энергозатраты на отделение калийной руды вспомогательными исполнительными органами в 5–6 раз выше, чем при разрушении забоя резцами планетарно-дисковых исполнительных органов комбайна. Представлены результаты экспериментальных исследований процесса разрушения калийной руды последовательными, шахматными и перекрестными резами. Доказана эффективность перекрестной схемы резания калийных солей по сравнению с традиционными схемами разрушения массива: снижаются удельные энергозатраты на 25–30 % и выход мелких необогатимых фракций в руде на порядок. Предложена конструкция перспективного планетарно-дискового исполнительного органа комбайна, осуществляющего разрушение калийного массива пересекающимися резами. Обоснована необходимость использования шахматной схемы резания при разрушении калийного массива вспомогательными исполнительными органами комбайнов типа «Урал». Реализация предложенных технических решений, направленных на совершенствование исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов типа «Урал», не требует значительных материальных затрат и кардинального изменения технологии производства данных добычных машин.

Научный руководитель: к.т.н., Д.И. Шишлянников.

## **ПОДБОР КИСЛОТНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СОЛИКАМСКОЙ ДЕПРЕССИИ С УЧЁТОМ ГЕОЛОГО-ФИЗИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГОРНЫХ ПОРОД**

Кислотные обработки – одни из наиболее распространенных в мировой практике нефтедобычи способов интенсификации притока, особенно в карбонатных коллекторах. С учетом значительной доли запасов углеводородов, приуроченных к карбонатным отложениям верхнего девона, нижнего и среднего карбона на территории так называемой северной группы месторождений, разрабатываемых ООО «ЛУКОЙЛ – ПЕРМЬ», кислотная обработка является весьма перспективным методом увеличения продуктивности скважин.

В рамках работы были проведены опыты по подбору оптимальных кислотных составов для месторождений Соликамской депрессии. Исследования проходили в 3 этапа: исследования в свободном объеме, фильтрационные исследования, томографические исследования.

На этапе исследований в свободном объеме была определена карбонатность пород, проведена проверка на совместимость пластовых флюидов и кислотных составов, проведена оценка замедлителей реакции.

Фильтрационные исследования проведены на 65 образцов керна при различных объемах, скоростях закачки кислотных составов и их выдержки в образце. При проведении исследований моделировались реальные пластовые термодинамические условия. Два кислотных состава, которые показали высокую эффективность на данном этапе были рекомендованы для применения.

Затем все результаты фильтрационных исследований были подтверждены методом рентгеновской томографии, который показал нам образование каналов внутри образца наглядно.

В результате проведенной работы установлено, что помимо рецептур кислотных составов, огромное влияние на успешность кислотных обработок оказывают карбонатность породы и структура порового пространства. Для подбора кислотного состава необходим комплексный анализ технологических и геолого-физических параметров.

Научный руководитель: д.г.-м.н., профессор С.В.Галкин

**М.М. ТЯКТЕВ**

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОПРИВОДОВ ШТАНГОВЫХ СКВАЖИННЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК**

Выполнен анализ конструктивных особенностей приводов штанговых скважинных насосных установок (ШСНУ) для добычи нефти. Доказана актуальность задачи повышения эффективности использования насосного оборудования нефтепромыслов: снижения удельных энергозатрат на добычу пластовой жидкости, увеличения надежности узлов насосных установок, внедрения интеллектуальных станций контроля и управления, обеспечивающих комплексную оценку показателей работы систем «скважина – ШСНУ» и регулирование параметров работы приводов в широких пределах. Представлены результаты опытно-промышленных испытаний гидравлических приводов ШСНУ. Доказано, что применение гидравлических приводов ШСНУ рационально при разработке вновь вводимых в эксплуатацию скважин, при периодической и кратковременной эксплуатации скважин, а также при устранении асфальтосмолопарафиновых отложений. Мобильность и меньшая металлоёмкость, по сравнению с механическими станками-качалками, обуславливают снижение временных и материальных затрат на монтаж гидравлических приводов. Наличие совершенных систем телеметрии и управления позволяет осуществлять комплексную оценку системы «привод–скважина» и изменять параметры работы гидропривода в широких пределах. В то же время, актуальными остаются задачи снижения энергопотребления, совершенствования конструкции и повышения надежности узлов гидравлических приводов ШСНУ. Ключевым фактором, сдерживающим внедрение и широкое использование перспективных приводов ШСНУ, является их высокая стоимость по сравнению с балансирными станками-качалками, оснащенными асинхронными двигателями. Одним из путей снижения стоимости перспективных приводов ШСНУ является отказ от импортных комплектующих и использование отечественных аналогов при их производстве.

**О.О. ЧЕРЁМУХИНА**

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗОН ВЛИЯНИЯ РАЗРАБОТКИ ЗАПАДНО-САЛЫМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ НА КОЛЕБАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

В общем случае проявление сдвижений и деформаций при разработке месторождений углеводородов происходит из-за потери первоначального пластового давления.

Основной причиной оседаний земной поверхности в процессе жизнедеятельности месторождения является уплотнение продуктивных пород-коллекторов, что происходит в результате падения пластового давления. А основной причиной пучения (поднятия) земной поверхности является высокоинтенсивное применение системы поддержания пластового давления (ППД). Кроме этого, при определении природы деформаций стоит учитывать стадию разработки месторождения.

Предположим, что на месторождении вокруг забоя каждой из скважин выделяется область, в пределах которой в результате ведения добычных работ происходит изменение давления. Далее от границ данной зоны под углом влияния  $\alpha$  на земной поверхности образуется мульда. Таким образом, в массиве горных пород формируется зона влияния. Если зоны влияния разработки от соседних скважин пересекаются, то для конкретной точки на земной поверхности влияние от изменения пластового давления будет суммироваться с учётом функции, описывающей закон распределения влияния колебаний пластового давления внутри зоны влияния, например, линейный, степенной, или логарифмический закон. Отметим, что в качестве контрольной точки на земной поверхности может служить репер.

В свою очередь, проявление деформаций на земной поверхности происходит с некоторым запаздыванием. Так, для северо-западной и северо-восточной частей месторождения запаздывание составляет один месяц, а для южной части – четыре месяца.

Научный руководитель: научный сотрудник каф. МДГиГИС Е.С. Богданец

**К.В. БИРИНЦЕВА**

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

## **РАЗРАБОТКА САМОУСТАНОВЛИВАЮЩИХСЯ РЕЗЦОВ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИХ КРЕПЛЕНИЯ НА ИСПОЛНИТЕЛЬНОМ ОРГАНЕ ГОРНОГО КОМБАЙНА**

Рассмотрены вопросы эксплуатации породоразрушающего инструмента выемочных комбайнов. Доказано, что наибольшее количество отказов резцов горных машин происходит вследствие износа головной части и потери твердоплавкой вставки. Интенсивный износ головной части резца осуществляется под действием боковых нагрузок, возникновение которых обусловлено жёстким креплением резцедержателя к исполнительному органу. Эксплуатация резцов с нарушенным состоянием приводит к увеличению силовых и энергетических показателей процесса разрушения горных пород. Затраты на замену режущего инструмента, в зависимости от крепости и абразивности разрушаемой породы, могут достигать до 30 % от общей стоимости работ по проведению выработок.

Увеличение ресурса породоразрушающего инструмента горных комбайнов возможно посредством использования резцедержателей и резцов подвижных относительно исполнительного органа горной машины, автоматически самоустанавливающихся в соответствии с заданной линией резания. Описаны конструкции и порядок работы устройств для крепления резца на исполнительных органах горных комбайнов и самоустанавливающихся поворотных резцов. Предложенные технические решения обеспечивают снижение энергоёмкости процесса разрушения массива и увеличение срока службы резцов проходческих и очистных комбайнов.

Применение предлагаемых устройств является перспективным для планетарно-дисковых исполнительных органов, обеспечивающих разрушение массива резами, параметры и направление которых существенно изменяются в зависимости от угла поворота резцовых дисков. Существенный эффект от внедрения разработок может быть достигнут при установке предлагаемых устройств на стреловидные исполнительные органы проходческих комбайнов, резцы которых в процессе разрушения горных пород имеют сложные циклоидные траектории движения.

**П.В. КОРШУНОВ, А.Н. ЛИСИЦИН, П.А. КУЗНЕЦОВ, М.А. ФЕДОРОВА**  
*Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева*

## **БОРЬБА С ПЕНООБРАЗОВАНИЕМ В МАСЛОСИСТЕМАХ НАЗЕМНЫХ ГТД**

Основу современных электростанций составляют газотурбинные двигатели. В связи с наличием существующих проблем в эксплуатации и непрерывным развитием авиа- и газотурбостроения, рационально применять новые разработки и подходы при проектировании ключевых узлов двигателей, изучать более детально физические процессы, происходящие в ГТД, дорабатывать и совершенствовать выпущенные ранее модели.

Одним из важнейших узлов любого газотурбинного двигателя являются опоры, а наиболее актуальной инженерной задачей в их исследовании является изучение маслотовоздушных систем (система смазки, суфлирования, откачки смеси из маслокартера), работоспособность которых на сегодняшний день мало изучена. Одной из значительных проблем при совместной работе систем опоры друг с другом является процесс пенообразования (барботажа). Проблема заключается в резком увеличении объема смеси, находящейся в полости маслокартера, что затрудняет ее удаление из опоры и негативно влияет на работоспособность подшипника путем увеличения его температуры и снижению ресурса. В настоящее время существуют два основных метода борьбы с пенообразованием в маслокартере: это использованием в системе суфлирования пеногасящих сеток, а второй – добавка в масло пеногасящих присадок.

В данной работе физические процессы, происходящие в маслосистеме, исследуются на примере газотурбинного двигателя ГТД-6/8РМ, разработанном на ПАО «НПО «Сатурн», г. Рыбинск. Осуществляется уход от традиционного допущения, что во время работы двигателя в маслосистеме присутствует только масло без посторонних включений. Результатом проведенных исследований являются описание характера течения различных типов потоков и процессов, происходящих в опорах ГТД, коробках агрегатов и трубопроводах при различных скоростях и температурах исследуемой среды.

Научный руководитель: к.т.н., доц. Лебедев В.В.

**П.А. КУЗНЕЦОВ, А.Н. ЛИСИЦИН, П.В. КОРШУНОВ**  
*Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева*

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОПРИВОДНОГО НАЗЕМНОГО ГТД**

Основными проблемами, с которой сталкиваются эксплуатанты ГТД малой и средней мощности являются течи маслосистемы, засорения фильтров, поломка агрегатов, обрывы рессор, невозвратные потери масла, которые на двигателях мощностью 10 МВт могут достигать 400 г/час. Также, используемые механические агрегаты подвержены усталостным напряжениям, механическому износу, имеют более низкий КПД в сравнении с электроприводными аналогами, а зависимость объема прокачки агрегатов от частоты вращения ротора двигателя, приводит к дефициту масла режима запуска.

В данной работе рассматривается вопрос модернизации наземных газотурбинных энергетических установок, производства ПАО «НПО «Сатурн» в диапазоне мощностей 6-10 МВт и анализируется возможность замены механической коробки приводов с агрегатами на электроприводные механизмы. В дальнейшем рассматривается полный отказ от маслосистем и переход от подшипников скольжения к электромагнитным подвесам. Математическое моделирование показывает, что использование новых насосов с высокочастотным электроприводом 400...1000 Гц и частотным управлением дает возможность перейти от нерегулируемых механических агрегатов, производительность которых раньше зависела от частоты вращения ротора ГТД, к полностью автоматизированным автономным модулям. Созданная экспериментальная модель в среде Matlab/Simulink демонстрирует эти возможности. Помимо этого, возможен перенос электрического генератора от коробки агрегатов в корпус компрессора низкого давления с целью полного отказа от механических агрегатов.

Проведенный экономический расчет показал, что модернизация коробки агрегатов (замена ее на электроприводной вариант) будет дороже, чем использование механического аналога в 2,5...3 раза в зависимости от кинематической схемы агрегата. Однако, результаты в виде снижения мощности, отбираемой на агрегаты и более плавное их управление, позволят увеличить общий КПД двигателя на 0,5...1%. Также ре-

гулируемое управление насосами позволяет более эффективно сжигать топливо, что в позволит окупить затраты и повысить рентабельность эксплуатируемых ГТД.

Научный руководитель: д.т.н., зав. каф. ЭПЭ Юдин А.В.

**Г.Н. ПАВЛЫЧЕВ**

*ФГБОУ ВПО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева»*

## **КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КАМЕР СГОРАНИЯ ВИХРЕВОГО ПРОТИВОТОЧНОГО ТИПА В ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТАХ**

Российское газотурбинное оборудование в основном представляет собой конверсионные технологии авиадвигателестроения. особенно актуально для ГТД средней мощности, которые используются в качестве привода ГПА. ГТД для привода ГПА представляет собой турбовальный двигатель со свободной турбиной. В таких ГТД используются авиационные кольцевые камеры сгорания переделанные на газообразное топливо. Такая концепция создания камер сгорания имеет проблемы с экологическими характеристиками, которые для наземных ГТД являются также важными. Кроме того авиационная камера сгорания при ее использовании в наземном ГТД имеет проблемы с диагностикой, техническим обслуживанием и ремонтпригодностью. В данной работе рассматривается возможность применения камеры сгорания вихревого противоточного типа в ГТД для ГПА. Приводится описание конструкции камеры и результатов испытаний по определению аэродинамических и эмиссионных характеристик, полученных в ООО «Новая Энергия».

В предлагаемой камере сгорания ускоряется процесс испарения топлива за счёт лучшего перемешивания и образуется гомогенная горючая смесь, поэтому время пребывания топлива в камере сгорания уменьшается, что позволяет сократить длину КС (а это особенно важно при конверсионном исполнении), а также способствует снижению выбросов NO<sub>x</sub>, поскольку сокращается время пребывания продуктов сгорания в зоне высоких температур. Кроме того в горении участвует большее количество воздуха, поступающего в КС, а значит уменьшается расход охлаждающего воздуха на создание пристеночной завесы, что способствует снижению выбросов оксидов углерода и несгоревших углеводородов, так как в меньшей степени происходит «замораживание» продуктов горения, вовлекаемых в слои воздуха, охлаждающие стенки жаровой трубы.

Научный руководитель: НОВИКОВ И.Н., канд. техн. наук, старший преподаватель.

<sup>1</sup> В.А. САСАРОВ, <sup>1</sup> А.С. СЛОБОДЯНИК

<sup>1</sup>*Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева.*  
<sup>2</sup>*ООО «Новая Энергия».*

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОГО РАЗРЯДА В НЕФТИ, С ЦЕЛЮ СНИЖЕНИЯ ВЯЗКОСТИ**

Часто поднимается вопрос о совершенствовании технологии добычи, получения и транспортировки нефти. Одним из основных физических свойств нефти является вязкость, которая может достигать таких значений, что добыча и перекачка становятся затруднительными. Существуют способы и установки по снижению вязкости нефти, отличающиеся по способу воздействия: термическим нагревом, химическими присадками, электрическими полями, ультразвуковыми колебаниями, электрическими разрядами, магнитными полями либо комплексным воздействием.

В работе рассмотрена энергоэффективность воздействия электрогидродинамическими разрядами. Предметом исследования является воздействие электрогидродинамическими разрядами и разработка устройства по созданию высокоинтенсивных электрических разрядов.

Суть метода заключается в воздействии на формируемый поток нефти электрогидродинамическими ударами. Это приводит к развитию кавитации, формированию импульсов давления и интенсификации тепло- и массообменных процессов. Происходит разрыв химических связей с образованием свободных радикалов, изменение физико-химических свойств нефти, уменьшение плотности и др.

Целью работы является разработка и исследование способа снижения вязкости нефти при воздействии на поток жидкости коротко-импульсными электрическими разрядами необходимой мощности.



Такой способ показал себя наиболее эффективным. В процессе работы проведено исследование источника, осуществляющего данные разряды, и предложен вариант опытного образца разрядной камеры с различными вариантами разрядных устройств.

Результаты представленной работы могут рекомендоваться к внедрению на всех этапах нефтепереработки.

Научный руководитель: к.т.н., доц. <sup>1</sup>Манин А.В.; консультант: к.т.н. <sup>2</sup>Новиков И.Н.

**И.С. ТИМОФЕЕВ**

*ФГБОУ ВПО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева»*

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ НА БАЗЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ГТД И ГПА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ЗАЯВЛЕННУЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ЖАРКОМ КЛИМАТЕ**

Обязательным элементом газопроводов являются газоперекачивающие станции, снабжаемые газоперекачивающими агрегатами (ГПА), имеющими в своем составе газотурбинные двигатели (ГТД). Недостатком классической схемы ГПА с отечественными ГТД является падение мощности привода при температурах наружного воздуха выше +20°C. Это объясняется тем, что при проектировании ГТД для привода ГПА используются конверсионные технологии. Это делает проблематичным использование Российского оборудования ГПА в станях с жарким климатом.

Решением данной проблемы может либо увеличение количества машин на станции, либо применение сложного технологического цикла. Для повышения производительности компрессорной станции можно использовать энергию выхлопных газов. Для этого необходимо установить котел-утилизатор и паротурбинную установку (ПТУ). Данная схема была разработана для ГПА мощностью 8 МВт на базе двигателя ГТД-6.3РМ/8 производства ОАО «НПО Сатурн». Произведен выбор оборудования и расчет технологической схемы ГПС.

Доказано, что технологическая схема газоперекачивающей станции (ГПС) с поддержанием постоянной производительности за счет введения в схему ПТУ является экономически выгодной в долгосрочной перспективе, по сравнению с введением в схему ГПС дополнительного ГПА.

Научный руководитель: Вятков В.В., канд. техн. наук, доцент.

<sup>1</sup> **М.А. ФЕДОРОВА, <sup>1</sup>П.В. КОРШУНОВ**

*<sup>1</sup>Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева  
<sup>2</sup>ООО «Новая Энергия»*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА УСТАНОВКИ ПО УТИЛИЗАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПУТЕМ ИХ ГАЗИФИКАЦИИ**

В России отходы в большинстве случаев складываются на полигонах, и лишь малая их часть утилизируется посредством сжигания. Но при этом имеется ряд недостатков, связанных с уровнем вредных выбросов в окружающую среду. Поэтому необходимо организовать процесс горения таким образом, чтобы выбросы в атмосферу были минимальны. С этой задачей успешно справляется автономная мобильная установка, которая разработана ООО «Новая Энергия» и в настоящее время функционирует в г. Рыбинск. Принцип работы установки основан на утилизации медицинских, биологических, твердых бытовых и промышленных отходов путем газификации. Технологический процесс утилизации отходов происходит по определенному циклу: загрузка отходов в термохимический реактор; пиролиз и газификация отходов в термохимическом реакторе; сжигание образующегося горючего газа; охлаждение продуктов сгорания; удаление золы. Экологическая безопасность продуктов сгорания обеспечивается применением камеры сгорания вихревого противоточного типа, в ней достигается максимальная полнота сгорания. Сера- и хлорсодержащие компоненты нейтрализуются в скруббере (циклон – охладитель – утилизатор). На выходе из установки дымовой газ по содержанию вредных веществ соответствует санитарным нормам.

Целью представленной работы является обеспечение наибольшей экономической эффективности путем оптимизации рабочего процесса представленной установки. Оптимизация основана на получении в реакторе богатой газов смеси, и сжигании ее в камере сгорания с меньшим количеством топлива. Для подогрева воздуха, используемого для дутья в реакторе, используется циклон – охладитель - утилизатор, и работа установки осуществляется в непрерывном режиме.

После оптимизации установка сохраняет соответствие экологическим требованиям, а так же становится экономически выгодной.

Научный руководитель: к.т.н., доц. <sup>1</sup>Лебедев В.В.; консультант: к.т.н. <sup>2</sup>Новиков И.Н.

**О.А. АНТИПОВА**

*РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина*

## **ТИПИЗАЦИЯ РАЗРЕЗОВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МОШАКОВСКОЙ СВИТЫ ТАСЕЕВСКОЙ СЕРИИ ПРИАНГАРЬЯ**

Промышленная газоносность разреза осадочного чехла Приангарья доказана открытием таких месторождений как Абаканское, Ильбокичское, Берямбинское, Имбинское, Агалеевское. Основные притоки УВ были получены из отложений тасеевской серии (верхний рифей-венд) и вышележащих отложений оскобинской свиты (венд). Объектом исследований являются терригенные и терригенно-карбонатные пестроцветные отложения мошакловской свиты тасеевской серии. Отложения мошакловской свиты и ее аналогов отличаются крайне неоднородным строением и литологическим составом, что затрудняет прогнозирование распространения коллекторских прослоев по площади и в разрезе осадочного чехла.

В работе представлены результаты литологического изучения керна скважин, пробуренных в различных структурных зонах: на склоне Богучано-Манзинского выступа, в зоне Ангарских складок, на склоне Байкитской антеклизы, на севере Ангаро-Ленской ступени.

Установлено, что в пределах исследуемого региона отложения мошакловской свиты формировались в различных фациальных обстановках. На севере и на юге исследуемой территории отложения представлены алевро-песчаными и глинистыми отложениями аллювиально-дельтового комплекса. В центральной части исследуемого региона отложения представлены песчано-алевро-глинистыми породами, сформировавшимися преимущественно в условиях приливно-отливной равнины. В пределах приливно-отливной равнины существовали обширные области, где условия осадконакопления сходны с современными солеными маршами.

В работе выявлены обстановки формирования продуктивных отложений мошакловской свиты и определены закономерности распространения пород-коллекторов. Выявлено, что наиболее мощные коллекторские прослои выявлены в пределах Ильбокичской площади.

Научный руководитель: к.г.-м.н., ст. преп. В.В. Пошибаев

**Д.С. БУРДИНСКИЙ**

*Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина*

## **ТЕХНОЛОГИЯ ХОЛОДНОГО ПОТОКА**

**Научный руководитель:** к.ф.-м.н., доцент Сулейманов В.А.

Цель данной работы является обзор публикаций на тему технологии холодного потока, направленной на применение ряда новых технических решений и технологий для обеспечения бесперебойного потока скважинной продукции по подводной трубопроводной системе. Глубоководные условия способствуют образованию гидратов, чтобы справиться с данной проблемой, были разработаны технологии, основанные на применении химических реагентов, изоляции, нагреве трубопровода.

Данная технология на современном этапе находится в стадии развития и представляет систему, в которой добытый углеводород протекает в неизолированном стальном трубопроводе в условиях термодинамического равновесия с окружающей средой (морская вода) без химических модификаторов и нагрева и служит альтернативой для контроля гидратообразования и парафинообразования в морских трубопроводах в установившихся условиях.

Принцип технологии заключается в том, что, гидратообразование происходит в контролируемых условиях, создаваемых специальным оборудованием. Полученные частицы гидрата легко протекают в

большой части жидкой смеси (суспензии), из чего следует отсутствие условий для агломерации гидратов, способных закупорить трубопровод.

В работе было показано, что технология холодного потока предполагает низкие затраты с точки зрения обслуживания трубопровода, а также обладает потенциалом для перекачки нефти и газа на большие дистанции (более 200 км). Кроме того, в исследовании предлагается предложить использование данной технологии в России. Предполагается, что наиболее перспективной областью применения технологии может служить Арктический шельф, а также месторождения, находящиеся в холодных и суровых климатических условиях.

Так как технология холодной потока является относительно новой, то необходимы дальнейшие опытно-конструкторские исследования. Уделив должное количество внимания данной технологии, в будущем мы сможем решить проблемы разработки и эксплуатации удаленных месторождений Арктического шельфа.

**Д.В.БЫКОВ**

*РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ НИЖНЕГО ЗАКАНЧИВАНИЯ И УСТЬЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ СКВАЖИН ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОБЫЧИ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ИМ. Ю. КОРЧАГИНА НА ОСНОВЕ ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Нефтегазоконденсатное месторождение им. Ю. Корчагина в российском секторе акватории Каспийского моря открыто в 2000 г., поисковой скважиной 1-Широтная. Основная нефтегазовая залежь расположена в неокомских и волжских отложениях.

Бурение первых эксплуатационных скважин выявило сложный геологический разрез залежи неокомских и волжских отложений. Основным осложняющим фактором при разработке месторождения является интенсивный прорыв газа газовой шапки к забоям добывающих горизонтальных скважин.

Анализ показал, что прорыва газа на первых пробуренных скважинах обусловлены заколонными перетоками из газовой шапки, что повлияло на изменение решений по нижнему заканчиванию последующих пробуренных скважин. Для минимизации негативного влияния прорывов газа использованы нижние заканчивания с устройствами контроля притока различных конструкций: пассивные устройства ResflowICD (забойные штуцеры) и AICD производства компаний Schlumberger и Tendeka, а также активные гидравлически управляемые восьмипозиционные клапаны (AFCV) «Odin».

Применение сложных конструкций нижнего заканчивания горизонтальных скважин нацелено на снижение прорывов газа в зонах, приуроченных к разломам, компенсацию различий ФЕС и потерь давления вдоль ствола регулированием распределения депрессии.

Непрерывное обеспечение максимально возможной добычи нефти при наличии ограничений оборудования, размещенного на платформе, на добычу газа предполагает ежесуточное управление режимами эксплуатации горизонтальных скважин. Эта задача требует создания прецизионной геолого-технологической модели, детально описывающей процессы многофазного течения как в пласте, так и в элементах конструкций нижнего заканчивания скважин.

**Г.А.ГАЛСТЯН**

*РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина*

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИНКЛИНОМЕТРИИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН**

Использование данных инклинометрии для получения информации о геологическом строении продуктивных пластов является одним из определяющих факторов при анализе скважинной информации. От достоверности сведений о положении ствола скважины во многом зависит:

- правильность корреляции материалов ГИС;
- правильность привязки сейсмических отражений к скважинам;
- достоверность структурных построений;
- достоверность оценки положения уровней межфлюидных;
- достоверность оценки начальных и локализации остаточных запасов нефти и газа;

- эффективность планирования работ по доразведке и разработке месторождения.

На современном этапе развития технологий геологического моделирования залежей нефти и газа важна не только информация о положении ствола скважины в пространстве, но не менее важна информация о неопределенности (погрешности) положения траектории ствола, т.к. погрешности инклинометрии никогда не бывают нулевыми.

Включение такой информации в процесс геофизической интерпретации и геологического моделирования позволяет повысить достоверность представлений о строении залежей, о содержащихся в них запасах, локализовать участки с невыработанными запасами на конечных стадиях разработки месторождений. При этом оценка неопределенности положения скважины (модель погрешностей) является ключевым элементом как безопасного экономически эффективного бурения, так и надежного геомоделирования.

Научный руководитель: д.г.-м.н., доцент Коваленко К.В.

**К.Р.ГЛИЧЕВА**

*Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М.Губкина*

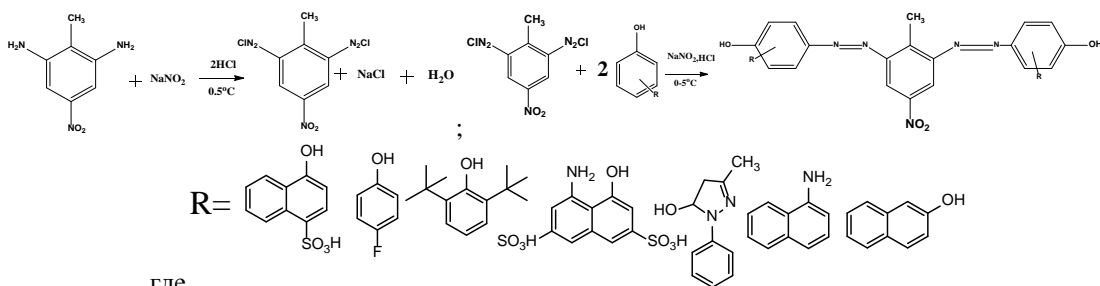
## **ВЛИЯНИЕ ПИГМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ ТНТ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМОЧЕВИННЫХ СМАЗОК**

В настоящее время большой проблемой является утилизация боеприпасов с истекшим сроком хранения. Их утилизируют путем взрыва, захоронения или заполнения карьеров.

В данной работе предлагается использовать химическую модификацию ТНТ (тринитротолуола) в качестве исходного продукта для получения пигментов, с последующим добавлением его в полимочевинную смазку в качестве одного из компонентов загустителя.

Полимочевинные смазки считаются перспективными смазочными материалами для использования в современной технике в качестве многофункциональных и универсальных смазок. Наиболее целесообразным считается их применение в жестких условиях эксплуатации благодаря способности обеспечивать работоспособность механизмов в условиях высоких температур и нагрузок, в контакте с агрессивной средой и водяным паром. Однако они обладают недостаточно высокими смазочными трибологическими свойствами.

Для получения пигментов, нами была проведена реакция диазосочетания 2,6-диамино-4-нитротолуола, полученного на основе модифицированного тринитротолуола (ТНТ).



Введение пигментов улучшило основные трибологические свойства, такие как: температура каплепадения, коллоидная стабильность и пенетрация.

Научные руководители: к.х.н., доцент К.Г.Алексанян; к.т.н., доцент А.Ю.Килякова

**Д.Ю.КАЛАЧЕВА**

*РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина*

## **ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ НА РЕГИОНАЛЬНОМ И ЛОКАЛЬНОМ УРОВНЕ**

Баженовская свита (БС) – регионально распространенная на территории Западно-Сибирского нефтегазосного бассейна нефтематеринская порода. Отложения БС являются нефтематеринскими с активно протекающими процессами генерации, миграции углеводородов (УВ). Нефтематеринские свойства БС определяет значительное обогащение пород свиты сапропелевым органическим веществом (ОВ), кото-

рое в большей части бассейна находится в главной зоне нефтеобразования (ГЗН), определяющейся градацией катагенеза МК<sub>1</sub>-МК<sub>2</sub>. Тип исходного ОВ зависит от обстановки осадконакопления, для которой характерны определенные живые организмы (морские, водоросли, наземная растительность). Все эти факторы в совокупности определяют тип, качество, количество ОВ. Зональность седиментогенеза также влияет на степень реализации потенциала ОВ, т.е. на количество сгенерированных УВ и их тип (Н.Б.Вассоевич, 1954 г.). В частности, для различных зон седиментогенеза прослеживаются различные стадии и процессы преобразования ОВ, различное содержание ОВ в породах БС. Поскольку на территории Западной Сибири в волжское время существовало несколько палеофациальных областей, то данная особенность внесла зональность в преобразование ОВ БС. Поэтому детальные геохимические исследования керн и флюидов БС, направленные на установление параметров ОВ, условий его накопления, имеют особую актуальность.

Для выявления вариаций в условиях осадконакопления отложений БС, изменчивости потенциала и зрелости ОВ, был произведен детальный геохимический анализ флюидов, полученных из отложений БС на территории ХМАО, ЯНАО, Томской области. На основании биомаркерного анализа были выявлены вариации в условиях накопления ОВ в зависимости от территории исследования, подобраны коэффициенты, дающие наиболее достоверные корреляции с данными физико-химического состава. По результатам пиролических исследований были получены литофациальные кривые, отображающие смену условий осадконакопления, в том числе на границе волжского и берриасского времени, и, как следствие, – качества и количества ОВ. Полученные вариации также коррелируют с литологическим составом пород.

Научный руководитель: д.т.н, профессор Кирилл Владимирович Стрижнев.

**Ю.Н. КОВАЛЕВА, Е.С. БОБРОВСКИЙ**  
*РГУ нефти и газа (НИУ) им.И.М.Губкина*

## **ДЕАСФАЛЬТИЗАЦИЯ СЕЛЕКТИВНЫМИ РАСТВОРИТЕЛЯМИ КАК МЕТОД ПЕРЕРАБОТКИ ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ**

В общем балансе добываемого нефтяного сырья наблюдается существенное увеличение доли высоковязких нефтей (ВВН) и природных битумов (ПБ). Переработка подобных нефтей может быть связана с процессом их предварительной деасфальтизации, интенсификация которого представляет научный и практический интерес. В данной работе исследованы свойства асфальтенов, выделенных различными растворителями из природного битума Ново-Елховского месторождения (Республика Татарстан). Цель работы – подобрать растворитель для выделения наиболее ароматичных и наиболее склонных к флокуляции асфальтенов из ВВН и ПБ.

В качестве осадителей использованы индивидуальные углеводороды (н-пентан, н-гексан, н-гептан, н-октан), а также их смеси (н-пентан – н-гексан, н-пентан – н-гептан, н-пентан – н-октан, н-пентан – н-гексан – н-октан), добавляемые в пятикратном избытке (мас.).

Для анализа эффективности растворителей в процессе деасфальтизации использован метод ИК-спектроскопии. При сопоставлении ИК-спектров асфальтенов использованы следующие полосы поглощения: 1600 см<sup>-1</sup> – характеризует присутствие в молекуле ароматических структур; 720 и 1380 см<sup>-1</sup> характеризуют содержание метильных и метиленовых групп в парафиновых фрагментах. Соотношение оптических плотностей в максимумах данных полос поглощения позволило получить спектральные коэффициенты: ароматичности  $C_{аром} = D_{1600}/D_{720}$ ; алифатичности  $C_{алиф} = (D_{720} + D_{1380})/D_{1600}$ ; разветвленности  $C_{разв} = D_{720}/D_{1380}$ .

В результате обработки экспериментальных данных обнаружено, что в ряду смесей растворитель н-пентан – н-гексан выделяет асфальтены А1 с наибольшим  $C_{аром}$  и асфальтены А2 с наибольшим  $C_{алиф}$ . Также удалось оценить устойчивость асфальтенов к выпадению.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Б.П.Туманян

**А.В. КОРОБЕЙНИКОВ**  
*РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина*

## **ПОДБОР КОНФИГУРАЦИИ ДЛЯ УСТАНОВКИ ГАЗОФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ПАО “САРАТОВСКИЙ НПЗ” С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВРИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

В данной работе дана характеристика газовой смеси поступающей на установку газофракционирования с установок АВТ, риформинга и изомеризации, а также приведены физико-химические характеристики компонентов газа и свойства газовой смеси. Согласно поставленной руководством предприятия задаче список продуктов установки газофракционирования представляет собой сухой газ (АВ), технический пропан

(С), бутановая смесь (DE), пентаны и выше (FG). Далее была изучена номенклатура сжиженных газов на рынке и предложены варианты с получением смеси пропан-бутановой технической и пропан-бутана автомобильного. Основываясь на эвристическом методе разработки последовательности фракционирования, был синтезирован ряд схем, из которых для анализа были отобраны две наиболее перспективные. Первая – с деэтанализатором, депропанализатором и т.д., а вторая – с отделением пропана в дистилляте первой колонны. Критерием являлся коэффициент легкости разделения CES (coefficient of ease of separation) для каждой из ступеней деления, рассчитанный исходя из относительной летучести компонентов (по методу Сарданашвили-Львова) и мольного отношения дистиллят/остаток. Были определены минимальные флегмовые числа и минимальные числа тарелок для каждой из колонн, определен оптимум ввода сырья в колонну. После чего в программе AspenHYSYS8.0 в статическом режиме были смоделированы обе схемы. Температура в конденсаторе (35<sup>0</sup>С) и качество сырья поддерживалось постоянным. Схемы были сравнены по таким критериям как степень извлечения целевого компонента и энергозатратам ( $Q_{reb}$  и  $Q_{cond}$ ), в результате чего классическая схема извлечения была отобрана для дальнейшей оптимизации.

На следующем этапе была проведена оптимизация выбранной схемы разделения. С целью использования потенциала фракционирования колонны деэтанализации для отбора бокового погона пропана (профиль концентраций указывает на содержание пропана 95% на 5-6 тарелках) или пропан-бутановой смеси проведен анализ профиля компонентного состава. Также рассмотрен вариант со стриппинг-секцией у деэтанализатора. На основе анализа схемы теплообмена были окончательно определены оптимальные значения режима работы колонн и выполнен экономический расчет.

Научный руководитель: к.т.н., заведующий базовой кафедрой «Проектирование нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических предприятий», А.В. Зуйков

**П.Е. КОШМАНОВ**

*«Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»*

## **АНАЛИЗ ВЫРАБОТКИ ЗАПАСОВ УВ ДЛЯ РАЗНЫХ ТИПОВ ПОРОД В ПРЕДЕЛАХ ЕДИНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ИМЕНИ Ю. КОРЧАГИНА**

Объектом исследования является нефтегазоконденсатное месторождение им. Корчагина. Особенности разработки морских месторождений – высокая сложность работ и повышенные риски при реализации проектов.

Основная доказанная продуктивность месторождения им. Ю. Корчагина связана с неокомскими и волжскими отложениями. Причем для неокомского надъяруса нефтегазоносность отложений связана с тремя терригенными пластами-коллекторами, когда как волжский ярус представлен карбонатным коллектором. Также ранее предполагалось наличие непроницаемой покрышки между залежами. Но по результатам мониторинга разработки месторождения установлена гидродинамическая связь между залежью волжского яруса и газовой шапкой неокома. При этом наблюдается значительный рост газового фактора и осложнения при эксплуатации скважин. Вследствие перечисленных выше факторов выработка запасов и достижение проектных показателей затрудняются. Если говорить о степени выработки запасов на н.в., то в сумме отбор НИЗ составляет 22,6 %, текущий КИН - 7,33%.

Цель работы – проанализировать информацию по работе пластов месторождения, показать текущую выработку запасов, полагаясь на актуальную геологическую основу, и на базе моделирования предложить вариант оптимизации системы разработки, повышающей степень и эффективность выработки запасов углеводородов.

В рамках выполнения работы была использована модель с выделением литотипов пород, т.к. использование упрощенных моделей дает нам неточную картину о выработанности запасов. Реализованный подход позволяет строить более точные модели и делать более корректные прогнозы.

Научный руководитель: к.г.-м.н Дорофеев Н.В.

**Д.М. ЛАЗУТКИН**

*РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина*

## **ОБОСНОВАНИЕ ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ДАННЫМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН**

Длительный мониторинг забойных параметров работающих нефтегазовых скважин с применением гидродинамических методов исследования (ГДИС) позволяет получать информацию о фильтрационных свойствах пласта, гидродинамической связи скважины с пластом, области дренирования, продуктивности скважины, энергетическом состоянии залежи и изменении этих параметров в динамике. Контроль разработки промыслово-геофизическими методами исследований (ПГИ) позволяет уточнять профиль притока/приёмистости анализируемых скважин.

В работе проанализированы гидродинамические исследования, выполненные без потерь добычи с помощью технологии регистрации кривой стабилизации забойного давления с помощью датчика, входящего в состав компоновки погружного центробежного насоса. Программа исследований включает:

- измерение изменения давления при вводе скважины в эксплуатацию (КСД-пуск);
- обоснование и сопровождение целевых геолого-технологических мероприятий (ГТМ);
- анализ эффективности выполненных ГТМ посредством оценки текущего скин-фактора скважины и пластового давления.

В работе приведены методы оценки текущей продуктивности и скин-факторов скважин, построения прогноза дальнейшей работы нефтяной скважины по данным ГДИС, представлен анализ результативности системы исследований методами ГИС-ПГИ-ГДИС, обоснованы критерии для выбора метода увеличения продуктивности скважин на примере продуктивных терригенных коллекторов.

Для интерпретации результатов измерений стационарных контрольных датчиков совместно с данными об изменении дебита скважины использован метод «Decline-Analyze» и алгоритмы программного комплекса «Topaze» компании Kappa Engineering.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Гуляев Д.Н.

**П.С.МИХАЙЛОВА**

*Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина*

## **ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУР И СВОЙСТВ ЭМУЛЬСИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ КИСЛОТНЫХ ОБРАБОТКАХ**

Кислотная обработка призабойной зоны скважины применяется для увеличения продуктивности добывающих и нагнетательных скважин. В нефтепромысловой практике немало случаев, когда кислотные обработки приводили к ухудшению эксплуатационных свойств коллектора. Одной из причин этого является возникновение осадков и высоковязких эмульсий при контакте нефти с кислотным составом.

На сегодняшний день возникновение осадков и высоковязких эмульсий объясняется наличием в нефти смол и асфальтенов, которые растворены в нефти. При появлении любых, смещающих равновесие факторов (изменение температуры, давления, pH, наличие заряженных частиц, окислителей и др.), происходит дестабилизация, и, как следствие, выпадение асфальтенов и смол. Эти соединения, из-за наличия поверхностно-активных свойств, оказывают стабилизирующее действие и для нефтекислотных эмульсий.

В данной работе были исследованы поведения различных нефтей при взаимодействии с соляной и сульфаминовой кислотами. На основании проведенных экспериментов выявлено, что поведение нефти зависит от группового состава, в частности от соотношения содержания смол к содержанию асфальтенов.

При смешении кислот с нефтью Ромашкинского месторождения были получены эмульсии. Исследованы реологические свойства полученных эмульсий, в частности, наблюдалось увеличение динамической вязкости нефтекислотной эмульсии по сравнению с нефтью и водонефтяной эмульсией. При исследовании эмульсии, образованной путем смешения нефти с сульфаминовой кислотой наблюдалась обратная тенденция – с увеличением концентрации кислоты вязкость нефтекислотной эмульсии снижалась.

На основании анализа фото эмульсий, полученных с помощью микроскопа ЛОМО Микмед-5, отмечено различие размеров и геометрии в зависимости от вида и концентрации кислот.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Л.Ф. Давлетшина

**Л.В. ПАПАДМИТРИЕВА**

*Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина*

## **СТЕЙКХОЛДЕР-МЕНЕДЖМЕНТ КАК ЧАСТЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОММУНИКАЦИЯМИ НЕФТЕГАЗОВОГО ПРОЕКТА**

В условиях быстро меняющейся рыночной конъюнктуры и высокой волатильности цен на углеводороды особенную актуальность приобретает точное и быстрое принятие управленческого решения. При этом топ-менеджмент и руководители компаний зачастую принимают серьезные решения операционного или стратегического характера, исходя из критериев оптимальности дохода и минимизации рисков. Однако при этом не всегда принимаются во внимание ожидания заинтересованных сторон (стейкхолдеров) - частных субъектов, имеющих собственные интересы и иногда ответственность, а также реализующие собственные роли в отношении проектов.

Стейкхолдер как объект управления обретают особенное значение в силу высокой динамичности, ограниченности во времени и в ресурсах, поэтому эффективное взаимодействие с ними и между ними позволяет не только выяснить взгляды сторон на решение проблем и достижения целей, но и избежать ряда неоправданных рисков, связанных с качеством, сроками и бюджетом.

В управлении коммуникациями нефтегазовых проектов можно выделить три ключевые проблемы:

1. Отсутствие единых устоявшихся стандартов взаимодействия со стейкхолдерами.
2. Отсутствие критериев эффективности, по которым можно определить, насколько успешно реализуются коммуникации в проекте.
3. Острая необходимость в узких специалистах – интерфейс-менеджерах, роль которых заключается в оптимизации управления коммуникациями проекта.

В данной работе предлагается ряд инструментов для классификации и анализа стейкхолдеров и отношений, возникающих в результате реализации проекта. Также в работе рассматривается концепция стейкхолдер-менеджмента для реализации эффективного управления коммуникациями с заинтересованными лицами на примере нефтегазового проекта, проведён анализ основных проблем и разработан ряд предложений для проектного офиса с целью организации успешного диалога с заинтересованными лицами на протяжении всего жизненного цикла проекта.

Научный руководитель: к.э.н., доцент А.А. Пельменёва

**А.В. ПОТАПОВ**

*РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МНОГОЗАБОЙНОГО БУРЕНИЯ НА ШЕЛЬФЕ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ РЕСПУБЛИКИ ВЬЕТНАМ**

Актуальность темы работы обусловлена возможностью снижения затрат на разработку месторождения, вследствие совмещения геологоразведочных работ с бурением эксплуатационных скважин.

Блок 12/11 расположен в 350 км к юго-востоку от города Вунг Тау. В пределах данного блока находится месторождение ThienNga на котором и рассматривается применение технологии многозабойного бурения. На месторождении пробурено 2 скважины, в первой из которых получен промышленный приток газа. Глубина моря в районе ведения работ составляет 81 м.

Строительство скважины планируется осуществлять в три основных этапа: 1) бурение пилотного наклонно-направленного ствола с последующим испытанием продуктивного горизонта в открытом стволе и дальнейшей его ликвидацией путем установки цементных мостов; 2) бурение первого горизонтального ствола; 3) зарезка из эксплуатационной колонны и бурение второго горизонтального ствола.

Соединение основного ствола с боковым будет реализовано по 5 уровню сложности, в соответствии с международной классификацией. В работе приводится обоснование выбора уровня сложности. Кроме того, подобрано необходимое оборудование, с учетом его наличия в конкретном регионе. Также был проанализирован опыт использования выбранного оборудования, в результате чего, выявлены основные достоинства и недостатки его применения.

Построение профиля скважины производилось с использованием специального программного обеспечения «LandmarkCompass». Приведено обоснование количества обсадных колонн, глубин их спуска и интервалов цементирования с учетом опыта строительства скважин на соседних месторождениях. Кроме того, предложен вариант оборудования устья скважины.

В заключительной части работы рассмотрен экономический эффект от применения технологии многозабойного бурения.

Технология строительства многозабойных скважин является актуальным направлением для применения на шельфе Социалистической Республики Вьетнам, особенно на месторождениях с малыми запасами, что позволит сделать их разработку более рентабельной.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Г.С. Оганов

**Е.А. ПОТЫСЬЕВ**



## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ВИДЕ ОБУСТРОЙСТВА НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В АКВАТОРИЯХ ЗАМЕРЗАЮЩИХ МОРЕЙ**

**Научный руководитель:** д.т.н., профессор Харченко Ю.А.

Как известно, нефтегазовые месторождения, находящиеся в непосредственной близости от берега и имеющие глубину моря не более 50 м уже успешно эксплуатируются как с суши с помощью наклонно-направленных скважин, так и с ледостойких стационарных платформ (например, месторождение «Чайво»).

Однако с ростом глубины акватории и удаленности месторождений нефти и газа от суши бурение протяженных скважин (более 15 км) становится технологически невозможным, а применение ледостойких стационарных платформ экономически нецелесообразным.

Стоит отметить, что на сегодняшний день ограничено и применение полностью подводного вида обустройства ввиду того, что нет возможности: во-первых, обеспечить полный цикл добычи и подготовки нефти к транспорту в подводном исполнении; во-вторых, избежать проблем с энергоснабжением и управлением подводным добычным комплексом (ПДК) при удалении месторождений от береговой инфраструктуры; наконец, обслуживать и производить ремонт ПДК во время ледового периода.

Для решения проблем, связанных с освоением отдаленных глубоководных нефтегазовых месторождений замерзающих морей, одним из перспективных является комбинированный вид их обустройства с применением плавучих технологических платформ.

В рамках работы были проанализированы существующие шельфовые проекты и рассмотрен действующий флот плавучих технологических платформ. С учетом специфики обустройства нефтегазовых месторождений, расположенных на шельфе замерзающих морей, были сформированы критерии, которые необходимо принять во внимание при выборе типа платформы для комбинированного вида обустройства нефтегазового месторождения. Сделаны выводы о возможности применения технологических платформ для акваторий замерзающих морей.

**Н.И. САМОХВАЛОВ**

*РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина*

## **РАЗДЕЛЕНИЕ ВОДЫ ПО СТЕПЕНИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СВЯЗАННОСТИ С ПОРОДОЙ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ДАННЫМ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ КЕРНА**

В докладе рассмотрены способы определения видов связанной воды в горных породах: физико-механической формы связи, фуникулярного состояния, углов пор, микрокапилляров. Разделение видов воды производится по степени энергетической связанности флюида с породой. Практически все применяющиеся методы промысловой геофизики в той или иной степени основаны на эффектах, связанных с наличием в порах горных пород заполняющей их воды. Однако зависимость физических свойств горных пород от форм и видов связи насыщающей их воды в петрофизике практически не учитывается. Эта проблема неоднократно рассматривалась для водонасыщенных пород, но для нефтенасыщенных пород вопрос по-прежнему остается открытым. Это актуальная проблема, так как её решение позволит уточнять объем эффективного порового пространства.

Метод аспирационной термомассметрии (АТМ) применяется с целью детального исследования форм и типов связи воды в горных породах. Существенным преимуществом АТМ перед другими методами является то, что она позволяет исследовать как догигроскопическую влагу так и гигроскопическую, при этом не происходит разрушения образца.

Метод ЯМР, также как и АТМ, регистрирует весь интервал водонасыщенности. С целью подтверждения возможностей ЯМР для определения видов связанной воды была проведена серия экспериментов, результаты которых описаны в данной работе.

Исследование нефтенасыщенности горных пород обоими методами показало существенное отличие нефтенасыщенных пород от водонасыщенных. Существенное отличие обусловлено физико-химическими свойствами насыщающего породу флюида.

Работа иллюстрирована сопоставлениями методов АТМ и ЯМР для определения видов связанной воды и сравнением характеристических кривых, измеренных на образцах с предельным насыщением водой и нефтью.

Научный руководитель: к.г.-м.н. Н.А. Скибицкая

**С.С. СУГУНУШЕВ**

*Российский Государственный Университет Нефти и Газа (национально-исследовательский университет) им. И.М.Губкина*

## **КОМПЛЕКСНОЕ ОБУСТРОЙСТВО МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА В РОССИЙСКОМ СЕКТОРЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ**

Северный Каспий является одним из ключевых регионов роста добычи нефти и газа в ближайшей перспективе для российской нефтяной промышленности в целом. В настоящее время открыто 8 крупных многопластовых нефтегазоконденсатных месторождений: им. Ю. Корчагина, Хвалынское, 170-й км, Ракушечное, Западно-Ракушечное, им. Ю. Кувыкина (до 2012 г. – Сарматское), Центральное и им. В. Филановского, суммарные извлекаемые запасы которых превышают 1 млрд 870 млн т условного топлива.

Комплексный подход к обустройству месторождений нефти и газа является уникальным способом к освоению шельфа в РФ. Ранее в Российской практике нигде не использовался данный метод решения сложных технологических и экономических задач. Северный Каспий является первым подобным проектом в истории отечественной нефтегазовой промышленности.

Данный метод обустройства месторождений позволяет в течение долгого времени сохранить высокий уровень добычи углеводородов, продлить работу внешнего транспорта на максимальных значениях. В результате проведенного исследования было изучено влияния последовательности и сроков ввода месторождений и структур на общий уровень динамики капитальных затрат, а также на возможности достижения оптимальных уровней добычи продукции

Всего на обустройство месторождений Северного Каспия предусмотрено строительство 24-х гидротехнических сооружений, 2-х трубопроводов и береговой инфраструктуры. Будет пробурено 100 нефтяных эксплуатационных скважин, 43 газоконденсатных и 20 скважин поддержки пластового давления. Общий объем инвестиций для реализации данного проекта составляет 812,4 млрд. рублей.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, В.И. Бойко

**И.В. УРЗИКЭ**

*РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина*

## **ХИМИКО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОЛДАВСКОЙ БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЫ И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЕЁ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ**

Среди буровых растворов, широкое распространение получили гетерогенные полидисперсные системы с диспергированной твердой фазой. К этому классу систем относятся глинистые растворы.

Существенные признаки глинистых минералов, обусловленные особенностями кристаллической структуры, наличием гидрофильной поверхности, способностью к адсорбции, ионному обмену, определяют важнейшие функции глинистого бурового раствора такие как: вязкостную, структурирующую и антифильтрационную. В данной работе, приведены структурно-минералогические особенности бентонитовых глин «Проданештского» и «Кочулийского» месторождениях. В ходе лабораторных исследований, автором были приготовлены пробы отличающиеся друг от друга по содержанию воды и глины. По стандартной методике был определен выход раствора при эффективной вязкости  $\eta_{эф} = 15 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ . Определение пластической вязкости и динамического напряжения сдвига проводились с помощью ротационного вискозиметра FANN модель 35.

Исследование молдавских глин с целью их использования в качестве основы для буровых растворов, представляет большой теоретический и практический интерес. Отсутствие промышленной разработки указанных месторождений, привлекает исключительное внимание для развития новых качественных глинопоршков и освоения регионального рынка сырья.

Научный руководитель: д.т.н., профессор В.П. Зозуля

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА И КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД ХАДУМСКОЙ СВИТЫ ПО ДАННЫМ ГИС**

В настоящее время у исследователей сложилось достаточно полное представление о модели пород хадумской и баталпашинской свит. По данным разных исследователей отложения этих свит характеризуются переслаиванием аргиллитов, глинистых пород с широким диапазоном изменения карбонатности, кремнистости, высоким содержанием органического вещества. Нестандартность коллектора заключается в отсутствии жесткого скелета, горизонтальной пустотности, обусловленной трещиноватостью и листоватостью. Изучаемые отложения являются нефтематеринскими, поскольку содержат большое количество органического вещества. На основании этого авторами была разработана методика, позволяющая разделять вклад глинистого и органического вещества в естественную радиоактивность нефтематеринских глинистых пород.

Алгоритм методики определения литологического состава, содержания органического вещества и пористости пород хадумской свиты по данным ГИС состоял из 8-ми этапов: на 1-ом этапе в показания радиометрических методов вводились поправки за диаметр скважины, после в показания НГК вводилась поправка за влияние гамма-фона, также в начальном приближении вычислялось объемное содержание органического вещества -  $K_{орг}$ ; затем рассчитывалось водородосодержание породы ( $W$ ) по методике двух опорных пластов по исправленным показаниям НГК; на 5-ом и 6-ом этапе выполнялся расчет объемной глинистости и окончательный расчет  $K_{орг}$ , соответственно; последние этапы включали в себя графическое представление объемной модели и кривые содержания компонент (глинистость, органическое вещество, карбонатно-кремнистая компонента и пористость).

Авторами также опробована оригинальная методика оценки трещинной пористости и коэффициента проницаемости коллекторов по совместному анализу модельной и фактической кривых акустического метода.

Научный руководитель: к.г.-м.н., доцент А.В. Горднов

**С.А. ЧЕРНОВ**  
*РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ШТАНГ**

За 2016 год в России было добыто 547,5 млн. тонн нефти, из которых около 20% было добыто установками скважинных штанговых насосов.

В процессе работы колонна насосных штанг испытывает комплексное воздействие статических, циклических, динамических нагрузок, коррозионно-активной и сорбционно-активной среды, что обуславливает их интенсивное разрушение, также, проблемой являются отложение АСПО и минеральных солей.

Анализ статистики отказов по узлам УСШН показывает, что в среднем 20-30% отказов происходит по вине обрывов насосных штанг. В 70-80% случаев обрыв колонны штанг проходит по телу штанги.

Одним из путей снижения отказов, связанных с обрывом колонны насосных штанг при добыче с помощью УСШН, является применение стеклопластиковых насосных штанг. Стеклопластиковая штанга имеет высокую коррозионную стойкость, меньше подвержена отложению АСПО и минеральных солей. При этом их вес в 2-3 раза меньше, что существенно уменьшает нагрузку на головку балансира и понижает расход электроэнергии, потребляемый насосом.

Важными параметрами стеклопластиковых насосных штанг являются модуль упругости и усталостная прочность. Следовательно, исследование прочностных свойств стеклопластиковых штанг является весьма актуальной. Для построения кривой усталости и определения предела выносливости натуральных образцов стеклопластиковых насосных штанг на кафедре машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности создан стенд и разработана методика проведения испытаний.

Научный руководитель – доцент, к.т.н. Сабиров А.А.

## ВЫБОР ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ КОМПОНОВКИ УЭЦН С ПРЕДВКЛЮЧЕННЫМ МОДУЛЕМ В СКВАЖИНАХ С ПОВЫШЕННЫМ ГАЗОСОДЕРЖАНИЕМ СМЕСИ НА ПРИЕМЕ

В механизированной добыче нефти установками электроцентробежных насосов (УЭЦН) газ играет двоякую роль: с одной стороны, за счет выделения газа из нефти во время подъема скважинной продукции на поверхность имеет место газлифтный эффект, из-за чего необходим меньший создаваемый напор, с другой стороны, при наличии свободного газа в насосе возникает явление кавитации и при превышении критического значения газосодержания напорная характеристика деградирует.

Сегодня основным способом предотвращения вредного влияния свободного газа является установка центробежного газосепаратора, однако это ведет за собой уменьшение газлифтного эффекта. Другим способом борьбы с вредным влиянием газа является использование мультифазных насосов и газодиспергаторов, которые позволяют перекачивать жидкость, содержащую большую объемную долю газа.

Работа основывается на результатах испытаний глубинно-насосного оборудования в условиях повышенного содержания свободного газа на приеме насоса стенде кафедры разработки и эксплуатации нефтяных месторождений РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина. Оценка проводилась на модельных газожидкостных смесях (ГЖС). В результате испытаний на ГЖС были получены напорные характеристики, рассчитаны КПД, определено необходимое число диспергирующих ступеней, построены математические модели напорных характеристик компоновок в зависимости от входного газосодержания, определены области эффективной работы оборудования.

Проведена адаптация полученных характеристик для типовой нефтяной скважины. Приведены рекомендации по использованию компоновок ЭЦН с предвключенным модулем с точки зрения энергоэффективности, учитывая затраты мощности на борьбу с вредным влиянием свободного газа в насосе и сохранения энергии за счет газлифтного эффекта.

Научный руководитель: к.т.н, доцент Деньгаев А.В.

Д.Ю. ЮРОВА, Н.А. ХАУСТОВА  
Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ПОРОД ПО СТАНДАРТНЫМ АНАЛИЗАМ КЕРНА

В описаниях и фотографиях керна терригенных отложений отмечаются многочисленные трещины, происхождение которых не всегда является очевидным. Существует предположение о техногенном происхождении большинства трещин, которые мы видим в керне, поднятом на поверхность при атмосферных условиях. Можно также предположить, что большинство трещин в пластовых условиях будут иметь минимальную раскрытость и не представлять интереса для моделирования фильтрации флюидов в пласте. Однако наличие даже таких трещин может свидетельствовать о хрупкости породы и ее предрасположенности к растрескиванию при различных воздействиях или изменении напряженного состояния пласта в процессе разработки, поэтому определение трещиноватости горных пород является важной задачей.

В настоящей работе для получения информации о коэффициенте трещиноватости пород были разработаны два независимых способа. Физической основой первого способа является влияние структуры пустотного пространства пород на электрические свойства. Рассмотрена модель трещиновой породы с плотной матрицей, содержащей две системы взаимно перпендикулярных трещин. Для настройки алгоритма были получены петрофизические связи  $P_{п. бл} = f(K_p)$  для выборки образцов без видимых признаков трещиноватости. Второй способ основан на влиянии структуры пустотного пространства пород на ее абсолютную проницаемость по газу. Проанализирована модель проницаемости трещиноватой породы, которая складывается из проницаемости трещин и проницаемости матрицы, с использованием модели Буссинеска – Дарси, на основании которой В. М. Добрыниным было выведено соотношение, связывающее коэффициент проницаемости для данной системы трещин с коэффициентом трещиноватости и раскрытостью трещин.

Практическая реализация двух способов определения коэффициента трещиноватости по данным керна приводится в виде карт развития зон трещиноватости на примере одного из месторождений Восточной Сибири, которые подтверждены данными сейсморазведки.

Научный руководитель: к.г.-м.н., доц. А.В. Городнов

## **КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ СКВАЖИНАМИ С ДУАЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ СТВОЛОВ**

Опыт разработки месторождений, расположенных на территории Российской Федерации, в частности, в Самарской области и республике Татарстан, а также месторождений ближнего и дальнего зарубежья указывает на отсутствие универсальных технологий и способов комплексного воздействия на залежи высоковязкой нефти. В ряде случаев при добыче трудноизвлекаемых запасов, высокая вязкость которых имеет существенное влияние на скорость течения углеводородов, применяют тепловые методы и увеличение депрессий на пласт.

Наиболее предпочтительны тепловые методы, которые могут быть реализованы без применения наземных парогенераторов. Если источник тепла находится непосредственно в пласте или в призабойной зоне скважин, это способствует рациональному использованию тепловой энергии для интенсификации добычи нефти и сопровождается значительным сокращением энерго- и ресурсозатрат.

Основываясь на данном принципе, нами предложена технология использования скважин с дуальной системой стволов и термобарохимического воздействия при разработке месторождений высоковязкой нефти. Для обоснования использования данной технологии были проведены лабораторные исследования зависимости вязкости от температуры проб высоковязкой нефти с месторождений Самарской области, построена 3х – мерная математическая модель продуктивного пласта непосредственной зоны теплового воздействия в программном комплексе Ansys, рассчитано увеличение дебитов скважин и коэффициента нефтеотдачи при изменении температуры.

Применение данной технологии позволит поддерживать проектные дебиты скважин при сниженных депрессиях, а также увеличить коэффициент нефтеотдачи месторождений высоковязких нефтей.

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.А. Ольховская

**Р.Ш. КАРАКАЕВ***Самарский государственный технический университет*

## **АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА НА КОЛЛЕКТОРАХ С ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТЬЮ**

В данной работе рассмотрены результаты применения гидравлического разрыва пласта на месторождениях ПАО «Самаранефтегаз» и ПАО «Татнефть». В первой части работы рассмотрена эффективность реализуемых мероприятий ГРП по технологии TSO на месторождениях Самарской области. Представлены технологические результаты мероприятий ГРП на коллекторах с высоковязкой нефтью, а именно параметры скважин до и после испытаний. Детально рассмотрены закономерности изменения технологических показателей в зависимости от вязкости пластовой нефти. Определена зависимость прироста обводненности после проведения ГРП от вязкости пластовой нефти.

Результаты проведенных ГРП показывают возможность вовлечения в разработку низкодебитных месторождений высоковязких нефтей с целью увеличения их потенциала. Полученный опыт проведения ГРП на месторождениях высоковязких нефтей ПАО «Самаранефтегаз» позволяет повысить потенциал добычи аналогичных месторождений, подтверждена эффективность проведения ГРП по технологии TSO. Так же в данной работе рассмотрен опыт применения ГРП на месторождениях с высоковязкой нефтью ПАО «Татнефть». Отличительной особенностью мероприятий по ГРП в скважинах «Татнефть», вскрывших пласты с высоковязкой нефтью, является увеличение обводненности продукции сразу после проведения ГРП, в отличие от скважин месторождений ПАО «Самаранефтегаз», так же вскрывших пласт с высокой вязкостью нефти, обводненность в этих скважинах проявлялась не сразу или же вовсе не менялась. Выявлена закономерность, при которой повышение вязкости увеличивает риск преждевременной обводненности добываемой продукции, потому как увеличивается вероятность прорыва подошвенной воды через образовавшиеся трещины ГРП. Таким образом, полученные результаты работы позволяют уменьшать или сохранять уровень обводненности добываемой продукции и обеспечить увеличение нефтеотдачи пластов.

Научный руководитель: доцент Л.Н. Хромых

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЪЕКТУ ДЕВОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ**

На сегодняшний день основная доля месторождений на суше в России находится в заключительной стадии разработки. Эксплуатация нефтегазовых месторождений на поздней стадии разработки характеризуется постоянным падением добычи. Это связано, прежде всего, с истощением запасов, снижением пластового давления и увеличением обводненности продукции добывающих скважин. Для поддержания добычи на проектном уровне применяют различные геолого-технические мероприятия. От их успешности зависит эффективность разработки месторождения и достижение проектного коэффициента извлечения нефти.

В данной работе приведена общая геолого-физическая характеристика одного из эксплуатируемых объектов Девонских отложений на месторождении, географически расположенного на юге Оренбургской области, проведен анализ геолого-технических мероприятий на данном объекте за последние три года, дана оценка эффективности проведенных мероприятий. С учетом полученной информации составлен список рекомендаций по проведению геолого-технических рекомендаций в целом по месторождению. По некоторым скважинам проведен подробный анализ эксплуатации, оценено техническое состояние, рассмотрены результаты геофизических исследований. Предложены конкретные мероприятия для проведения на данных скважинах, которые позволят продлить срок их эксплуатации.

Реализация предложенных рекомендаций позволит поддерживать дебиты на заданном уровне и достичь проектных показателей разработки и месторождения.

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.А. Ольховская

**В. Д. ПАРУБОЧИЙ***Самарский государственный технический университет*

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ПАРОГРАВИТАЦИОННОГО ДРЕНАЖА**

В данной работе приведено обоснование применения тепловых методов воздействия при проектировании процесса добычи сверхвязкой нефти с помощью технологии парогравитационного воздействия - Steam Assistive Gravity Drainage (SAGD) на Карабикуловском месторождении Самарской области.

В первой части работы приводится обоснование вовлечения тяжелой нефти в разработку с помощью технологии SAGD, приведен анализ условий ее применения, выявлены основные преимущества, недостатки и ограничения при внедрении рассматриваемой технологии извлечения нефти.

В рамках проектирования применения SAGD на Карабикуловском месторождении выполнена сравнительная геолого-физическая характеристика залежей нефти Ярегского месторождения (Республика Коми), Ашальчинского месторождения (Республика Татарстан) и непосредственно Карабикуловского месторождения Самарской области, анализируются сходные черты для обоснования применения технологии парогравитационного дренажа.

В рамках работы также был выполнен расчет динамики прогрева пласта при нагнетании в него водяного пара вертикальными скважинами на Карабикуловском месторождении. В ходе расчета была определена площадь прогретой части пласта одной скважиной и подсчитано количество вертикальных скважин для прогрева залежи пласта У2. Отталкиваясь от данных значений был сделан вывод о технологической неэффективности и экономической нерентабельности формирования системы разработки с применением вертикальных скважин для прогрева залежи.

На основании расчетов, сравнения геологического строения и опыта применения технологии SAGD на Ярегском и Ашальчинском месторождениях был сделан вывод о целесообразности применения SAGD на Карабикуловском месторождении,

Далее для обоснования технологических параметров проектируемой системы разработки была разработана трехмерная модель пласта У2 Карабикуловского месторождения в программе «CMG STARS», и разработан наиболее рациональный вариант разработки данной залежи.

Технико-экономическое обоснование выбора рекомендуемого варианта выполнено на основе сопоставления и анализа капитальных вложений на освоение месторождения, эксплуатационных затрат, показателя чистого дисконтированного дохода.

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.М. Зиновьев

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕХАНИЗИРОВАННОГО ФОНДА СКВАЖИН СЕВЕРНОЙ ГРУППЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ**

В настоящее время легко извлекаемые запасы северной группы месторождений Самарской области, практически выработаны. Запасы высоковязких нефтей, которые имеют также значительную долю, вовлечены в разработку механизированным способом, неадаптированным под данные условия эксплуатации, в связи с чем происходят частые аварии, из-за которых снижается экономическая эффективность.

В работе рассмотрены основные положения ЭВН: принцип работы, виды, по способу установки привода, и условия применения.

Проанализированы показатели эффективности эксплуатации механизированного фонда скважин Северной группы месторождений Самарской области. В частности, выполнен сравнительный анализ эксплуатационных характеристик, а также межремонтного периода и наработки на отказ, для скважин эксплуатируемых различными способами механизированной добычи. Приведен расчет по подбору УЭВН к скважине Радаевского месторождения, Малиновского купола, эксплуатируемой в режиме неполной загрузки с помощью УЭЦН. В соответствии с предложенным вариантом, рассмотрены основные осложнения работы и опыт применения ЭВН на скважинах добывающих высоковязкую нефть.

Анализ экономической эффективности внедрения данных насосов показал, что помимо надежности и простоты конструкции, эксплуатация данных установок дает снижение затрат на электроэнергию, ингибирование, монтажные работы, проведение ремонтов, при этом увеличивается дебит.

При всех очевидных плюсах данных установок, на сегодняшний день, их доля от общего количества механизированного фонда скважин для северной группы месторождений Самарской области с высоковязкими нефтями очень мала.

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.М. Зиновьев

**Т. АБОНОСИМОВ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ОБЗОР СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ КОНТЕНТОМ САЙТА**

- Актуальность проблемы управления контентом сайта
- Способы управления: статическая страница, сайт с административной панелью, система управления контентом (CMS)
  - Задачи и основные функции CMS: управление контентом, дизайном, структурой
  - Слабые места CMS – нагрузка на сервер и сложные внутренние процессы
  - Трехзвенная архитектура CMS
  - Составляющие CMS: компонент управления контентом (обязательный), хранилище данных, сервер приложений
- Параметры CMS: разработка контента, управление сайтом, доставка контента
- Типы CMS: бесплатные, платные, студийные
- Примеры CMS: Joomla, Drupal, 1С-Bitrix
- Достоинства бесплатных CMS: бесплатность, развитое сообщество разработчиков, гибкость и широкие возможности
- Недостатки бесплатных CMS: «массивность», большая нагрузка на сервер, лишние функции
- Достоинства платных CMS: исчерпывающая документация, возможность выбора функционала
- Недостатки платных CMS: цена, не все функции могут оказаться необходимыми
- Достоинства студийных CMS: индивидуальность, только необходимый набор функций
- Недостатки студийных CMS: высокая цена, сложность расширения
- Пример: разработка сайта образовательного учреждения

Научный руководитель: Жуковский В.Е.

## **ВОЗМОЖНОЕ ОБЪЯСНЕНИЕ ПОВЫШЕННОЙ АВАРИЙНОСТИ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

По данным эксплуатации подводные переходы являются наиболее аварийными участками в системе магистральных газопроводов, исходя из чего, анализ возможных причин их аварийности – актуальная проблема на сегодняшний день. Одной из наиболее часто встречающихся причин повреждения подводных переходов является размыв грунта, т.е. образование открытых участков под трубопроводом в результате перформирования дна и берегов реки. Кроме эксплуатационных нагрузок, свободные пролеты подводных участков газопроводов испытывают сложное гидродинамическое воздействие со стороны водного потока, что и может привести к аварийной ситуации.

Целью данной работы является исследование напряженно-деформированного состояния свободного пролета подводного участка магистрального газопровода, определение максимальных возникающих на нем напряжений и оценка прочности участка в соответствии с нормативной документацией.

В работе рассмотрен участок магистрального газопровода, проходящий под рекой (максимальная скорость течения в русловой части  $v=2,85$  м/с) и выполненный из труб наружным диаметром 1020 мм и толщиной стенки 12 мм из стали класса прочности К60 (модуль упругости  $E=2,06 \cdot 10^{11}$  Па, коэффициент Пуассона  $\mu=0,3$ , предел текучести  $R_2^0=480 \cdot 10^6$  Па). Принятая в расчетах длина свободного пролета составляет 22 м.

Значения напряжений и оценку прочности участка предлагается определить с помощью аналитического расчета согласно СП 36.13330.2012, Рекомендациям по оценке работоспособности подводных переходов газопроводов при наличии размывов дна и правилам строительной механики, а так же с помощью метода конечных элементов в ПК ABAQUS 6.14.4.

По результатам выполненных расчетов определены значения максимальных возникающих на свободном пролете напряжений и произведена оценка влияния гидродинамического воздействия потока на надежность участка.

Научный руководитель: д.т.н., профессор В.И. Болобов

**К.А. АНИСИМОВ**  
*Санкт-Петербургский Горный университет*

## **ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ РАЗРАБОТКИ ПОДКАРЬЕРНЫХ ЗАПАСОВ ТРУБКИ “УДАЧНАЯ”**

Горные работы на кимберлитовой трубке “Удачная”, расположенной в Мирнинском районе Республики Якутия, переходят от открытого способа отработки месторождения к подземной добыче полезного ископаемого. В настоящее время ведутся процессы планового извлечения запасов в борту карьера подэтажной системой с торцевым выпуском руды, идет проходка нарезных выработок для добычи подкарьерных запасов. И очереди до глубины -580м системой с этажным принудительным обрушением.

Однако, переход к подземным работам осложняется горно-геологическими условиями трубки и окружающего массива. Одним из основных факторов опасности для подземных работ является породный целик, находящийся между Восточным и Западным рудными телами. По результатам исследований АУ СШСУ АК «АЛРОСА» и работам института горного дела УрО РАН, этот целик имеет многочисленные нарушения, некоторые трещины достигают протяженности более 50 метров, через сеть глубоких трещин свободно могут проникать высокоагрессивные минерализованные рассолы, размывая породы целика. Эти факторы создают опасность динамических горных ударов и неконтролируемых вывалов в горные выработки.

В данной работе представлены результаты анализа горно-геологической ситуации на руднике “Удачный”, изучены применяемые технологии, позволяющие защитить капитальные горные выработки от влияния агрессивных внешних факторов, выбрана и обоснована технология укрепления породного целика с помощью тросовых скважин со смолоинъекционным упрочением массива, даны рекомендации по повышению безопасности ведения горных работ.

Научный руководитель: д.т.н., профессор В.П. Зубов



## ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕНТРАТА ЗОЛОТОДОБЫВАЮЩЕЙ КОМПАНИИ THE SEARCH FOR OPTIMAL WAYS OF CONCENTRATE REALIZATION IN GOLD MINING COMPANY

**Актуальность исследования.** Основопологающей целью функционирования любой компании является *максимизация прибыли* – получение наибольшего совокупного дохода при наименьших затратах. Поэтому сотрудники планово-экономических служб регулярно проводят мониторинг, выявляя возможные резервы снижения затрат на производство и реализацию продукции.

Организационная структура объекта исследования, золотодобывающего холдинга «Полиметалл», сложена из дочерних предприятий, осуществляющих добычу и переработку полиметаллических руд преимущественно в дальневосточной России. В одном из производственных хабов ежегодно встает вопрос о возможностях получения выручки либо за счет реализации полуфабрикатов на сторону, либо посредством доведения их до готовой продукции в виде слитков, которые в свою очередь будут проданы банкам. Определяющим фактором в данной проблеме является содержание драгоценного металла в добытой руде, влияющее на величину производственных затрат.

**Целью исследования** является выявление наиболее выгодного варианта реализации концентрата при имеющихся объемах добычи руды и содержании полезного компонента.

Автором работы были поставлены следующие **задачи**:

1. Изучение динамики затрат для подтверждения гипотезы о необходимости проведения оптимизационных мероприятий;
2. Экономическая оценка возможных альтернатив и выявление оптимальной по критерию наибольшей доходности;

**Результаты работы.** На основании данных бюджета компании, а также проведенных экономических расчетов и анализа чувствительности, была разработана принципиальная блок-схема, позволяющая упростить процесс принятия управленческих решений схожего характера в будущем.

Научный руководитель: проф. Сергеев И. Б.

В.В. АНТРОПОВ  
ФГБОУВО «Санкт-Петербургский горный университет», г. СПб, Россия

## ПРИМЕНЕНИЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ СЕМЕЙСТВАМИ АЛГОРИТМОВ K-MEANS И G-MEANS В ЗАДАЧАХ РАСПОЗНАВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ

### РЕЗЮМЕ

В работе рассматриваются применение кластеризации семействами алгоритмов k-means и g-means в задачах распознавания воздушных объектов в условиях неполноты и недостоверности данных, обоснован выбор этих классов кластеризации, подчеркнута важность кластеризации в задачах распознавания, предложена математическая постановка задачи.

**Ключевые слова:** воздушные объекты, распознавание, радиолокационное распознавание, кластеризация, кластеризации k-means и g-means.

В современном мире вклад авиации трудно переоценить. Авиация выполняет большой спектр задач, которые не под силу другим видам техники. В связи с этим остро встала задача оперативной обработки информации, связанной с авиацией, в частности, распознавание объектов, находящихся в воздушном пространстве.

Распознавание воздушных объектов является очень сложной задачей, имеющей ряд трудностей. Такие как неполнота информации, её недостоверность, и пр. Распознавание производится по ряду признаков, в результате чего мы с высокой долей вероятности, либо с полной уверенностью (это зависит от методики распознавания), можем определить принадлежность исследуемого нами воздушного объекта тому или другому типу, или даже можем назвать модель воздушного судна.

Методики распознавания условно можно разделить на визуальные, траекторные и радиолокационные. Наиболее точными являются методики радиолокационного распознавания.

В зависимости от выбранной нами методики распознавания мы подбираем признаки воздушных объектов, по которым и будем производить распознавание. Также следует отметить и базу эталонов, с которыми мы будем сличать, полученную нами информацию.

В распознавании большое внимание уделяется созданию этой базы. Производится кластеризация объектов по признакам, по которым мы распознаём воздушные объекты. Это экономит время, затраченное на распознавание, и значительно повышает его достоверность.

В задачах распознавания хорошо себя зарекомендовала кластеризация семействами алгоритмов k-means и g-means. Она наиболее точно разбивает на кластеры воздушные объекты, которые мы имеем в базе. Это улучшит качество распознавания и быстродействие вычислительной аппаратуры участвующей работе.

В работе предложена математическая постановка задачи кластеризации воздушных объектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Антропов В.В., Мазиков Е.Б. Анализ методов распознавания в условиях неполноты и неопределённости информации. В сборнике: Перспективы развития науки и образования сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 13 частях. 2015. С. 17-21.

**Э.Р. АРСЛАНОВА, М.С. КУЛЁМИН**  
*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ВЛИЯНИЕ ФИЛЬТРАТА БУРОВОГО РАСТВОРА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРИСТВОЛЬНОЙ ЗОНЕ СКВАЖИНЫ**

При бурении наклонно направленных и горизонтальных скважин на нефть и газ традиционными способами в несвязных породах, трещиноватых и глинистых породах происходит повышенная разработка, сужение и обрушение ствола скважины, что приводит к прихватам бурового инструмента, перебурке уже пройденных интервалов и требует установки дополнительных обсадных колонн, что в свою очередь ведет к удорожанию строительства скважины. В основном это происходит в интервалах набора кривизны, тангенциальных и горизонтальных участках.

Вопрос устойчивости ствола скважины решается путем создания технических средств и технологий бурения с одновременным креплением ствола скважины колонной обсадных труб (бурение обсадными трубами – БОТ), либо за счет разработки специальных составов буровых растворов, способных за счет своих свойств удерживать ствол скважины в устойчивом состоянии.

Одной из задач повышения устойчивости ствола скважины является оценка влияния фильтра буро-вого раствора. Для этого было разработано несколько этапов проведения методики исследований. На первом этапе оценивались прочностные свойства горных пород. Для этого через насыпную модель горной породы производилась фильтрация бурового раствора. Далее определялись сцепление и угол внутреннего трения образцов на приборе одноплоскостного среза. Результаты испытаний показали, что использование различных типов буровых растворов может оказывать существенное влияние на устойчивость несвязных и слабосвязных горных пород. На следующем этапе оценивались напряжения на стенке скважины в зависимости от прочностных характеристик пород и зенитного угла.

На основе выполненных исследований: получена зависимость устойчивости ствола наклонно направленной скважины от прочностных характеристик горных пород с учетом зенитного угла; определено положение критических точек и возможность регулирования прочностных свойств горной породы фильтратом бурового раствора.

Научный руководитель: Блинов Павел Александрович, к.т.н., доцент.

**М.М. АСАДУЛАГИ,**  
*СПГУ*

**И.М. ПЕРШИН,**

*Северо-Кавказский федеральный университет, филиал в г. Пятигорске*

**С.Е. ДУШИН,**

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им.*

*В.И. Ульянова*

# РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ СТОХАСТИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЯХ

Работа посвящена разработке методов компьютерного моделирования систем управления с распределенными параметрами, функционирующих при стохастических возмущениях. Исследование таких систем аналитическими способами зачастую оказывается слишком сложным, что заставляет обращаться к численным методам моделирования процессов.

В первой части работы происходит выбор программного обеспечения для моделирования исследуемых систем. В качестве примера рассматривается тепловой процесс в теплоизолированном физическом теле, задаваемый параболическим дифференциальным уравнением в частных производных с постоянными коэффициентами. Изучаемая модель теплопроводности осложняется заданием случайного возмущения с нормальным распределением плотности вероятности. Анализируются два способа численного моделирования рассматриваемого процесса с помощью программных средств MATLAB/Simulink и Delphi. Однако моделирование такими способами оказывается затруднительным для более сложных систем управления.

Во второй части работы рассматриваются гидродинамические процессы при случайных воздействиях на примере Кисловодского месторождения минеральных вод. Математическое описание объекта исследования на основе дифференциальных уравнений в частных производных, решаемых методом конечных разностей по явной схеме, позволяет проследить динамику понижения пьезометрического уровня в рассматриваемом водоносном пласте с учётом различных шумов с распределением Гаусса. Модель данной системы управления, в отличие от предыдущих моделей, полностью разработана в среде программирования Delphi. Полученные зависимости понижения уровня позволяют синтезировать распределенный высокоточный регулятор, после чего коэффициенты регулятора можно использовать в разработанном программном коде для построения замкнутой системы управления.

Проведенные исследования позволяют анализировать стохастические сигналы на выходе сложных систем с распределенными параметрами и способствуют дальнейшему изучению проблемы в области эксплуатации гидроминеральных ресурсов.

**Д.А. АФАНАСЬЕВ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДА ОБОБЩЕННОЙ ФУНКЦИИ МОЩНОСТИ УСТАНОВКИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА В СИСТЕМЕ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ТЯЖЕЛОЙ НЕФТИ С ПОДОГРЕВОМ

Эффективный режим работы насосной установки в системе магистрального транспорта нефти обеспечивается точкой пересечения характеристики насоса и характеристики трубопровода. В общем виде гидравлическая мощность насоса прямо пропорциональна плотности нефти, напору, развиваемому насосом, подаче насоса и обратно пропорциональна КПД насосной установки. С учетом того, что подача насоса пропорциональна расходу нефти в трубопроводе в окончательном виде получим следующую формулу для расчета мощности насоса:

$$N = \lambda_{mp} \frac{v^2}{2D} \cdot \frac{\rho_n^2}{\rho_o} L \cdot \frac{\pi D^2}{4} v = \lambda_{mp} \frac{\pi D}{8\eta} \frac{\rho_n^2}{\rho_o} L v^3. \quad (1)$$

Из теории подобия гидравлических машин, подставив соотношения для мощности относительно числа оборотов рабочего колеса насоса можно записать управляющую функцию в системах гидротранспорта при регулировании рабочих режимов центробежных насосов. Параметры  $B_i$  являются функцией плотности  $\rho_n$ . Для определения вида функции  $B_i$  необходимо установить зависимость мощности системы от скорости потока и плотности нефти в области возможных изменений режимов работы насосной установки. Если отношение  $\frac{B_1}{B_o}$  принять равным  $\varepsilon$ , то передаточная функция запишется в виде:  $Q_1 = Q_o \sqrt[3]{\varepsilon}$ . Параметр

$\varepsilon$  определяет величину отклонения рабочего режима насосной установки от номинального (расчетного) режима работы. Если значение  $\varepsilon = 1$ , то режим работы насоса номинальный и частота вращения рабочего колеса  $n_1 = n_o$ . Если  $\varepsilon > 1$ , то фактическая плотность нефти уменьшается из-за увеличения температуры.

При  $\varepsilon < 1$  происходит снижение температуры нефти и увеличение ее плотности. Пределы изменения параметра регулирования находятся в области единицы, т.е.  $0 < \varepsilon \leq 1$ , и определяются областью возможных изменений кинематических характеристик потока нефти в трубопроводе. Таким образом, равенство  $Q_1 = Q_0 \sqrt[3]{\varepsilon}$  можно принять за управляющую функцию системы регулирования насосной установки, а параметр  $\varepsilon$  - управляющий параметр, значение которого определяется отношением плотности нефти в конечном и начальном пунктах трубопровода.

Научный руководитель д.т.н., проф., зав.каф. ГТМ Александров В.И.

**А.О. БАЖЕНОВ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ПРИМЕНЕНИЕ CAN-ИНТЕРФЕЙСА ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ АНАЛОГОВОЙ АППАРАТУРЫ К ЦИФРОВОЙ. ТРУДНОСТИ И ПУТИ РЕШЕНИЯ**

Переход от аналоговой к цифровой аппаратуре обусловлен следующими недостатками: наличие дестабилизирующих воздействий («шумов» и «дрейфов»), сильное искажение при передаче сигнала на расстоянии, возникновение неустойчивых режимов работы, трудности реализации устройств хранения данных, сравнительно низкий уровень универсальности и степени интеграции элементов, большое энергопотребление.

CAN (Controller Area Network) – последовательная шина (магистраль), связывающая в единую сеть различные устройства (датчики, устройства ввода и вывода, исполнительные устройства и другие). Благодаря высокой помехозащищённости и надёжности, а также поддержке со стороны крупнейших производителей полупроводниковой техники (Siemens, Motorola, Fujitsu и др.), промышленная сеть CAN стала основой для широкого класса схемотехнических и программных решений.

Топология CAN представляет собой шину с терминаторами (согласователями) на концах. В качестве шины может применяться витая пара или оптоволокно, а также использоваться один провод (моноканал, если второй – корпус/земля). Системы CAN рассчитаны на сравнительно небольшой объём информации (одно сообщение/кадр составляет 8 байт) со скоростью до 1 Мбит/с (на длине до 40 м). На практике разработчиками систем применяются следующие протоколы высокого уровня: CAL (CAN Application Layer), CANopen, DeviceNet, CAN Kingdom, SDS (Smart Distribution Systems).

К основным достоинствам CAN-технологии можно отнести такие характеристики, как высокую помехоустойчивость и надёжность, возможность получения сообщений всеми узлами, неразрушающий арбитраж доступа к шине, малая вероятность пропуска ошибки (порядка  $4 \cdot 10^{-11}$ ) и низкая стоимость.

Применение CAN-технологий также тесно связано с тем, что основу для протокола CAN представляет – кремний, в то же время это позволяет проектировать сравнительно недорогие системы. Благодаря методу арбитража и широкополосной передаче существует возможность проектировать наиболее оптимально такие системы.

**Заключение.** Сети верхнего уровня на основе CAN-интерфейса позволяют разработчикам разрешить стоящие перед ними вопросы обеспечения помехоустойчивости и совместимости с уже имеющимися стандартами, обеспечить высокий уровень надёжности (обязательное подтверждение от приёмника) и живучести за счёт режима «multimaster», а также снизить стоимость разрабатываемых систем.

### **Список литературы:**

1. Карпенко Е. Возможности CAN-протокола. // «Современные технологии автоматизации», №4/1998, с.16-20.
2. Лапин А. Интерфейс CAN. Слагаемые успеха. // «ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес», 2/2005, с.40-43.
3. Собакин Е.Л. Цифровая схемотехника. Учеб. пособие. Ч.1. Томск: Изд. ТПУ, 2002. - 160с.
4. Третьяков С.А. (НПКФ «ДЭЙТАМИКРО») CAN на пороге нового столетия. // «Мир компьютерной автоматизации», №2/99.

Научный руководитель: доцент кафедры Электронных систем, к.х.н. Денисова О.В.

**Н.А. БАЛАЦЕНКО**

*Санкт-Петербургский Горный университет.*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЩЕЛОЧНОГО-ПАВ-ПОЛИМЕРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ В РОССИИ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ЕГО ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ**

Большинство месторождений Западной Сибири разрабатывается с применением заводнения, при этом до 60% извлекаемых запасов нефти остается в пласте.

Повысить эффективность разработки месторождений позволяют химические методы увеличения нефтеотдачи, среди которых одним из самых перспективных направлений сегодня является щелочное-ПАВ-полимерное заводнение пласта.

За счет щелочного-ПАВ-полимерного заводнения только на 73 месторождениях Ханты-Мансийского АО возможно дополнительно извлечь до 3,8 млрд тонн нефти.

Цель настоящей работы описать суть щелочного-ПАВ-полимерного заводнения, проанализировать опыт его применения на российском объекте, выявить основные факторы, сдерживающие реализацию технологии в нашей стране, и предложить возможные пути развития.

Щелочное-ПАВ-полимерное заводнение представляет собой закачку в пласт оторочки сложного состава, куда входит щелочь, поверхностно-активное вещество (ПАВ) и полимер. Именно одновременное использование всех трех компонентов позволяет добиться максимального эффекта. При реализации технологии наиболее часто используются анионные ПАВ, например внутренние олефиновые сульфонаты. В качестве щелочи наибольшее применение находит сода. Из полимерных соединений - различные модификации полиакриламида.

Полный цикл химического заводнения рассмотрен в статье на примере пилотного участка российского месторождения.

Процесс осуществлялся на объекте в 4 этапа. Общая продолжительность составила около 13-14 месяцев. Максимальная добыча нефти достигнет 40 м<sup>3</sup>/сут, а дополнительный прирост КИН - 25%, что доказывает технологическую эффективность пилотного проекта и подтверждает целесообразность реализации полномасштабного проекта.

Положительный эффект применения технологии доказывает международный опыт. В Китае 8 пилотных участков щелочного-ПАВ-полимерного заводнения показали прирост КИН более 10%. А в Канаде за 3 года применения технологии удалось снизить обводненность на 10% и увеличить суточный дебит нефти в 6 раз.

Основные объекты Китая и Канады по своим параметрам сходны с месторождениями Западной Сибири, поэтому их успешный опыт может быть учтен в нашей стране.

Обеспечить развитие технологии щелочного-ПАВ-полимерного заводнения в России возможно за счет разработки собственного оборудования и эффективных составов реагентов отечественного производства. Необходимо подобрать такие российские ПАВ, которые будут работать в условиях высоких температуры и минерализации пластовой воды. В частности, стоит рассмотреть возможность использования алкилфосфатов вместо применяемых импортных внутренних олефиновых сульфонатов.

Локализация собственного производства специфического оборудования и реагентов позволит снизить затраты на них примерно на 25-30%.

Кроме того, инвестиционную привлекательность объектов разработки с применением химических методов повысят специальные гос. программы и налоговые льготы.

Успешная реализация только одного полномасштабного проекта позволит дополнительно добыть 19 млн. тонн нефти и принесет прибыль государству более чем в 72 млрд. рублей.

Научный руководитель - Шангарева Л.А.

**А.В. БЕЗМАТЕРНЫХ**

*Санкт-Петербургский Горный университет,*

**В.Л. МАРТЫНОВ**

*д.т.н, главный научный сотрудник ОАО «Концерн «Морское подводное оружие - Гидроприбор»,*

**Е.И. ПРЯХИН**

*профессор кафедры Материаловедения и ТХИ Санкт-Петербургский Горный университет*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗАПАСОВ МОРСКИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**Аннотация.** В данной работе рассмотрена возможность перехода от аналогового сигнала к цифровому за счёт применения лазерной технологии с использованием решёток Брэгга, что позволяет получать стабильный не искажённый от сигнал от места залегания газо-нефтяного пласта, что обеспечивает достоверность данных, получаемых сейсморазведкой.

**Ключевые слова:** сейсморазведка, шельф, решётки Брэгга, гидрофон, длина волны Брэгга.

При проведении разведки запасов углеводородов на арктическом шельфе в качестве сейсмоприёмников применяют буксируемые сейсмические косы ближней и дальней зон с использованием пьезокерамических преобразователей, формирующих аналоговый сигнал от границы раздела сред [1].

Искажения аналогового сигнала приводят к тому, что сейсмические трассы, показывающие характер воздействия эхо-сигналов на каждый сейсмический приёмник с течением времени от каждого геологического разреза, искажаются.

Идея данной работы состоит в том, что в ней обеспечивается переход от аналогового сигнала, формируемого электромеханическим преобразователем гидрофона, к световому формируемому лазерным источником. Использование лазерной технологии позволяет выделять из всего оптического диапазона такую длину волны, которая соответствует амплитуде колебаний сейсмического преобразователя. В качестве оптического фильтра применяется решётка Брэгга.

Решётка Брэгга облучается световым потоком в оптическом диапазоне длин волн. Все эти волны, за исключением одной, пропускаются ею к электромеханическому преобразователю [2].

В итоге при формировании сейсмопрофилей получается контрастное изображения нефтегазовой залежи пригодной для промышленного освоения.

#### Список литературы

1. shelf-neft.gazprom.ru/
2. С.В. Варжель, Волоконные брэгговские решетки. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – с. 6

**А.Е. БЕЛОУСОВ,  
Г.Х. САМИГУЛЛИН**

зав. каф. транспорта и хранения нефти и газа  
*Санкт-Петербургский горный университет*

## УТИЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГИИ СЖАТОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА НА МАЛЫХ ПУНКТАХ РЕДУЦИРОВАНИЯ ЕДИНОЙ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

### Введение и актуальность

Энергия сжатого природного газа, теряемая во время понижения давления в пунктах редуцирования перед потребителями, может быть утилизирована при помощи детандер-генераторных агрегатов (ДГА) [1, 2, 3, 4].

Особенностью единой системы газоснабжения является её большая разветвленность и наличие большого числа малых пунктов редуцирования, таких как мини-ГРС (до 2000 м<sup>3</sup>/ч) и ГРП, которые характеризуются небольшими габаритами и высокой неравномерностью отбора газа. В таких условиях подход, направленный на максимизацию количества утилизированной энергии, может быть не совсем удачным.

Для применения на малых пунктах редуцирования предлагается использовать объёмный тип расширительных машин, например, пластинчатые пневмодвигатели, как один из наиболее дешёвых, неприхотливых и негабаритных [1]. Они имеют высокие соотношение мощность – вес и степень расширения газа, а также возможность безмасляной работы. Также, в связи с неравномерностью отбора газа потребителями, для поддержания заданной частоты вращения детандера необходимо применить систему регулирования.

### Система регулирования

Для утилизации энергии на малых пунктах редуцирования и осуществления стабилизации скорости вращения ДГА объёмного типа предлагается модифицировать принципиальную схему пункта редуцирования (рис. 1).

Такая схема имеет принцип разделения потока. Однако, оно происходит непосредственно между предохранительным запорным клапаном 3 (ПЗК) и регулятором давления 8 (РД) в зависимости от степени открытия регулирующего клапана 6. Часть газа проходит через объёмную расширительную машину 4, где, теряя энергию, совершает работу, а другая – через параллельную линию. Оба потока встречаются в ресивере небольшой емкости 7, который служит для гашения скачков давления и предотвращения «раскачки» РД системой регулирования. Регулирование осуществляется при помощи ПИД-регулятора 12, имеющего в качестве уставки скорость вращения вала пневмодвигателя.

Результатом использования такой системы является возможность работы детандер-генераторной установки с относительно малыми давлениями и расходами, независимо от неравномерности отбора газа потребителями и изменения момента сопротивления, а также сокращение количества энергии, теряемой на РД. При этом такая система является достаточно простой, обладает малыми габаритами и стоимостью.

#### Математическое моделирование

В статье [1] были проведены подробные статический и динамический расчеты детандера объемного типа на примере пластинчатого двигателя с созданием оригинальной математической модели.

Однако, для получения математической модели ДГА, представленного на рис. 1, необходимо учесть влияние на детандер перепуска части потока через регулирующий клапан, гашение скачков давления в ресивере и изменение отбора газа потребителями. А значит описать регулирующий клапан, ресивер и действие потребителя.

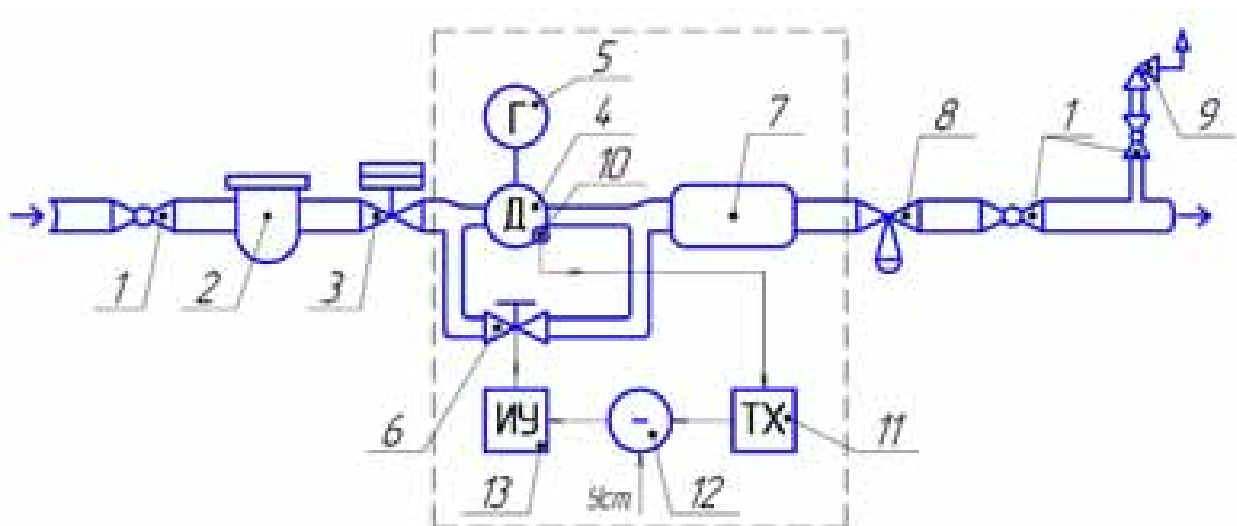


Рисунок 1 – Принципиальная схема линии редуцирования газорегуляторного пункта с системой ДГА объемного типа: 1 – запорная арматура, 2 – фильтр-грязеуловитель, 3 – предохранительный запорный клапан, 4 – объемная расширительная машина, 5 – электрогенераторная часть, 6 – регулирующий клапан, 7 – ресивер, 8 – регулятор давления, 9 – предохранительный сбросной клапан со свечой, 10 – датчик частоты вращения, 11 – тахометр, 12 – ПИД-регулятор, 13 – привод регулирующего клапана

В таком случае необходимо написать только одно дополнительное дифференциальное уравнение для ресивера 7, которое будет представлять собой связь двух, ранее разделенных потоков, с расходом потребителя:

$$\frac{dp_p}{dt} = \frac{R \cdot T_p}{V_p} (G_{ДГ} + G_{Др} - G_{Потр})$$

где  $p_p$  – давление газа в ресивере, Па;  $R$  – газовая постоянная, Дж/(кг · К);  $T_p$  – температура в выхлопной камере, К;  $V_p$  – объем ресивера, м<sup>3</sup>.

Массовый расход газа на выходе из пневмодвигателя [1], уточненный для возможности рассмотрения случая роста давления в ресивере выше давления выхлопной камеры пневмодвигателя, а значит её наполнения:

$$G_{ДГ} = \begin{cases} f_в \sqrt{\frac{p_в^2 - p_p^2}{RT_в \xi_в}}, & \text{если } p_в \geq p_p \\ -f_в \sqrt{\frac{p_p^2 - p_в^2}{RT_в \xi_в}}, & \text{если } p_в < p_p \end{cases}$$

где  $f_в$  – площадь выхлопного отверстия пневмодвигателя, м<sup>2</sup>;  $p_в$  – давление в выхлопной камере пневмодвигателя, Па;  $T_в$  – температура в выхлопной камере, К;  $\xi_в$  – местное сопротивление выхлопного отверстия, б/р.

Массовый расход регулирующего клапана при докритическом и критическом истечении:

$$G_{Др} = \begin{cases} \beta_{др} \cdot f_{др} \sqrt{\frac{p_p \cdot (p_m - p_p)}{RT_p}}, & \text{если } \frac{p_m}{p_p} < 2 \\ \beta_{др} \cdot f_{др} \frac{p_m}{\sqrt{RT_p}}, & \text{если } \frac{p_m}{p_p} \geq 2 \end{cases}$$

где  $\beta_{др}$  – коэффициент истечения, б/р;  $f_{др}$  – площадь открытого сечения регулирующего клапана, м<sup>2</sup>;  $p_m$  – давление газа в магистрали, Па;  $T_p$  – температура газа в ресивере, К.

Массовый расход потребителя при докритическом и критическом истечении из ресивера:

$$G_{Потр} = \begin{cases} \beta_p \cdot f_p \sqrt{\frac{p_{номр} \cdot (p_p - p_{номр})}{RT_{номр}}}, & \text{если } \frac{p_p}{p_{номр}} < 2 \\ \beta_p \cdot f_p \frac{p_p}{\sqrt{RT_{номр}}}, & \text{если } \frac{p_p}{p_{номр}} \geq 2 \end{cases}$$

где  $f_p$  – площадь сечения выходного отверстия ресивера, м<sup>2</sup>;  $p_{номр}$  – давление газа за ресивером, Па;  $T_{номр}$  – температура газа за ресивером, К.

Таким образом, с учетом изменений дополненная система уравнений для моделирования будет выглядеть следующим образом [1]:

$$\left\{ \begin{aligned} I \frac{d\omega}{dt} &= p_n l x \left( r + \frac{x}{2} \right) + p_p l (x_1 - x) \left( r + x + \frac{x_1 - x}{2} \right) - p_b l x_1 \left( r + \frac{x_1}{2} \right) - \\ &\quad - z \cdot \mu m_n \rho_{шт} \cdot \omega^2 (r + x_{ср}) - M_c; \\ \frac{dp_n}{dt} &= \frac{k}{V_n} \left( RT_n G_n - p_n \cdot \frac{dV_n}{dt} \right); \\ \frac{dp_p}{dt} &= - \frac{k}{V_p} \cdot p_p \frac{dV_p}{dt}; \\ \frac{dp_b}{dt} &= - \frac{k}{V_b} \left( RT_b G_{ДГ} + p_b \cdot \frac{dV_b}{dt} \right); \\ \frac{dp_p}{dt} &= \frac{R \cdot T_p}{V_p} (G_{ДГ} + G_{Др} - G_{Потр}) \end{aligned} \right.$$

Моделирование производилось в программе WolframMathematica 10.4. Рассмотрим случай полного разгона и полного торможения ДГА при статичном открытии регулирующего клапана на 25% (рис. 2 – 3). Действие потребителя задано в виде полного прекращения им отбора газа в момент времени  $t = 4$  с.

По полученным графикам можно сказать, что введение в систему двух новых частей (регулирующего клапана и ресивера) не изменило общего характера поведения основных переменных, полученных в [1].

Наиболее интересный момент – это процесс изменения давления в ресивере: до выхода двигателя на режим постоянной скорости процесс повышения давления плавный, аperiodический, а после процесс можно назвать квазистационарным, как и в целом все процессы ДГА [1]. Таким образом, скачки давления ДГА оказывают прямое воздействие на поведение давления внутри ресивера, однако, по амплитуде эти скачки снижены.

### Выводы

Предложенная модификация принципиальной схемы ГРП/ГРУ позволяет использовать ДГА объемного типа в качестве основного средства понижения давления природного газа, а также существенно сэкономить габариты и снизить стоимость установки агрегата.

Представленная математическая модель позволяет проанализировать работу модифицированного пункта редуцирования давления природного газа на переменных режимах, вызванных неравномерностью отбора газа потребителями.



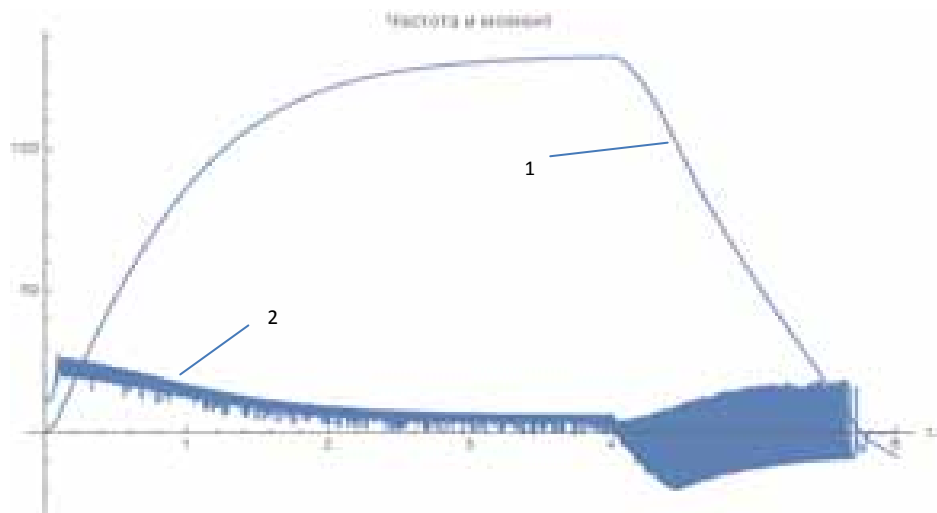


Рисунок 2 – Динамические характеристики пластинчатого детандера  
1 – Частота вращения, об/с; 2 – момент, Нм·10

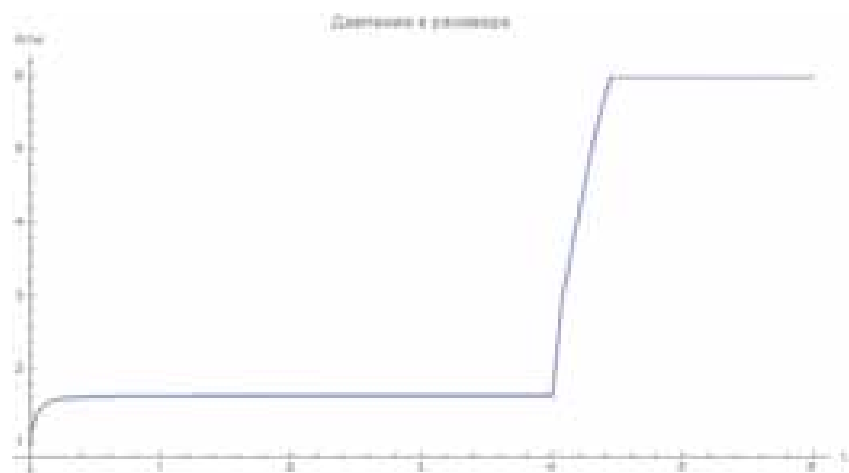


Рисунок 3 – Изменение давления газа в ресивере

#### Литература

1. Белоусов А.Е. Метод расчета динамических характеристик детандер-генератора объемного типа [Текст]/ А.Е. Белоусов, О.В. Кабанов, М. В. Волошин // Технологии нефти и газа. – 2016. – №3. – С. 51-55.
2. Разработка и создание автономных энергетических установок малой мощности с расширительной турбиной на базе турбин конструкции ЛПИ для магистральных газопроводов и газораспределительных станций [Электронный ресурс]: ООО НТЦ «МТТ». – Электронные данные. – СПб, 2010;
3. Репин Л.А., Репин А.Л. Возможности использования энергии давления природного газа на малых газораспределительных станциях [Текст]/А.Л. Репин. – Краснодар/Энергосбережение. – 2004. - №3;
4. Обзор современных конструкций турбодетандерных генераторов [Электронный ресурс]: ООО НТЦ «МТТ». – Электронные данные. – СПб, 2010;

**А.В. БЕРЧЕНКО**

Санкт-Петербургский горный университет

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
ДЕТАЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ НА  
ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ИЗНОСОСТОЙКОГО  
ПОКРЫТИЯ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН МАРКИ ВК8**

По мере совершенствования технологии инструментального производства область применения инструмента из твердых сплавов расширяется. Дальнейшее развитие технологии поверхностного упрочнения металлов и сплавов связывают с разработкой комбинированных процессов, включающих последовательно несколько методов модификации, с целью получения сочетания свойств, которое невозможно получить в отдельном применении каждой из таких технологий. При этом следует учитывать, что для режущего инструмента, работающего при больших нагрузках, существенным является не только высокая твердость поверхностного слоя, но и способность воспринимать значительную пластическую деформацию в процессе обработки. С каждым годом в современном автоматизированном машиностроительном производстве все более важную роль играет внедрение инновационных технологий, позволяющих значительно повышать производительность механообработки.

Практически все влияющие на работоспособность режущего инструмента характеристики: твердость, термостойкость, износостойкость и др. определяются свойствами поверхностных слоев. Инструмент изнашивается по поверхности, усталостные трещины образуются от его поверхности, и термостойкость тоже в первую очередь касается поверхности. Основным инструментальным материалом, обеспечивающим высокопроизводительную обработку материалов резанием в современном машиностроении, являются твердые сплавы. Твердосплавным инструментом снимается три четверти всей стружки (из всего объема стружки, снимаемой инструментами из всех имеющихся инструментальных материалов).

В настоящей работе проводятся исследования по увеличению срока службы твердосплавных пластин на основе их поверхностного легирования. Благодаря обработке удастся получить слой, обеспечивающий повышенную стойкость и минимальную интенсивность изнашивания рабочих поверхностей инструмента.

Научный руководитель - профессор, д.т.н. Максаров В.В.

**И. В. БЛЕДНЫХ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **НАСТРОЙКА ТИПОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАЧЕСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОД**

Сложность процессов, протекающих в металлургических печах не позволяет получать достаточно адекватные модели. Поэтому в большинстве случаев используется приближённая модель “вход-состояние” расширенного объекта, объединяющие модель объекта без учёта звена запаздывания и модель используемого типового ПИ-регулятора, которая отражает наиболее существенные свойства исследуемого объекта. Задача настройки параметров промышленных регуляторов сведена к задаче нахождения закона управления на основе методов аналитического конструирования оптимальных регуляторов (АКОР). Решение задачи АКОР ищется на основе решения модифицированного матричного уравнения типа Риккати.

На основе схемы моделирования объекта управления было произведено исследование переходных процессов при изменении параметров объекта. Был выделен входной параметр (расход основного топлива), изменения которого вызывают наибольшее отклонение системы от состояния теплового равновесия. Влияние остальных входных параметров было эквивалентировано в виде отдельного аperiодического звена. Схема моделирования объекта управления была составлена на основе уравнения теплового баланса в программных пакетах Matlab R2014a и MBTU 3.7.

Как показали результаты моделирования, подобный подход к настройке параметров регуляторов по сравнению с типовыми методами, например, настройкой на модульный оптимум, демонстрирует при увеличении диапазонов изменения значений параметров технологического объекта, таких как коэффициент передачи, значений постоянных времени звена запаздывания, сохранение требуемых показателей качества.

Научный руководитель: к.т.н., доцент О.К. Мансурова.

**И.А. БОГДАНОВ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГИИ ПЕРВИЧНОГО ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ ГЕНЕРАЦИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

Повешение генерации электрической энергии ГТУ актуальная на сегодняшний день задача. На выходную мощность генератора влияют множественные факторы, одним из которых является температура воздуха на входе в камеру сгорания ГТУ.

Анализ портфолио установки SGT-800 компании Siemens показал, что максимальная мощность на выходе генератора достигается в результате работы установки при температуре от  $-15^{\circ}\text{C}$  и ниже, а эксплуатации в условиях температуры воздуха от  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $40^{\circ}\text{C}$  мощность установки падает с 54 МВт до 36 МВт. Практические исследования той же установки так же показали снижение мощности с номинальной 47 МВт до 33 МВт при сильных повышениях температуры летом на территории Казахстана.

Для решения данной проблемы создаются тригенерационные системы на основе ГТУ и абсорбционной холодильной машины (АБХМ) использующей тепловую энергию выхлопных газов ГТУ или нагретой от них воды для генерации энергии холода. Различные АБХМ способны генерировать холод мощностью от 35 до 8800 кВт с температурой на выходе до  $-5^{\circ}\text{C}$ , что позволит получать на выходе ГТУ SGT-800 до 52 МВт электрической энергии без учета потерь. Помимо повышения мощности на выходе генератора АБХМ решает проблему утилизации тепловой мощности в теплое время суток. В отопляемый период (октябрь – апрель) эта проблема не встает так остро, однако в летний период количество вырабатываемого тепла возрастает, ввиду меньших потерь и большего потенциала тепловой энергии атмосферного воздуха, используемого в процессе горения, температура помещений становится даже выше номинальной. АБХМ можно использовать для обеспечения энергией холода не только ГТУ, но и офисные и производственные помещения, а также при процессах охлаждения технических жидкостей и газов.

Основными задачами внедрения АБХМ на производство является создание подробных ТЭО для поиска оптимальных решений, рассмотренных в этой статье проблем, так как установки АБХМ являются технически сложными, дорогостоящими и неэффективными в условиях малых мощностей.

Научный руководитель д.т.н, профессор Б.Н. Абрамович

**Б.А. БОЙКО**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ПОКАЗАТЕЛЬ УЧЕТА ГРУЗОВОЙ МАССЫ ПРИ ПЕРЕВОЗКАХ ГРУЗОВ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ**

*Введение.* Единовременно в процессе перевозки находятся миллионы тонн грузов. Во время перевозки происходит рост затрат, которые в дальнейшем будут включены в стоимость груза. Груз во время перевозки является замороженным капиталом: чем дольше груз находится в пути, тем позднее он принесет доход. Грузовая масса в пути занимает подвижной состав различных видов транспорта: чем дольше груз находится в пути, тем менее рационально используются производственные мощности транспортных предприятий. В связи с вышесказанным является важным применение показателя учета грузовой массы во время перевозок.

*Постановка проблемы.* На автомобильном транспорте при перевозках грузов в настоящее время широко применяются: 1. Производительность подвижного состава (объем перевезенного груза за единицу времени), измеряемая в т/ч. Однако этот показатель не позволяет учесть задержки груза в пути. 2. Грузооборот для учета работы транспорта, равный произведению массы перевозимого за определенное время груза на расстояние перевозки, измеряемый в тонно-километрах (т·км), также не учитывающий задержки груза в пути. 3. Время доставки в часах (ч) или других временных показателях, не учитывающее размер грузовой массы в пути. 4. Объем груза в тоннах (т) подлежащий перевозке или перевезенный. Этот показатель указывается с уточнением периода, за который происходит учет (т/оборот, т/сут., т/мес., т/год). Однако не предполагается дифференциация его значений на различных стадиях процесса доставки. В связи с этим, необходим показатель, который позволит учитывать время нахождения грузовой массы в определенном объеме на различных этапах процесса доставки.

*Результаты.* В работе предлагается использование показателя учета грузовой массы  $G$  за время доставки, измеряемого в тонно-часах (т·ч):

$$G = \sum (Q T),$$

где  $G$  - показатель учета грузовой массы за время доставки, т·ч;  $Q$  – количество груза, поступающего в систему процесса доставки на различных этапах, т;  $T$  – время нахождения количества груза  $Q$  на определенном этапе доставки, ч. Время  $T$  следует исчислять с момента подачи заявки до момента завершения разгрузки. В этот период входит время обработки заявки, хранения груза в ожидании перевозки, время на проведение погрузочных работ, время самой перевозки, время перевалки груза с одного вида транспорта на другой в случае смешанных перевозок, время разгрузки.

Подобный измеритель (т·ч) существует, но практически не применяется при планировании перевозок автомобильным транспортом. Он учитывает время только с момента приема груза к перевозке и до момента сдачи получателю, тогда как грузовая масса оказывается «замороженной» с момента подачи заявки.

*Вывод.*

Новизна: показатель учета грузовой массы  $G$  за время доставки позволит учитывать время с момента подачи заявки до момента завершения разгрузки; позволит учитывать время нахождения грузовой массы в определенном объеме на различных этапах процесса доставки; должен быть одним из основных при выборе схемы доставки по нескольким критериям.

Практическая значимость: показатель учета грузовой массы  $G$  за время доставки необходим при перевозках сборных грузов, когда может иметь место постепенное заполнение транспортного средства грузом; при перевозках по сборным и развозочным маршрутам; при смешанных перевозках с промежуточным хранением груза.

Научный руководитель к.т.н., доцент Т.А. Менухова

**А.А. БОЙЦОВА, Н.К. КОНДРАШЕВА**  
*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НЕФТЕЙ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ ПРОВИНЦИИ**

Для правильного выбора технологических режимов различных процессов добычи, транспорта и переработки нефти необходимо знание не только физико-химических свойств исследуемой жидкости, но и реологических. В связи с этим необходимым этапом предварительных исследований при реализации того или иного технологического процесса является проведение специальных реологических испытаний этих жидкостей, которые позволят прогнозировать реологические свойства разрабатываемых нефтяных компаундированных систем, а также выбирать эффективные методы регулирования этих свойств.

Для определения реологических характеристик нефтей Тимано-Печорской провинции и выделенных атмосферных остатков была определена зависимость динамической вязкости от температуры с использованием ротационного вискозиметра RN 4.1. Получены значения энергии активации вязкого течения для нефти и мазута. При построении зависимости логарифма вязкости от обратной температуры выявлено, что полученные кривые для тяжелых нефтей имеет практически линейный вид, а для парафинистых имеется температура фазового перехода, после которого нефтяная система меняет свои структурно-механические свойства. Атмосферные остатки нефтей различной природы хорошо аппроксимируются двумя прямыми с точкой пересечения, соответствующей 60°C, то есть наблюдается фазовый переход среды. Следует отметить, что температура 60°C соответствует температуре плавления  $n$ -алкана  $C_{27}H_{56}$ . Можно предположить, что твердые парафины концентрируются в высококипящей фракции и при достижении указанной температуры выпадают, образуя фазовый переход системы.

Для оценки структурных превращений и межмолекулярного взаимодействия в дисперсных системах использованы значения свободной энергии, энтальпии и энтропии активации вязкого течения. Резкое снижение энергии активации вязкого течения а после фазового перехода может быть следствием разрушения структуры нефти и снижения прочности связей.

Для тяжелой нефти зависимость свободной энергии и энтропии активации вязкого течения от температуры имеет линейный вид, в то время как для парафинистой нефти значения энтропии имеют резкий сброс при температуре фазового перехода.

Высокие значения энергии активации нефти и их быстрое уменьшение с повышением температуры связано с тем, что для достижения активированного состояния при течении в дополнение к работе, требующейся для образования «дырки», необходимо еще затратить энергию для разрыва сильных межмолекулярных связей. Изменение свободной энергии активации и энтропии активации вязкого течения с температурой связано с самим механизмом течения, который представляет собою одновременно происходящие процессы разрушения структуры системы и ориентации макромолекул и элементов разрушенных структур.

Положительные значения энтропии активации вязкого течения нефти и атмосферного остатка свидетельствуют о том, что доминирующее значение при течении имеет процесс разрушения структуры.

По результатам исследований была определена зависимость частоты перескоков от вязкости для нефтей и атмосферных остатков до и после температуры фазового перехода, которая имеет степенной характер.

## **ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КИСЛОТНОЙ ОБРАБОТКИ ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С ПОВЫШЕННОЙ КАРБОНАТНОСТЬЮ**

В последнее время все большее внимание уделяют проблеме, связанной с проникновением в продуктивный пласт частиц и фильтрата промывочной жидкости в процессе первичного вскрытия пласта, фильтрацией тампонажных составов при цементации обсадных колон и жидкостей глушения при проведении ремонтных работ. Именно методы интенсификации притока все чаще используют в процессе освоения и ввода скважин в эксплуатацию. Одним из эффективных способов воздействия на продуктивный пласт является кислотная обработка (КО) скважин.

Стандартный подход к «дизайну» КО зачастую опирается только на такой параметр, как эффективная мощность коллектора, но при этом не учитывается причина загрязнения призабойной зоны пласта, температура, фильтрационно-емкостные свойства, химический состав пластовых флюидов и т.д. В результате чего вся кислота расходуется в прискважинной зоне, образуются осадки нерастворимых соединений, а это приводит к снижению технологической эффективности проведения КО.

Разработанный кислотный состав (КС) предназначен для решения проблемы кислотной обработки низкопроницаемого терригенного коллектора с повышенной карбонатностью (более 5%).

На начальном этапе проводились эксперименты по подбору оптимальных соотношений кислотных компонентов. Для этого определялась растворяющая способность КС в отношении кварца и карбонатной составляющей породы. Одновременно с этим экспериментом оценивалась осадкоудерживающая способность КС в отношении нерастворимых фторсодержащих осадков. На последующем этапе подбирались облагораживающие добавки для улучшения свойств КС. В заключении были проведены фильтрационные исследования на естественных образцах керна с использованием установки для изучения двухфазной фильтрации Autoflood 700.

Научный руководитель: к.т.н, доцент Д.В. Мардашов, к.т.н, ассистент Подопригора Д.Г.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ПЕРЕКАЧИВАНИЯ ГИДРОАБРАЗИВНЫХ СМЕСЕЙ**

Работа посвящена модернизации действующего технологического процесса ремонта и сборки грунтового центробежного насоса 8Гр-8, который представляет собой гидравлическую машину, предназначенную для перекачивания гидроабразивных смесей с твердыми частицами, циркулирующим по трубопроводам под высоким давлением.

Грунтовые насосы являются специализированными агрегатами, которые могут размещаться на землесосных снарядах – плавучих машинах, использующихся для выемки слоев горных пород, а также грунта, находящегося на дне водоёмов. Гидроабразивные смеси, подвергающиеся перекачке данными агрегатами, обычно имеют плотность до 1600 кг/м<sup>3</sup> и температуру до 700°С.

Чтобы в значительной мере сократить количество производственных «простоев» и увеличить производительность участка, предложено установить конвейер - транспортёр. Данный агрегат может быть использован для быстрого перемещения штучных грузов, в нашем случае – станин центробежных насосов, тяжеловесных, узлов и частей. Конвейер - составная часть современного машиностроительного производства, так как он в силах регулировать темп производства и постоянно обеспечивать его ритмичность. Это позволит увеличить выпуск собранных изделий и повысить производительность труда, легко организовать перемещение грузов-изделий по технологическому процессу поточного ремонта от одной рабочей зоны к другой на территории цеха.

Модернизация существующего производства необходима и позволит: повысить эффективность парка технологического оборудования; сократить количество производственных простоев; сократить длительность производственного цикла ремонта насосных агрегатов; усовершенствовать условия работы трудящихся; улучшить качество сборки центробежных насосов.

Научный руководитель – доцент, к.т.н. Красный В.А.

## **ОБОСНОВАНИЕ МЕР ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ БАНКРОТСТВЕ СИСТЕМООБРАЗУЮЩИХ КОМПАНИЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА (НА ПРИМЕРЕ ОЛОВЯННОЙ ОТРАСЛИ)**

Государственное регулирование является важным фактором развития отраслей экономики. В настоящее время его применение необходимо в оловянной отрасли, где ряд управленческих ошибок привел к банкротству и ликвидации Новосибирского оловянного комбината (НОКа), являвшегося системообразующим предприятием, т.е. предприятием, от деятельности которого зависело функционирование всей отрасли. Наличие внутри страны и на мировом рынке необходимых условий для восстановления отрасли обуславливают актуальность поиска возможных способов стимулирования ее развития. В процессе работы были проанализированы факторы, оказавшие негативное влияние на оловянную отрасль НОК, исследованы возможности государственного вмешательства и предложены меры государственного регулирования для поддержки оловянной отрасли.

До 1990-х годов оловянная промышленность в СССР успешно развивалась при том, что 99% олова в стране производил НОК. Однако стратегические ошибки в управлении компанией и отраслевые проблемы привели к снижению показателей деятельности НОКа и сокращению объемов производства олова в стране. В 2008 году НОК был включен в перечень системообразующих организаций России и стал одним из приоритетных объектов поддержки государства. Тем не менее, когда НОК столкнулся с финансовыми трудностями и подал заявление о банкротстве, власти не оказали поддержки компании, а меры, предпринятые в 2011 году, после введения на НОКе процедуры наблюдения, оказались недостаточными. В результате введенное в 2013 году конкурсное производство было завершено в феврале 2017 года переходом к ликвидации предприятия.

В настоящее время перспективы развития отрасли связаны с деятельностью компании «Русское олово», которая с 2011 года ведет восстановление добычи российского олова в Хабаровском крае. Однако для решения отраслевых проблем и поддержки предприятий необходимо государственное регулирование оловянной отрасли посредством снижения налоговой нагрузки для предприятий, прямой финансовой поддержки, разработки и реализации целевых программ, а также тарифного регулирования.

Таким образом, недостатки в стратегическом управлении НОКом и отсутствие государственной поддержки привели к банкротству системообразующего предприятия и кризису оловянной отрасли, однако комплексное использование мер государственного регулирования все еще способно обеспечить ее постепенное восстановление.

Научный руководитель: проф. Пономаренко Т. В.

**И.В. ВЕРЕСОВ**  
*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНОГО КОНТУРА РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА**

Предлагается методика обоснования контура, основанная на рассмотрении принципиально отличающихся вариантов разработки, как технологически, так и в различных контурах подсчета запасов, в условиях снижения спроса на часть готовой продукции предприятия.

Ранее запасы на месторождениях строительных материалов полностью обрабатывались в контурах полученных лицензий.

Актуальность темы заключается в том, что в настоящее время не все запасы, подсчитанные в лицензионном контуре, целесообразно обрабатывать в связи с большими затратами за пользование и подготовку к разработке земельного участка.

В ходе выполнения работы был определен экономически эффективный контур карьера при разработке месторождения строительных материалов.

Данный способ позволит малым предприятиям определять границы разработки и брать в аренду участок, ответственный контур подсчитанных балансовых запасов.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Г.А. Холодняков

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

При формировании транспортных систем горного производства анализируется большое количество альтернатив, из которых выбирают оптимальные с точки зрения эффективности (предпочтительности) [1]. Для сравнения используются критерии (показатели эффективности, целевые функции). При выборе транспорта, например при проектировании системы транспорта требуется учитывать много различных горно-технических, производственных и технических факторов, неопределенности которых не позволяют проектировщику однозначно назначить вид транспорта [2]. Необходима прозрачная (понятная, обоснованная) система комплексных показателей, позволяющая выбрать вид транспорта на стадии и однозначно оценить эффективность её эксплуатации.

Предлагается использовать производные показатели транспортного потока для количественной оценки [3, 4,]. Транспортный поток измеряется количеством перевозимого груза  $Q$  [т], временем, затрачиваемым на перевозку  $T$  [ч] и длиной транспортирования  $L$  [км]. Удельная эффективность транспортной услуги с учётом затрат энергии должна определяться интегральным показателем транспортного потока по величине транспортных услуг, физический смысл которой – отображать величину расхода мощности транспортной машины за время транспортирования.

Общая эффективность транспортной услуги  $\mathcal{E}_m$  с учётом затрат энергии определяться отношением выполненной транспортной работы к затрачиваемой мощности:

$$\mathcal{E}_m = (Q \cdot L) / (Q \cdot L^2 T^{-3}) = T^3 / L,$$

и отношением выполненной транспортной услуги к выполненной работе  $\mathcal{E}_p$ :

$$\mathcal{E}_p = (Q \cdot L)(LT^{-1}) / (Q \cdot L^2 T^2).$$

Наилучшие значения показателей  $\mathcal{E}_m$  и  $\mathcal{E}_p$  обеспечивают энергоэффективное применение транспортных машин.

Предложенные критерии используются в технико-экономических расчетах энергетической составляющей транспортного процесса и учитывают рассеивание мощности на 1 км пути при доставке 1т груза, а в отличие от транспортной работы (т км) учитывает скорость доставки груза, изменение производительности горного предприятия, соответствует требованиям транспортной логистики и принципу «наименьшего действия»

### Список литературы

1. Коптев В.Ю. Обоснование выбора транспортных машин горных предприятий./Горная техника, Изд. Дом «Славутич», 2012г.-с.58-61.

2. Коптев В.Ю., Веселов И.В. Критерии выбора транспортных машин горно-добывающего предприятия/ IV Международная научно-практическая конференция «Инновации на транспорте и в машиностроении» 28-29. 04. 2016, С-Пб, СПГУ, Сб. Трудов, Т2, с. 141-145.

3. Коптев В.Ю., Веселов И.В. Выбор вида транспорта по показателям энергетической эффективности / Научная конференция с межд. участием «Неделя науки СПбПУ»: ИММиТ СПбПУ. Ч.2. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. С. 306–307

4. Веселов И.В. Выбор вида транспорта по показателям эффективности/ III Международная научно-практическая конференция «Инновации на транспорте и в машиностроении» СПб, 2015. С.14-15.

Научный руководитель: доц., к.т.н. В.Ю. Коптев

**Я.Ю. ВДОВИН**

Санкт-Петербургский горный университет

## ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПЕРЕГРУЗКИ МЕЛЬНИЦ САМО- ПОЛУСАМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛЯ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ

Большинство технологических схем рудоподготовки на обогатительных фабриках (ОФ), спроектированных в последние десятилетия, базируются на процессе само-/полусамоизмельчения (СИ/ПСИ)<sup>3</sup>.

Процесс СИ заключается в следующем: крупные куски руды в мельнице, измельчаясь, разрушают более мелкие. В процессе ПСИ в мельницу добавляются стальные шары большого диаметра (100-125 мм) в объеме 6-10 % от общего объема мельницы.<sup>4</sup>

Вследствие перегрузки мельницы, при которой уровень пульпы в барабане превышает уровень разгрузочной цапфы, необходимо производить её остановку, что приводит к значительным потерям в выпуске концентрата.

Целью исследования является разработка метода предотвращения перегрузки мельницы СИ/ПСИ. Данный метод основывается на формулах расчета полной потребляемой мощности электродвигателя, предложенных С. Морреллом<sup>5</sup>.

Разработанный метод включает в себя построение «Диаграммы регулирования мельницы СИ/ПСИ по мощности» для контроля уровня ее загрузки. На диаграмме для разной шаровой загрузки строятся графики зависимости суммарной потребляемой мощности электродвигателя от общего заполнения барабана материалом.

С помощью такой диаграммы оператор на ОФ, контролируя полную потребляемую мощность, будет иметь возможность оперативно предотвращать перегрузку мельницы, тем самым избегая потери в производительности ОФ.

**Научный руководитель:** к.т.н. Кусков Вадим Борисович.

**А.П. ВОЛЧЕК**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **АНАЛИЗ ДАННЫХ РАЗВЕДКИ ПАЛАШЕРСКОГО УЧАСТКА ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ (ПЕРМСКИЙ КРАЙ)**

Ввод в действие новых рудников на ВКМКС и освоение их мощностей кроме аварийных ситуаций, связанных с прорывами воды, постоянно сопровождается осложнениями, вызванными латеральной неоднородностью ВЗТ, пликативной нарушенностью и неустойчивым поведением кровли рабочих пластов, наличием зон замещения сильвинита каменной солью, рассолопроявлениями, газодинамическими явлениями. Буровая система разведки позволяет оценить величину запасов, размах оценок мощности и качества залежей сильвинита, но не обеспечивает прогноз горно-геологических условий ведения горных работ. Сгущение сети скважин нерационально, т.к. в барьерном целике около каждой скважины теряется не менее 180 тыс. т руды, а сами целики усложняют топологию сети горных выработок. Площадные геофизические работы выявляют полигенные аномалии физических полей в массиве, что не позволяет выбрать оптимальные инженерные решения по обеспечению безопасных условий освоения запасов без надежной горно-геологической интерпретации геофизических данных.

В ходе разведочных работ на Палашерском участке на площади в 73,5 км<sup>2</sup> было пробурено 36 скважин и геофизическими работами выявлено 33 аномалии физических полей. Полученные данные могут позволить предварительно оценить связь и коррелированную и координированную изменчивость состава и мощности основного рабочего пласта КРП и возможно дать горно-геологическую интерпретацию геофизических данных.

В настоящий момент выполнен статистический анализ средствами программы *MO Excel* и геометризация данных буровой разведки с помощью средств программы *Surfer*.

Статистический анализ показал наличие активной внутрисоляной тектоники в пределах участка, а по результатам геометризации данных выявлены значительные расхождения значений параметров в конкретной точке в зависимости от выбранного средства построения.

Следующим шагом в данной работе должно быть нахождение средства, позволяющего дать оценку погрешности, построенным в изолиниях пространственно-факторным полям основных параметров.

Научный руководитель: к.г.-м.н., доцент кафедры ГРМПИ А.Л. Панфилов

<sup>3</sup> Горный журнал. 2014. 11 вып. 11. С. 6.

<sup>4</sup> Андреев Е.Е. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению: Учебник / Е.Е. Андреев, О.Н. Тихонов, Санкт-Петербургский государственный горный институт. СПб, 2007. С. 86.

<sup>5</sup> Mineral processing and Extractive metallurgy. 1996. Янв-Апр. С. 43-53



**Ю.Г. СИРЕНКО**  
доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский Горный Университет,  
**М.С. ВОЛЧОК**  
ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский Горный Университет,  
**А.А. СТЕТОЙ**  
ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский Горный Университет

## **ПОСЛОЙНАЯ ОТРАБОТКА КАЛИЙНЫХ ПЛАСТОВ КОМБИНИРОВАННЫМИ СИСТЕМАМИ РАЗРАБОТКИ С СЕЛЕКТИВНЫМ ИЗВЛЕЧЕНИЕМ СИЛЬВИНИТОВЫХ СЛОЕВ**

В работе рассмотрены различные схемы селективного извлечения калийных руд в условиях Старобинского месторождения, предложены новые схемы послойной отработки пластов короткими очистными забоями.

Как известно, одними из основных показателей, характеризующих эффективность отработки калийных пластов, являются коэффициент извлечения руды из недр и содержание в руде сильвинита и нерастворимого остатка. Высокий уровень потерь и разубоживание руды заставляют постоянно вести разработку новых технологических схем по выемке Третьего калийного горизонта.

В последние годы одним из основных направлений ведения горных работ на Старобинском месторождении калийных солей является селективная выемка продуктивных слоев длинными очистными забоями с закладкой галитового слоя метателюрами в отработанное пространство в виде бутовых полос. Селективная выемка позволяет увеличить содержание полезного компонента в выдаваемой руде, уменьшить затраты на ее переработку на обогатительных фабриках, сократить площади под солеотвалы и шламохранилища, при этом, по нашему мнению, перспективным является направление исследований с целью применения камерной системы разработки с селективным извлечением сильвинита и использования выработанных пространств камер для утилизации галита и шламов, а также с применением шламов для консолидации материала бутовых полос и галитовой закладки камер для их упрочнения и увеличения несущей способности межходовых и междукамерных целиков.

В связи с этим, по мнению авторов, внедрение технологических схем выемки Третьего пласта короткими очистными забоями послойно заходками при камерной системе разработки должно основываться на базе специального высокопроизводительного очистного оборудования, позволяющего осуществлять и в коротком забое раздельную (селективную) выемку полезного ископаемого (сильвинита), и пустой породы (галита), и закладку последней в выработанное пространство отработанной камеры при помощи простого высыпания из самоходного вагона на почву. Это позволяет повысить безопасность ведения добычных работ, исключая нахождения человека вблизи комбайна. Экономический эффект достигается как за счет не-транспортирования пустой породы (галита) из камеры на поверхность и в отвалы, в результате чего уменьшается площадь засоления земельных угодий, так и за счет повышения содержания полезного компонента в обогащаемой руде.

**Г.А. ГРОШЕВ**  
*Санкт-Петербургский горный университет*

## **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ «СФЕРОИДАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ», НАЙДЕННОГО В МАССЕ КИМБЕРЛИТОВЫХ АВТОЛИТОВЫХ БРЕКЧИЙ ТРУБКИ ИМ. КАРПИНСКОГО-1 (М-Е АЛМАЗОВ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА)**

Кимберлитовые породы трубок месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова на протяжении более чем 30 лет изучались многими исследователями и были подробно изложены в монографии «Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия)» (под ред. О.А. Богатикова). Особый интерес представляют собой автолиты (лапилли) – округлые (эллипсоидальные) образования, как предполагается, более раннего кимберлита, помещённые в связующую серпентин-сапонит-карбонатную массу. Образование автолитов объясняется механизмом флюидизации кимберлитового расплава, насыщенного микролитами оливина, флогопита, апатита, перовскита, кальцита и др. (Б.А. Мальков «Геология и петрология кимберлитов», 1997).

Летом 2016 года в массиве автолитовых кимберлитовых брекчий на контакте жерловой и кратерной частей трубки (абс. отм. +3 м) было найдено сфероидальное образование диаметром около 13 см. Характерной чертой образца (и главным отличием его от «классических» автолитов) является концентрически-скорлуповатое строение, выраженное в чередовании тёмных (серо-зелёных и шоколадно-фиолетовых) и светлых (желтоватых) слоёв. При помощи оптических методов (просмотр шлифов в проходящем свете) был изучен небольшой участок образца (граница серо-зелёного и желтоватого прослоев); установлено, что минералогически данное образование не отличается от вмещающих его автолитовых брекчий, однако сами слои несколько разнятся между собой содержаниями карбоната и ксеногенного кварца. Стоит отметить обильное развитие рудных минералов по границе слоёв. Помимо вышеперечисленного образец отличается повышенной хрупкостью – внешние слои, словно, скорлупки отделяются от центральных частей.

Б.А. Мальков в своей работе «Геология и петрология ...» (1997) упоминает похожие по описанию образования – орбикулы, являющиеся сферическими кумулатами и так же обладающими концентрически-скорлуповатым строением; основная роль в их образовании отводится кристаллизационной дифференциации и избирательной кумуляции некоторых минералов на их поверхности. Но за неимением полного комплекса исследований говорить о природе найденного образования рано и подобный вопрос остаётся открытым.

Научный руководитель: д.г.-м.н., профессор кафедры ГРМПИ А.Н. Евдокимов.

**Л.Р. ГИЗАТУЛЛИНА**

*Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург*

## **АНАЛИЗ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

В последнее десятилетие большинство из аварий в нефтегазовой промышленности (около 95 %) связано со взрывами: 54% в аппаратуре, 46% в производственных зданиях и на открытых технологических площадках. Статистика чрезвычайных ситуаций за 2012-2016год показывает, что из общего количества взрывов в 42,5% случаев происходят взрывы сжиженных углеводородных газов. [1]

Очень часто при ликвидации аварий затруднен подъезд к зоне пожара из-за компактного расположения технологического оборудования и установок. Поэтому при тушении имеет место несимметричное распределение тепловых нагрузок на оборудование и сооружения. Следствием этого являются деформации элементов конструкций, разгерметизация технологической обвязки и дальнейшее развитие аварии.

Целью работы являлась разработка научно-методических основ безопасного и рационального расположения оборудования на газоперерабатывающих предприятиях.

В ходе расчетов были определены размеры зон, ограниченные нижним концентрационным пределом распространения (НКПР) газов на примере газофракционирующей установки с пропаном. Для горючих газов геометрически зона, ограниченная НКПР газов, представляет собой цилиндр с основанием радиусом  $R_0$  и высотой  $h_0 = 2R_0$ , при  $R_0 \leq h$  и  $h_0 = h + R_0$  при  $R_0 > h$ . Для рассмотренного случая были определены следующие параметры:  $R_0 = 116$  м,  $h_0 = 118$  м. Было установлено, что реакция элемента на ударную волну выражается в виде деформации конструкций. Значительные остаточные деформации приводят к полному или частичному разрушению объекта.

Безопасные расстояния для всех аппаратов друг от друга  $R_{ij}^0$  были определены по формуле:

$$R_{ij}^0 = \max \left\{ K_j^0 \frac{\sqrt[3]{W_i}}{\left[ 1 + \left( \frac{3180}{W_i} \right)^2 \right]^{1/6}} + r_j; K_i^0 \frac{\sqrt[3]{W_j}}{\left[ 1 + \left( \frac{3180}{W_j} \right)^2 \right]^{1/6}} + r_i \right\}$$

Для оптимизации расположения аппаратов, была также определена сумма расстояний между всеми аппаратами с учетом веса связи ( $\varepsilon$ ) и числом аппаратов ( $n$ ) по формуле:

$$F = \sum_{i=1; j=i+1}^{n-1; n} (L_{ij} + \varepsilon) \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

В результате расчетов был получен оптимизированный план расположения оборудования на предприятии. Также в дальнейшем предполагается написание методики расчета параметров оптимизации распо-

ложения объектов на предприятии в программе Microsoft Excel для составления плана расположения оборудования на предприятиях.

Выводы:

Решена задача оптимизации безопасного расположения технологического оборудования с учетом технологических связей, показателей опасности и устойчивости к воздействию поражающих факторов. Определены методы расчета значений параметров ударной волны на объекты различной формы. Определены критерии безопасного расположения объектов на газоперерабатывающих предприятиях.

#### Список литературы

1 М.В. Бесчастнов, В.М. Соколов. Предупреждение аварий в химических производствах. – М.: Химия, 1979.-392с.

Научный руководитель -Щипачев А.М.

**Р.А. ГУБАЙДУЛЛИНА**

*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ОТКРЫТОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФОТОГРАФИРОВАНИЯ С БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

Одной из основных задач, решаемых маркшейдерами в процессе эксплуатации открытой горной выработки, является оценка устойчивости ее бортов. Существуют различные методики решения поставленной задачи, но практически все применяемые методы требуют выполнения большого объема работ. По этой причине было принято решение выбрать такой метод съемки, который позволял бы существенно сократить процесс получения и обработки данных. В настоящей работе описывается опыт применения цифровой аэрофотограмметрии.

Цель работы: произвести анализ точности аэрофотограмметрического метода определения координат точек местности, используемых далее для построения ее цифровой модели и определения устойчивости бортов карьера.

В качестве исходных данных для выполнения эксперимента были использованы снимки карьера, полученные с беспилотного летательного аппарата, оснащенного неметрической камерой Sony Alpha 6000, гиросtabilизирующей установкой и системой GPS. Для обработки исходных данных использовался программный продукт Agisoft Photoscan. Одно из его преимуществ состоит в том, что он позволяет произвести самокалибровку камеры, путем решения обратной фотограмметрической засечки.

Анализ точности определения координат точек местности осуществлялся по специальным кодовым маркам, жестко закрепленным на нижнем уступе карьера. Их координаты были определены геодезическими методами с высокой точностью. В процессе обработки маркирование точек выполнялось в ручном режиме, при этом ошибка определения координат центра марки на снимке не превосходила 0,5 пикселя.

В ходе эксперимента было установлено, что конфигурация планово-высотного съемочного обоснования карьера не оптимальна, и это при обработке снимков всего карьера, привело к существенному снижению точности результата. Вследствие чего было принято решение обрабатывать поверхность нижнего уступа отдельно, так как она наилучшим образом оснащена опорными точками. Таким образом, точность определения координат контрольных точек увеличилась более чем в 2 раза.

Корнилов Юрий Николаевич к.т.н., доцент кафедры инженерной геодезии

**Н.С. ГОРБАЧ,**

**Н.С. ПЩЕЛКО**

*д.т.н., каф. Общей и технической физики Санкт-Петербургский горный университет*

## **ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ КРЕПЕЖНЫЕ УСТРОЙСТВА: РАСЧЕТ И ПРИМЕНЕНИЕ**

Электроадгезией называют взаимодействие объектов, приводящее к их скреплению, вследствие приложения к ним электрического напряжения и, как следствие, появления сильного тянущего электрического поля. Управляемый электроадгезионный контакт может быть использован как в различных крепежных

устройствах [1], так и для специальных применений - контроля шероховатости [2], использования в электростатических пинцетах [3] и др. [4,5]

Устройства, в которых диэлектрический объект закрепляется на специальной плате, над которой с помощью системы электродов создается резко неоднородное электрическое поле, называются электростатическими крепежными устройствами (ЭКУ) планарного типа. Система электродов представляет собой «гребенки», вставленные друг в друга и разделенные диэлектрическим слоем. В таких устройствах имеется два вида взаимодействий: дипольное (взаимодействие диполей диэлектрика с электрическим полем платы) и абсорбционное (притяжение абсорбированных зарядов в диэлектрике к зарядам на электродах платы).

В ходе расчета силовых характеристик была получена формула для расчета пондеромоторного давления в зависимости от диэлектрической проницаемости, величины воздушного зазора, геометрических характеристик электродов и ряда других параметров. Как следует из полученных расчетных зависимостей, существует оптимальная ширина электродов, которой соответствует максимальное пондеромоторное давление.

С учетом расчетных данных, разработан опытный образец ЭКУ, использующийся в качестве электроадгезионной доски объявлений (ЭДО). ЭДО надежно удерживает объявления из бумаги и картона, обладает низким энергопотреблением, для закрепления не требует магнитов или клеящей ленты, скрепок, кнопок и т.п. ЭДО позволяет в процессе писания на ней иллюстрировать записи заготовленными на бумаге рисунками. Отметим, что традиционные старые доски для писания мелом или маркером, как и современные мультимедийные интерактивные доски не позволяют ОДНОВРЕМЕННО эффективно использовать написание и иллюстрирование.

Таким образом, разработана методика расчета силовых характеристик управляемого электроадгезионного контакта. Проведенные расчеты показали, что конструктивные параметры ЭКУ могут быть оптимизированы. Разработан и экспериментально апробирован опытный образец ЭКУ, показавший свою работоспособность в качестве ЭДО.

#### **Список литературы:**

5. Абраров В.Н. Электростатические захватывающие и закрепляющие устройства для роботизации производства ИЭТ // *Электронная промышленность*. - 1985. Вып. 4-5 (142-143).- С.91-95.
6. Приходченко В.А., Таиров В.Н., Тонкий Л.В. Электроадгезионный способ контроля шероховатости поверхности проводящих деталей // *Вопр. автоматизации технол. и произв. процессов*. Ярославль, 1976. Вып. 2.- С. 36-41.
7. Электростатика. Теоретические основы и задания для расчётно-графических работ: Учебное пособие / Н.Н. Смирнова, Н.С. Пшелко, В.И. Чернобай, В.В. Фицак. / Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2013. 60 с.

**М.И. ДАВЫДЕНКО**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА**

В настоящее время мероприятия по организации непрерывного учебного процесса включают в себя действия, связанные с обработкой большого количества информации, ее сортировкой и представлением в надлежащем виде. В статье представлен способ автоматизации процесса составления расписания использования (загрузки) аудитории в течение семестра (года) с использованием встроенных программных продуктов.

Формирование загрузок аудиторий представляет собой длительный процесс сортировки исходных данных с вычленением из них необходимой информации к заполнению и формированию итогового результата. Для разработки решения поставленной задачи был проведен сравнительный анализ различных алгоритмов сортировки.

Сравнительный анализ проводился исходя из времени обработки данных представленными алгоритмами, объема требуемой для их работы памяти, универсальности и пригодности к сортировке данных при непосредственном чтении с потока. Для решения поставленной задачи выбран алгоритм устойчивой сортировки, так как исходные данные представляют собой набор строк и столбцов и при сортировке обязательно необходимо сохранять порядок элементов с целью ликвидации ошибок и перемешивания данных.

Алгоритм сортировки с помощью двоичного дерева является оптимальным при формировании исходного результата путем непосредственного чтения данных с потока (файла, консоли). Данный алгоритм был выбран для разработки решения. Основная идея алгоритма двоичного дерева заключается в построении бинарного дерева поиска на основании ключей массива (списка).

На основании общей структурной схемы алгоритма двоичного дерева построен уникальный алгоритм для решения поставленной задачи. Представленный алгоритм является гибким и универсальным, с его помощью формируется итоговая загрузка любой аудитории любой кафедры Горного университета. Алгоритмом учитываются все критерии сортировки исходных данных для формирования итогового результата.

Полученный алгоритм реализован с помощью языка программирования VisualBasicforApplications (VBA). Созданный интерфейс позволяет осуществлять выбор кафедры, для аудиторий которых необходимо сформировать загрузку, а также производить редактирование общих данных для заполнения на каждой загрузке (ФИО заведующего кафедрой, его должность). Для удобства работы типографии осуществляется автоматический перевод данных из Microsoft (MS) Excel в MSWord. Итоговые загрузки соответствуют всем требованиям, предъявляемым в Горном университете.

Таким образом, был проведен сравнительный анализ существующих алгоритмов сортировки и выбран оптимальный для решения поставленной задачи. Созданный алгоритм реализован с помощью языка программирования VBA, представленный пользовательский интерфейс осуществляет формирование загрузок всех аудиторий, размещенных в Инженерном корпусе Санкт-Петербургского горного университета. Программа использована для составления расписания использования аудиторий кафедры информатики и компьютерных технологий Санкт-Петербургского горного университета.

Научный руководитель Е.В. Катунцов

**К.А. ДАНИЛЬЦЕВА**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНОГО УЧАСТКА ТРУБОПРОВОДА ПРИ УДАРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В УСЛОВИЯХ ПРОВЕДЕНИЯ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ**

Одной из важнейших задач трубопроводного транспорта газа является сохранение высокого уровня надежности и работоспособности линейной части магистральных газопроводов и газопроводов сетей газораспределения. В процессе эксплуатации возможны снижение свойств материала, образование недопустимых дефектов и другие отклонения проектных характеристик трубопровода, которые могут привести к возникновению аварийных ситуаций.

Для снижения числа аварий необходимо обратить внимание на выявление опасностей на стадиях проектирования объектов, а также на повышение эффективности анализа инцидентов, аварий и отказов.

В данной работе для анализа причин аварии на 59 км газопровода-отвода к ГРС г.Алатырь предлагается выполнить расчет НДС трубопровода-отвода при ударном воздействии на него ковшем экскаватора с помощью метода конечных элементов в ПК ANSYSMechanicalWorkbench 15.

Для этого смоделирован участок трубопровода и ковш экскаватора. При расчете учитывается материал газопровода, собственный вес элементов, а также внутреннее давление газа.

В качестве результатов расчета рассматривается распределение эквивалентных напряжений в стенке трубопровода. С целью определения состояния конструкции после удара, максимальные эквивалентные напряжения сравниваются с предельно допустимыми значениями для данного материала.

Для оценки общего экономического ущерба от аварии на опасном производственном объекте, в соответствии с методическими рекомендациями по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах выполнен сводный расчет на ликвидацию аварии.

Научный руководитель: к.т.н., ассистент А.А. Лягова

**А.С. ДМИТРИЕВА, Г. Х. САМИГУЛЛИН, А.А. ЛЯГОВА**

*Горный университет, г. Санкт-Петербург*

## **ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЬНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕЗЕРВУАРА С УЧЕТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ДЕФЕКТА ТИПА «ВМЯТИНА»**

Проблема прогнозирования эксплуатационной надежности и долговечности резервуарных конструкций является актуальной, ее решение позволит обеспечить их безаварийную эксплуатацию. Одним из

распространенных дефектов геометрии стенки резервуара являются вмятины. Данный дефект может возникнуть в процессе эксплуатации резервуаров в результате нарушений технологии монтажа или ремонта резервуара, при непредвиденном механическом воздействии.

Так, в ходе проведения полного технического диагностирования резервуара РВСП-5000 на поверхности стенки обнаружена вмятина. Действующие нормативные документы устанавливают достаточно жесткие критерии допустимой величины стрелки прогиба вмятины. При этом не учитываются ни геометрические размеры вмятин, ни их месторасположение по высоте стенки резервуара. Данная работа представляет анализ НДС стенки резервуара с вмятиной с учетом геометрии ее формы и расположения для определения допустимых условий эксплуатации резервуара с использованием ПК SIMULIA Abaqus.

Установлено, что для обнаруженной вмятины в стенке резервуара выполняется условие прочности и область стенки резервуара с вмятиной не переходит в область недопустимых пластических деформаций. Найдено значение критической глубины вмятины, при котором возникают недопустимые пластические деформации, и резервуар необходимо выводить в ремонт.



Рис.1 – Результаты моделирования воздействия вмятины: а – поверхностные напряжения по Мизесу, б – перемещение поверхности стенки резервуара

Также была смоделирована нештатная ситуация - образование дефекта «вмятина» на приемораздаточном патрубке РВСП-5000 вследствие падения крюка строительного крана во время установки крыши резервуара. Анализ влияния вмятины сводился к решению динамической задачи с применением импактора, выполняющего роль крюка, который во время падения деформирует поверхность патрубка.

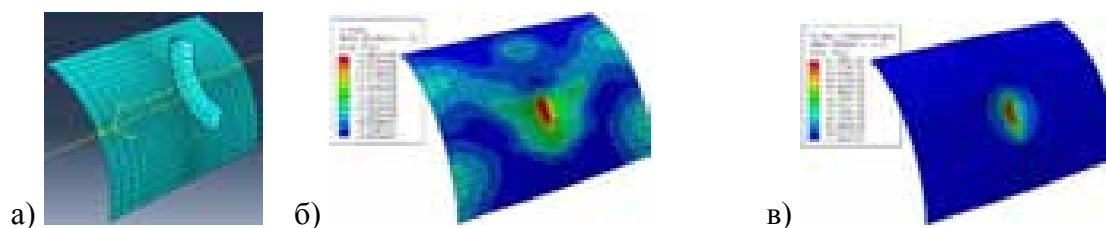


Рис.2 – Моделирование вмятины: а – КЭ модель обечайки с импактором, б – распределение напряжений по Мизесу, в – распределение пластических деформаций в патрубке

Необходимо отметить, что при динамическом воздействии, повышаются характеристики прочности материала (предел текучести и предел прочности). И в этом случае условие прочности при ударной нагрузке: максимальные напряжения возникающие в месте контакта крюка с обечайкой патрубка сравниваются с допустимым, равным удвоенному значению предела текучести стали. Максимальные напряжения составляют 425 МПа, допустимые – 490 МПа. Таким образом, условие прочности выполняется и эксплуатация патрубка возможна.

**О.О. ЕВСЕЕВА**

*Горный университет, г.Санкт-Петербург*

## **ПРОИЗВОДСТВО СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА В РОССИИ: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

В настоящее время одной из ключевых тенденций энергетического сектора становится активное развитие индустрии сжиженного природного газа (СПГ). Технология СПГ представляет собой эффективный способ реализации природного газа, который по сравнению с традиционным трубопроводным имеет ряд преимуществ: 1) оптимизация транспортных расходов; 2) диверсификация направлений сбыта; 3) прямые поставки в центры потребления, гибкость поставок; 4) более высокое качество газа. [3]

Россия является крупнейшим поставщиком природного газа, однако большая часть поставок пока приходится на трубопроводную транспортировку, что влечет за собой ряд рыночных и транзитных рисков. [1] На сегодняшний день в России функционирует только один завод по производству сжиженного природного газа, экспортные поставки с которого составляют 4,3% мирового рынка СПГ. [2] Развитие индустрии СПГ позволит России выйти на новые мировые рынки и занять на них устойчивую рыночную нишу в долгосрочной перспективе, ввиду чего приобретает особую *актуальность*.

*Целью* данного исследования является анализ конкурентоспособности российского СПГ и оценка перспектив реализации крупномасштабных СПГ проектов в России. В соответствии с целью исследования были сформулированы и решены следующие *задачи*: 1) Оценить текущее состояние мирового рынка СПГ; 2) Проанализировать современное состояние производства СПГ в России; 3) Оценить целесообразность реализации новых российских СПГ-проектов.

На основании результатов исследования были сделаны следующие *выводы*: 1) Индустрия СПГ является перспективным направлением развития энергетического потенциала России; 2) Применение технологии транспортировки и хранения природного газа в сжиженном состоянии повышает эффективность разработки удаленных и труднодоступных месторождений, а также открывает новые направления экспорта. 3) Перспективы развития производственного потенциала СПГ в России реалистичны, планируемые к строительству мощности по сжижению природного газа и его транспортировке даже в условиях нестабильной ситуации на рынках углеводородного сырья конкурентоспособны, их реализация ускорит развитие отечественного топливно-энергетического комплекса, а также укрепит позиции России на мировом рынке энергоносителей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Евсева О.О., Череповицын А.Е. Перспективы российских проектов по сжижению природного газа и особенности их оценки // Неделя науки СПбПУ: материалы научного форума с международным участием, СПб.: СПбПУ, 2016. С. 316-318

2. GIIGNL: International Group of Liquefied Natural Gas Importers. The LNG Industry [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: [http://www.giignl.org/sites/default/files/PUBLIC\\_AREA/Publications/giignl\\_2016\\_annual\\_report.pdf](http://www.giignl.org/sites/default/files/PUBLIC_AREA/Publications/giignl_2016_annual_report.pdf);

3. IGU WorldGas LNG Report — 2016 Edition [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: <http://www.igu.org/news/igu-releases-2016-world-lng-report>.

Научный руководитель Череповицын А.Е.

**С.С. ЕВСТРАТЕНКО**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ОЦЕНКА ПРОХОДИМОСТИ ТРАНСПОРТНО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА ПО СЛАБЫМ ГРУНТАМ (НА ПРИМЕРЕ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ)**

На карьерах по добыче торфа большое распространение получил экскаваторный способ. Гидравлический экскаватор осуществляет выемку сырья и погрузку в транспортно-тракторный агрегат, осуществляющий перевозку сырья из карьера в штабель. Проблемой транспортирования торфа является низкая несущая способность грунтов на торфяном месторождении. В данной работе рассматривается вопрос улучшения проходимости ТТА. Сущность метода испытания штампом заключается в натурном моделировании процесса уплотнения грунта под нагрузкой, сопоставимой с нагрузкой ТТА. Воздействия частоты проходов транспортного средства передаются на непрочное торфяное основание и приводят к его уплотнению. Этот механизм развития деформаций обусловлен структурной прочностью верхних слоев торфяной залежи и пористостью верхнего слоя.

Итак, одним из способов улучшения проходимости является способ увеличения опорной поверхности колес полуприцепа. Полученные результаты штамповых испытаний могут быть использованы для выбора допускаемой массы ТТА, а также типа его опорных колес.

Научный руководитель проф. Михайлов А.В.

**Н.Н. ЕЛИСЕЕВА, В.С. КАРПИЧЕНКО**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПОИСКОВОГО МЕТОДА В ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТАХ**

Линейные и нелинейные геодезические задачи при наличии избыточных данных требуют оптимизации процесса решения. Целью оптимизации является нахождение решения в соответствии с какой-либо целевой функцией (критерием эффективности или качества). Задача, допускающая лишь одно решение, не требует оптимизации.

Обычно задаются начальные значения неизвестных, эти параметры связывают со всеми измерениями, уравнения линеаризуют и совместно решают, например, при условии метода наименьших квадратов.

Оптимизация решения задачи может быть осуществлена и другими методами математического программирования. Частным случаем данных методов являются поисковые методы. Метод поиска простейшего типа заключается в последовательном многократном вычислении целевой функции при изменении каждый раз одной или нескольких параметров до тех пор, пока не будет достигнут её минимум. Отличительной особенностью данного метода является то, что при его реализации не требуются численные значения производных.

Алгоритмы решения инженерных задач поисковыми методами были известны достаточно давно, однако мало применялись на практике в связи с низкой производительностью вычислительной техники. Современный уровень развития компьютеров позволяет реализовать метод поиска во многих программных средах.

Работа посвящена разработке оптимальных алгоритмов решения инженерно-геодезических задач поисковым методом и анализу полученных результатов. Рассмотрено применение данного метода для решения следующих задач:

- 1) уравнивание высотной сети;
- 2) аппроксимация результатов обмеров окружностью.

В работе приведён сравнительный анализ поискового с традиционными методами обработки. Исследована эффективность работы программ, составленных в среде Visual Basic, от следующих факторов:

- предварительных значений определяемых величин;
- начального шага изменения искомого параметра;
- условия и кратности изменения шага;
- условия остановки итерационного процесса.

Руководитель: доцент кафедры инженерной геодезии А.В.ЗУБОВ

**А.С. ЕЛИХИН**

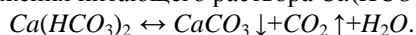
*Санкт-Петербургский горный университет*

## **НАТЁЧНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ ФОРТА КРАСНАЯ ГОРКА**

Предметом изучения натёчных образований в Ломоносовском районе Ленинградской области (Лебяженское городское поселение) являются подземные коммуникации береговой батареи 254 мм, пострадавшие от частичного взрыва боекомплекта (19.08.1918 г.), которые до недавнего времени были недоступны для изучения. Натёчные образования представлены преимущественно формами карбонатного состава: сталактитами, сталагмитами, сталагматами и корками. Сведения об изучении подобных образований, как в форте Красная Горка, так и в пределах Кронштадтской крепости отсутствуют. В ноябре - декабре 2016 г. при проведении полевого изучения комплекса взорванных помещений были определены участки с наибольшей концентрацией натёчных образований, сняты натурные измерения, отобраны образцы, изучены условия роста: температура, давление и влажность.

Целью настоящей работы является изучение разнообразных натёчных форм и интерпретация возможных форм роста.

Датой начала роста натечных образований, вероятно, можно считать взрыв 1918 г. В казематах все это время сохранялась примерно постоянная температура 6 °С, а влажность изменялась в зависимости от сезона и среднегодового количества осадков от 80 до 100%. Кристаллизуется, как правило, один и тот же минерал – кальцит  $CaCO_3$ , и механизм кристаллизации не меняется. Варьируют только пересыщение, способ движения питающего раствора  $Ca(HCO_3)_2$  и скорость распада бикарбоната:



В ходе второго этапа – камерального (февраль 2017 г.), были проведены минералогическо-петрографические исследования (описание шлифов и комплекс спектральных анализов) на образцах конического сталактита и сталагмита. Сталактит состоит примерно из ста слоёв с различными формами роста агрегатов кальцита. Его периферийные слои представлены терригенной примесью с алевро-псаммитовыми зёрнами кварца (0,1-1,0 мм). Минеральный состав сталагмита представлен кальцитом и кварцем. Его внутреннее строение характеризуется отсутствием пор и пустот и более правильными формами кристаллов кальцита. Микроструктура центральной части представлена глинистым веществом (оолитоподобные микроструктуры, комочки с зональным строением).

Научные руководители: к.г.-м.н., доцент В.П. Матвеев, к.г.-м.н. ассистент А.Б. Тарасенко.



## **ШАХТНЫЙ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНЫЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ПАРОГЕНЕРАТОР**

### **1. Цель научной работы.**

Целью настоящей работы является теоретическое обоснование и разработка взрывобезопасного шахтного парогенератора для увлажнения воздуха в горных выработках с единичной мощностью, позволяющей путем варьирования числа таких парогенераторов обеспечивать пылеподавление в любых зонах пылеобразования, а также иметь возможность в минимально короткие сроки изготавливать и получать разрешение Ростехнадзора для эксплуатации его в шахте.

### **2. Актуальность**

Моделирование САУ для асинхронного привода шахтного взрывобезопасного гидродинамического парогенератора в среде Matlab и Mathcad поможет обеспечить оптимальные режимы работы в условиях подземной разработки месторождений, опасных по пыли. Тем самым обеспечивается высокий уровень безопасности горнорабочих. Особенную актуальность этот вопрос имеет в контексте моей специальности «Электрификация и автоматизация горного производства»

### **3. Методы проведенных исследований.**

Применение программных пакетов Mathcad, Microsoft Office, Excel, MatLab, Компас-3D позволяет производить расчеты параметров конструкций шахтного гидродинамического парогенератора изолированного типа. Лабораторные исследования на стенде.

### **4. Основные результаты научного исследования (научные, практические)**

Предложенная технология пылеподавления с применением гидродинамического метода парогенерации является достаточно экономичной и технологичной по сравнению с другими методами, кроме того, использование шахтного электропарогенератора изолированного типа позволяет значительно снизить затраты. За счет более качественной паротепловой обработки шахтный гидродинамический электропарогенератор обеспечивает высокую взрывобезопасность при разработке пластовых и рудных месторождений, опасных по пыли.

### **5. Наличие документа об использовании научных результатов.**

Разработка защищена патентами РФ №2039294, РФ № 2045715

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Маларёв В.И.

## **АНАЛИЗ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**

*Ключевые слова:* «солнечная энергетика», «фотоэлектричество», «стандарт», «нормативно-технический документ».

*Объект исследования:* Основные понятия и термины, обязательные для применения во всех видах документации и литературы в области солнечной энергетике, входящих в сферу работ по стандартизации или использующих результаты этих работ. А также требования, предъявляемые к солнечной энергетике на территории РФ и за рубежом, развитие стандартизации данной отрасли.

*Цель исследования:* анализ требований предъявляемых к солнечной энергетике, фотоэлектричеству и комплексам на основе данного явления, изучение стандартов применяемых к основным методам определения их эффективности, диагностики и испытаний оборудования, а также эксплуатационных характеристик и методов их мониторинга, требования к документации, приемке и обследованию систем, подключаемых к сетям общего назначения.

*Актуальность.* Солнечную энергетику стремятся развивать во многих странах мира, считая ее главной альтернативной традиционным энергоносителям. Согласно оптимистичному прогнозу International Energy Agency, солнечные электростанции к 2050 году смогут производить порядка 20-25% от мировой электроэнергии. Для развития и регулирования рынка солнечной энергии генерация, передача, мониторинг и прочие сегменты должны соответствовать современным требованиям, не отставая от мирового уровня.

*Введение.* Рассматриваемая нормативно-техническая документация раскрывает понятия терминов и определений, используемых в солнечной энергетике национальной и международной, устанавливает общие технические условия для фотоэлектрических систем (ФЭС) и компонентов, необходимую комплекта-

цию систем, а также методы их испытаний и допустимые и необходимые требования к установкам. Определяет для ФЭС область применения, характеристики систем, внешние воздействующие факторы, а также эксплуатационные параметры, способы и указания по мониторингу и оценке эксплуатационных характеристик ФЭС, способы сбора, обработки и передачи измерительных данных, определяет требуемую документацию при передаче ФЭС и компонентов заказчику, а также нормативно-правовые акты, необходимые для составления. Устанавливает требования технического и организационного характера при эксплуатации и обслуживании ФЭС и гибридных комплексов на их основе, а также зданиям и сооружениям, включая сети и системы инженерно-технического обеспечения, а также требования по безопасности при эксплуатации.

*Следующий шаг.* Сравнение нормативно-технической документации отечественного рынка с зарубежными аналогами, анализ тенденций введения корректив в регулирующее законодательство, оценка перспективы развития отдельных сегментов и отрасли в целом.

Научный руководитель к.т.н., ассистент Бельский А.А.

**А.М. ЕРЕМЕЕВА**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С БИОДОБАВКАМИ И ПРИСАДКАМИ**

Одним из способов улучшения характеристик моторного топлива является введение присадок и добавок. Одними из основных характеристик товарного дизельного топлива является смазывающая способность, выраженная скорректированным диаметром пятна износа при 60°C и окислительная стабильность.

Смазывающая способность дизельного топлива – это показатель степени износа двигательной системы автомобиля. Интенсивность изнашивания зависит от наличия, свойств и размеров смазочной пленки, образующейся на поверхности металла. Пленка может состоять из различных гетероатомных соединений топлива. Гидроочищенные дизельные топлива содержат, в основном, вещества, не обладающие достаточно хорошей адсорбционной и хемосорбционной активностью для образования пленки.

Наибольшая эффективность достигается при использовании в качестве добавки смеси сложных эфиров. Одним из методов их получения является синтез на основе растительных компонентов и спиртов. Однако введение кислородсодержащих соединений ухудшает окислительную стабильность топлив.

В ходе исследования были синтезированы 6 видов биодобавок и 3 вида бифункциональных присадок, получены 27 образцов экологически чистого дизельного топлива и исследованы их физико-химические характеристики.

При введении биодобавок в дизельное топливо, главным образом, уменьшаются выбросы вредных веществ после использования экологически чистого топлива в двигателе. Содержание углеводов в отработанных газах снижается до 55 %, летучих органических соединений – до 59 %, оксидов углерода – до 45 %, количество дисперсных частиц снижается до 63 %.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Н.К. Кондрашева

**Н.В. ЕРШОВ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ВЕЛИЧИНЫ БАЗОВОГО НАПРЯЖЕНИЯ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**

*Введение.* Исследование особенностей функционирования малых ветроэнергетических установок (ВЭУ) имеет большое значение для развития новых отраслей энергетики в России. Активные меры поддержки генерирующих объектов на возобновляемых источниках энергии способствуют развитию данной области энергетики. В электротехнических комплексах с использованием малых ВЭУ единичной мощностью до 30 кВт распространено непосредственное присоединение выхода неуправляемого выпрямителя к клеммам аккумуляторных батарей (АКБ). Заряд АКБ происходит при определенном значении базового напряжения.

*Постановка проблемы.* Подобная упрощенная схема питания аккумуляторных батарей позволяет повысить надежность системы питания промежуточного накопителя установки. Предложенный состав электротехнического комплекса (ЭТК) необходимо оценить с точки зрения эффективности работы ВЭУ, кроме того дать оценку ЭТК с промежуточным накопителем энергии, а также проанализировать с точки зрения структурной и параметрической достаточности для обеспечения надежной работоспособности установки. Для этого необходимо: выявить влияние варьирования величины напряжения на аккумуляторе на выходную полезную мощность генератора, определить изменения характеристики электромагнитного момента генератора при изменении напряжения на выходе выпрямителя, получить характеристику изменения частоты вращения ветроколеса (генератора) при различных скоростях ветра.

*Результаты.* Анализ осциллограмм частоты вращения, момента вращения ветроколеса, электромагнитного момента генератора и генерируемой мощности при базовом напряжении АКБ 48 и 120 В, показывает, что мощность отдаваемая генератором ВЭУ в нагрузку (АКБ напряжением 48 В с начальной степенью заряда батареи 10%) примерно составляет 2,7 кВт. Начало заряда АКБ происходит при скорости ветра 3 м/с.

Максимальную полезную мощность 4,7 кВт генератор ВЭУ развивает при напряжении АКБ равном 120 В, однако в этом случае заряд АКБ начинается только при скорости ветра 6 м/с.

В результате моделирования были получены данные о зависимости мощности ВЭУ в относительных единицах. в установившемся режиме работы ветроагрегата от скорости ветра для различных номинальных напряжений АКБ (от 24 В до 120 В с шагом изменения напряжения 12 В). По ним построены энергетические характеристики ВЭУ в о.е.

*Вывод.* В ходе выполнения работы установлено, что с ростом напряжения на АКБ в о.е. ( $U^*$ ) увеличивается мощность ВЭУ в о.е. ( $P^*$ ), в дальнейшем, передаваемая в нагрузку, при номинальной (расчетной) скорости ветра для данной установки. При этом также происходит увеличение минимальной рабочей скорости ВЭУ. Таким образом, определить наиболее эффективный базовый уровень напряжения АКБ можно благодаря оценке ветроэнергетического потенциала территории, на которой планируется использование ветрогенератора.

Научный руководитель — к.т.н., ассистент А.А. Бельский

**Д.А. ЕФИМОВ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **КОМПОЗИЦИОННЫЕ НЕФТЕСОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВ – НОВАЯ ОБЛАСТЬ УТИЛИЗАЦИИ ФОСФОГИПСА**

Фосфогипс, как правило, утилизируется в отвалы, что ухудшает санитарное состояние площадки завода и экологическую обстановку прилегающей к нему территории. Еще одними загрязнителями окружающей среды являются нефть и нефтепродукты. При удалении тонких пленок нефти и нефтепродуктов с поверхности акваторий основная роль принадлежит сорбционным методам. При их применении широкое распространение находят органические нефтесорбенты, общим недостатком которых является низкая плотность, приводящая к сложности равномерного размещения диспергированного сорбента по загрязненной нефтью поверхности водоема и последующего извлечения сорбента из воды. Отмеченное однозначно указывает на важность увеличения плотности органических сорбентов, в частности на основе пенополиуретанов (ППУ), без ухудшения их эффективности. Одним из путей достижения этого является использование при синтезе ППУ минеральных наполнителей, среди которых большой интерес вызывает фосфогипс.

Настоящая работа посвящена синтезу и исследованию композиционных нефтесорбентов путем введения в реакционную смесь, содержащую 48,54 % компонента А, 47,58 % компонента Б и 3,88 % воды сверх 100 мас. % фосфогипса в количествах 9,71 %, 19,41 %, 38,83 % и 77,66 %. Как показал рентгеноструктурный анализ, для всех композиционных сорбентов на рентгенограммах наблюдаются дифракционные пики, т.е. не выполняется даже необходимое условие возникновения максимума на кинетических кривых поглощения нефти и нефтепродукта (дизельного топлива).

Композиционный сорбент с максимальным содержанием фосфогипса характеризуется повышением плотности в 3 раза. В то же время абсолютная величина поглощения нефти и дизельного топлива композиционным сорбентом при времени 10 мин снижается соответственно на 12,89 г/г и на 9,66 г/г. Несмотря на важность величин поглощения нефти и нефтепродуктов в статическом режиме, в динамическом режиме различия между абсолютными величинами поглощения весьма ощутимо стираются. С учетом этого нами проведено исследование влияния толщины пленки нефти на поверхности воды на эффективность ее очистки ППУ, не содержащим фосфогипс и композиционным нефтесорбентом с содержанием фосфогипса в реакционной смеси 77,66 %. Эффективность очистки поверхности воды от загрязнений нефтью оказалась выше для композиционного нефтесорбента, что, вероятно, обусловлено его меньшим водопоглощением.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования композиционных нефтесорбентов при аварийных разливах нефти, так как при этом будет достигаться дополнительный экологический эффект (за счет использования фосфогипса из отвалов), значительное увеличение плотности получаемого сорбента при сохранении его практической непотопляемости и понижение себестоимости продукции.

Научный руководитель: доктор химических наук, профессор В.Е. Коган

**Ч.А. ЖАПХАНДАЕВ**

*Санкт-Петербургский горный университет,*

**Н.И. НИКОЛАЕВ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **РАЗРАБОТКА КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ ТАМПОНАЖНЫХ ЦЕМЕНТОВ ДЛЯ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ СЕРОВОДОРОДНОЙ АГРЕССИИ**

Качество крепления нефтяных и газовых скважин определяет эффективность их дальнейшей эксплуатации. При наличии сероводорода в пластовых флюидах повышаются требования к составу и свойствам тампонажных материалов.

В этой связи, разработка способов повышения коррозионной стойкости тампонажных материалов для строительства скважин в условиях воздействия агрессивных сероводородных сред является одной из актуальнейших задач, т.к. имеет немаловажное значение для развития газонефтяной отрасли и в отношении экологических аспектов охраны недр и водных источников от загрязнения сероводородсодержащими флюидами.

Целью работы является повышение качества и надежности крепи скважин в сероводородсодержащей среде путем применения коррозионностойких тампонажных материалов. Объект исследования – цементный камень из тампонажных материалов, применяемых для строительства скважин. Предмет исследования – процессы сероводородной коррозии цементного камня.

Задачи исследования:

- разработка методики экспериментальных исследований коррозионностойких тампонажных материалов для разобщения пластов при строительстве нефтяных и газовых скважин.
- экспериментальные определения физико-механических свойств тампонажного материала и анализ полученных результатов.

Одним из путей улучшения коррозионной долговечности и стойкости цементного камня в условиях сероводородной агрессии является метод химического торможения. Путем введения в состав тампонажной суспензии веществ, способных к взаимодействию с присутствующим в пласте сероводородом. Образующиеся в результате продукты реакции должны создавать препятствия, в виде труднорастворимых соединений, которые препятствуют проникновению коррозионного агента в цементный камень.

**О.В. ЖУКОВ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ПОДДЕРЖАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА КОМПРИМАННОМ ПРИРОДНОМ ГАЗЕ**

*Введение.* В настоящее время одной из наиболее насущных проблем существования человечества является загрязнение окружающей среды. Основным источником загрязнений являются выбросы отработавших газов транспортных средств, работающих на бензиновом или дизельном топливе. Это оказывает негативное воздействие как на здоровье отдельно взятого человека, так и на состояние окружающей среды в целом. В качестве альтернативного варианта может быть использование газомоторного топлива. Но, как и любое другое транспортное средство, автомобили, работающие на компримированном природном газе, нуждаются в техническом обслуживании.

*Постановка проблемы.* Для поддержания автомобилей в работоспособном состоянии, в частности двигателей, существует планово-предупредительная система по техническому обслуживанию и ремонту (ТО и Р). Однако она не может застраховать автомобили от внезапных отказов, которые имеют случайный характер возникновения. В данный момент автомобили имеют сложные последовательные системы, вслед-

ствие чего отказ одного элемента влечёт за собой отказ других элементов. Для того чтобы автомобили как можно меньше выходили из строя, следует совершенствовать их конструкцию и разрабатывать мероприятия для их работоспособности. Газовые двигатели КамАЗ 820.60–260, как и любые другие, также имеют недостатки в конструкции, что приводит их к частой замене деталей, узлов и агрегатов по той или иной причине.

*Результаты.* По результатам опроса экспертов дилерского центра ООО «НК–РУСМОБИЛЬ» было получено, что наиболее часто выходит из строя датчик отработавших газов (ОГ), который влечёт за собой сразу два последствия: снижение мощности и изменения работоспособности двигателя. Датчик ОГ является частью системы обработки выхлопных газов, который определяет химический состав выхлопных газов и уровня содержания в них молекул кислорода. Этот датчик помогает контролировать расход топлива автомобиля. Для открытия/закрытия запорного клапана, который расположен на баллонах КПП, некомпетентные водители встают на этот датчик, оказывая механическое воздействие, в результате чего он выходит из строя. В особенности примечательно то, что цена такого датчика составляет значительную сумму (≈ 15 тыс. руб.). Для того чтобы избежать возможной поломки датчика, существуют несколько путей решения. Один из них предполагает установку защитной ступени, на которую водитель мог бы встать для регулировки запорного клапана. Однако существует не менее эффективный, но более экономичный и упрощённый способ решения данной задачи. Он заключается в изменении расположения самого клапана на стадии сборки, а именно, размещении его с нижней стороны коллектора.

*Вывод.* Данное исследование позволяет понять, что автомобили, работающие на природном газе, в несколько раз экологичнее, экономичнее и безопаснее относительно дизельных и бензиновых автомобилей. Также применение результатов исследования на практике может снизить вероятность возникновения внезапных отказов путём применения мероприятий по поддержанию транспортных средств в работоспособном состоянии.

Научный руководитель к.в.н, проф. А.С. Афанасьев

**Н.А. ЗАРИПОВА,**  
профессор кафедры ТХНГ **А.К. НИКОЛАЕВ**  
*Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург*

## **ТРУБОПРОВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ БИТУМИНОЗНОЙ НЕФТИ МОРДОВО-КАРМАЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

В работе приведены обобщенные данные анализа современной теории и практики трубопроводного транспорта битуминозных нефтей совместно с маловязким разбавителем, анализ методов теплового и гидравлического расчетов, рассмотрены существующие реологические модели. Также произведен подробный анализ реологических моделей неньютоновских жидкостей, в ходе которого был установлен ряд допущений применяемого на настоящий момент алгоритма выбора реологической модели. В связи с этим предлагается дополнить стандартный перечень реологических моделей моделью Карро (*Carreau model*). Представлены результаты проведенных комплексных экспериментальных исследований реологических моделей смеси битуминозной нефти Мордово-Кармальского месторождения и маловязкого разбавителя. Целью экспериментальных исследований является нахождение зависимостей параметров реологических моделей от определяющих факторов: концентрации разбавителя и температуры смеси.

Для рассматриваемой нефтяной системы установлена последовательность изменения реологических моделей: от простейшей однопараметрической модели Ньютона до модели Карро, включающей в себя 4 независимых параметра. Предложенные модели с высокой степенью точности и качественно верно описывают реологические свойства нефтяной смеси. С увеличением температуры и концентрации разбавителя реологические модели смеси битуминозной нефти и разбавителя изменяются в следующей последовательности: «модель Карро» – «модель Эллиса» – «модель Оствальда-де Вааля» – «модель ньютоновской жидкости». Были выявлены общие закономерности изменения параметров реологических моделей. На рисунке 1 представлено двумерное поле реологических моделей исследуемых нефтяных смесей в координатах «температура смеси» – «концентрация разбавителя».

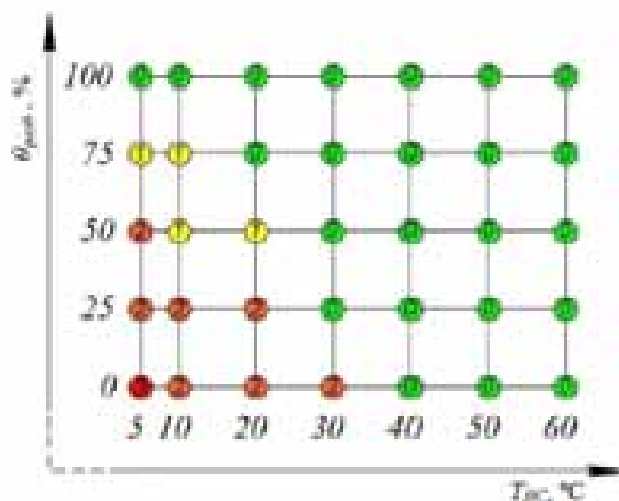


Рисунок 1. Двумерное поле реологических моделей смеси битуминозной нефти Мордово-Кармального месторождения и разбавителя в координатах «температура смеси» – «концентрация разбавителя»:

0 – модель Ньютона, 1 – модель Оствальда-де Вааля (OstwalddeWaelemodelorpower-law), 2 – модель Эллиса (Ellis fluid model), 3 – модель Карро (Carreaumodel)

Были выявлены общие закономерности изменения параметров реологических моделей. На рисунке 1 представлено двумерное поле реологических моделей исследуемых нефтяных смесей в координатах «температура смеси» – «концентрация разбавителя».

**П.Г. ЗЕЛЕНОВ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ САМОРАЗОГРЕВАНИЯ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА В ШТАБЕЛЯХ**

Данный проект научно – технического исследования посвящен решению проблемы саморазогревания и, как следствие, самовозгорания фрезерного торфа в штабелях. Основываясь на результатах исследований по взаимодействию при трении частиц фрезерного торфа и металла – материала исполнительного органа торфяных машин, были предложены направления по модернизации рабочего органа торфяных машин путем их оснащения элементами из полиамида или полипропилена. Проведенные полевые испытания подтвердили целесообразность использования диэлектрического материала на рабочих органах торфоуборочных машин с целью замедления процесса саморазогревания фрезерного торфа в штабелях.

Научный руководитель проф. Михайлов А.В

**А.С. ИВКИН**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ СЦЕПЛЕНИЯ БИТУМА С МИНЕРАЛЬНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**

Целью настоящей работы является разработка метода оценки сцепления битума с минеральными материалами, который бы позволял получать результаты с абсолютной погрешностью не более 5 % и исключал бы влияние субъективных факторов. За основу был принят популярный в России метод ДСТУ Б В.2.7-81-98. Усовершенствование заключается в изменении способа оценки результатов – показатель сцепления определяется с помощью специальной компьютерной программы по фотографиям каменной или стеклянной пластины до и после испытания, а в исходном методе определяется визуально, то есть результат зависит от особенностей наблюдателя. Кроме того, в усовершенствованном способе уменьшено влияние когезионной составляющей на результаты оценки сцепления.

По настоящему методу были получены значения показателя сцепления различных вяжущих с каменными пластинами из мрамора, известняка, габбро и гранита. Значения коэффициента сцепления у мрамора со стеканием битума ниже, чем у мрамора без стекания битума, это свидетельствует о том, что по

методике ДСТУ используется слишком большая толщина битумного слоя, что искажает результаты испытания. Также установлено, что значения коэффициента сцепления снижаются в ряду для всех минеральных материалов: дорожный битум – кровельный битум – гудрон. Именно в этой последовательности у вяжущего понижается температура размягчения и растёт показатель пенетрации. Абсолютная погрешность не превышает  $\pm 5\%$ .

Для стеклянных пластин с помощью настоящего метода изучалось влияние различных адгезионных добавок на величину коэффициента сцепления. Например, обнаружено, что поверхностная обработка пластин водными растворами диэтиленгликоля и полиэтиленполиамина, или же внесение этих веществ в массу битума приводит к повышению коэффициента сцепления.

Научный руководитель: д.т.н., профессор В.В. Васильев

**М. В. ИЛЬИНХ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ ТРУБОПРОВОДОВ ТРАНШЕЙНЫМ И БЕСТРАНШЕЙНЫМ СПОСОБОМ**

В современный период развития нашей страны многие ведущие нефтегазовые компании стали задумываться о концептуальном инжиниринге проектов, обеспечивающих эффективные технико-экономические и экологические показатели.

Сравнительный анализ эффективности технико-экономических и экологических показателей был осуществлен на основе проекта ПАО Газпром по реконструкции подводного перехода под Невой. Данный газопровод имеет характеристики: диаметр трубы 1020 мм, давление 5,4 МПа, длина трубопровода 920 м, грунт – глина. Существует два способа строительства подводных переходов: траншейный и бестраншейный способ прокладки, необходимо обосновать наиболее выгодный.

Бестраншейные методы делятся на несколько видов, одним из которых является микротоннелирование. Микротоннелирование, как способ, пригоден для любой крепости пород, не имеет ограничений по длине прокладки, не нуждается в дополнительных работах по укреплению берегов от размыва, исключается риск всплытия трубопровода, следовательно, шанс возникновения аварии сводится к абсолютному нулю, это приводит к возможному отказу от резервной нитки, при этом нет необходимости в разработке траншей, что обеспечивает экологичность проекта. Гарантия длительной сохранности трубопровода значительно увеличивается, и при этом расходы на ремонт и диагностические обследования уменьшаются, на основании проведенных расчетов. Так же данный метод может проводиться в любое время года, без прерывания судоходства, движения автомобилей и ж/д транспорта, таким образом данная технология эффективно может использоваться даже в условиях с плотной городской застройкой.

**Вывод.** Анализ способов строительства подводных переходов трубопроводов траншейным и бестраншейным способом для проекта реконструкции подводного перехода под Невой показал, что микротоннелирование является экологически и технико-экономически самым выгодным.

Научный руководитель: доцент Назарова М.Н.

**Ш.Р. ИСЛАМОВ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЛУШЕНИЯ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН С КАРБОНАТНЫМИ КОЛЛЕКТОРАМИ В УСЛОВИЯХ АНОМАЛЬНО НИЗКИХ ПЛАСТОВЫХ ДАВЛЕНИЙ**

При эксплуатации нефтяных, газовых и газоконденсатных скважин время от времени возникает необходимость проведения ремонтных работ, что подразумевает осуществление операций глушения. При использовании традиционных жидкостей глушения (солевых растворов, либо подтоварной воды) может происходить их поглощение в продуктивный пласт, что приводит к ухудшению фильтрационных характеристик призабойной зоны пласта (ПЗП) и осложнению освоения скважин после ремонта.

Поглощение жидкости в пласт может наблюдаться при глушении скважин с различным пластовым давлением, но особенно интенсивно происходит в условиях аномально-низкого пластового давления. Для восстановления притока углеводородов из пласта, в этом случае, требуются дополнительные работы по воз-

действию на ПЗП, связанные с большими затратами средств и времени, что в совокупности с возможным риском газонефтепроявлений свидетельствует о необходимости проведения тщательного подбора типа и рецептуры жидкости глушения скважин.

В настоящее время в нефтегазовой отрасли актуальной является разработка блокирующих эмульсионных составов с наполнителем (микрокальцитом), которые помещают в скважину с перекрытием интервала перфорации или с продавливанием в призабойную зону продуктивного пласта. Благодаря этому обеспечивается сохранение фильтрационных характеристик пласта и, как следствие, продуктивности скважины.

Реализация данной технологии позволит сохранить фильтрационные характеристики ПЗП, уменьшить поглощения и проявления, сократить объемы продавливаемого в ПЗП блокирующего состава в 1,5-3 раза, сократить сроки освоения и вывода скважин на режим эксплуатации в 1,5-2 раза (до 1-3 суток) и снизить затраты на проведение капитального ремонта скважин.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Д.В. Мардашов

**Е.И. КАБАНОВ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ОЦЕНКА РИСКА ВЗРЫВОВ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ РОССИИ**

При добыче угля подземным способом персонал угольных шахт сталкивается с рядом производственных факторов, опасное воздействие которых может привести к смерти. Анализ статистики смертельного травматизма показывает, что за последнее десятилетие более 45% смертей на угольных шахтах произошли по причине взрывов метана и угольной пыли. Общая тенденция к снижению смертности нарушается рядом крупных аварий, связанных со взрывами и многочисленными человеческими жертвам.

Для предотвращения взрывов метана и угольной пыли на каждой шахте необходимо проведение анализа всех факторов, которые могут привести к формированию опасных ситуаций. Для этого целесообразно проведение оценки риска взрывов на угольных шахтах с целью: выявления всех источников опасностей, определения причин их возникновения, разработки адекватных управленческих решений для повышения безопасности труда.

В работе предлагается метод оценки рисков взрывов на шахтах, основанный на экспертной оценке индексов аварии по всем факторам, которые оказывают влияние на риск. Использование метода позволяет учитывать информацию об опасностях на разных иерархических уровнях и планировать соответствующие мероприятия по компенсации рисков.

Для апробации метода была проведена оценка риска взрывов на действующих угольных шахтах России, произведено ранжирование шахт по опасности и разработаны рекомендации по управлению рисками. Сделан вывод о целесообразности развития исследований в данном направлении, необходимости накопления и уточнения информации по каждой шахте с целью повышения эффективности и безопасности горных работ на основе оценки и управления рисками.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Г.И. Коршунов

**В.Р. КАБИРОВ, А.Г. СЫРКОВ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ВРЕМЕННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВОДООТТАЛКИВАЮЩИХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОРОШКА МЕДИ И ТРАДИЦИИ ИЗУЧЕНИЯ НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ В ГОРНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

Впервые исследовано изменение водоотталкивающих свойств дисперсной меди, модифицированной четвертичными соединениями аммония (ЧСА), в насыщенных парах воды при длительности взаимодействия от 5 до 24 часов. Это актуально с точки зрения установления количественных взаимосвязей вида «синтез-состав-строение-свойства» для различных гетерогенных материалов, содержащих поверхностно-наноструктурированные металлы. В историческом плане не менее важным явилось выявление преимущественности исследований, выполненных основоположником науки о нанотехнологиях профессором Горного института П.П. Веймарном и современных работ в области низкоразмерных систем.

В работе был использован оригинальный метод наслаивания разноразмерных молекул ЧСА (патент РФ №2425910), разработанный в Центре нанотехнологий Горного университета. В качестве веществ-



модификаторов использовались ЧСА с различной длиной алкильного радикала у атома азота: алкамон (C<sub>16</sub>-C<sub>18</sub>) - ГОСТ 10106-75 и триамон (C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub>) - ТУ 6-14-1059-83. Также, в качестве модификатора для сравнения были использованы пары гидрофобизирующей кремнийорганической жидкости (ГКЖ-94). В качестве исходного металла применяли порошок меди марки ПМ-1 (ГОСТ 4960-75); Суд.= 0,34± 0,02 м<sup>2</sup>/г; удельный объем монослоя азота= 0,08 мл/г.

Помимо исходного медного порошка, были исследованы порошки меди, модифицированные по различным программам (Cu/A, Cu/T, Cu/T/A, Cu/(T+A), Cu/ГКЖ). Обозначение Cu/T/A – отвечает образцу, обработанному последовательно триамоном и алкамоном, а Cu/(A+T), соответственно, их смесью. Адсорбцию воды производили в эксикаторе при температуре 293°K и относительном давлении паров p/po=0,98±0,02. Прирост массы определялся на аналитических весах с точностью 0,0001 г. Факт адсорбции воды на металле доказывался появлением в РФЭ-спектрах образцов пика O1s с энергией связи 532,5 эВ [1]. Основные исследуемые параметры образцов: а - величина адсорбции паров воды, характеризующая гидрофильность образцов, 1/а – величина, характеризующая гидрофобность.

В качестве базового для описания процесса адсорбции паров воды на металле во времени было использовано кинетическое уравнение массообмена для подобных процессов [2]. На основе экспериментальных данных были построены корреляционные зависимости и составлено математическое описание функции 1/а=f(t) для всех типов образцов. Форма кривых и тип уравнений согласуются с полученными для других видов гидрофобных адсорбентов в Институте общей физики РАН в Москве [3]. Наши исследования на дисперсном алюминии при существенно большем времени взаимодействия с насыщенными парами воды (более 320 ч) показали осцилляции водоотталкивающих свойств, которые описываются набором элементарных функций (ln t, t<sup>2</sup> и функцией Гаусса) [4].

Были выведены и охарактеризованы достаточно точные экспоненциальные зависимости водоотталкивающих свойств дисперсной меди с адсорбированными ЧСА. Установлено, что образцы, обработанные в смесевом и последовательном режимах обоими модификаторами, быстрее других достигают участка насыщения на кривых (1/а – время), что обусловлено наименьшим количеством гидрофильных центров на поверхности.

Данная работа на современном уровне продолжает цикл исследований, которые начал П.П. Веймарн, посвященных свойствам дисперсных металлов и систем, адсорбции из растворов, адсорбции примесей воздушной среды на металлах, а также влиянию адсорбции на их свойства [5].

Авторы благодарят асп. Камалову Т.Г. за техническую помощь в измерении адсорбции воды.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Робертс М., Макки Ч. Химия поверхности раздела металл-газ. – М.: Мир, 1989. – 359 с.
- [2] Романков П.Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) : учебное пособие для вузов.—СПб.: ХИМИЗДАТ, 2009.— 544 с.
- [3] Курмашева Д.М. Адсорбция и процессы переноса молекул воды в пористых и мелкодисперсных средах: дис...канд.физ.-мат.наук:01.04.07 / Д. М. Курмашева; ИОФ РАН. – Москва, 2015. – 112 с.
- [4] Камалова Т.Г. Особенности адсорбционно-химических и антифрикционных свойств металлов, содержащих на поверхности низкоразмерные формы аммониевых соединений: канд. дис. СПб: СПбГИТ (ТУ), 2017. – 104 с.
- [5] Веймарн П.П. // Записки Горного института. 1910. Т.2. С.298-399; 1911. Т.3. С.349-353; 1912. Т.4. С. 128-143.

**Ю. С. КАДЫШЕВА, И. П. ИПАТОВА**  
*Санкт-Петербургский горный университет*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ФЛОТАЦИИ НЕФЕЛИНА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ АПАТИТ- НЕФЕЛИНОВЫХ РУД**

Для повышения комплексности переработки апатит - нефелиновых руд разработана технологическая схема с получением нефелинового концентрата, что является актуальной задачей. Анализ закономерностей изменения скорости флотации во времени является перспективным направлением исследований по оптимизации процесса флотации.

Нефелиновый концентрат - второй (после бокситов) промышленно значимый вид алюминиевого сырья. Его ценность определяется концентрацией нефелина, содержащего в среднем 33 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 16 % Na<sub>2</sub>O и 5-6 % K<sub>2</sub>O. Нефелин используется для получения глинозёма с попутным производством соды, поташа, силикагеля, белитовых шламов, а также ультрамарина.

На флотацию нефелина большое влияние оказывает время флотации, pH, количество и характеристика катионного собирателя, присутствие депрессора полевого шпата, условия взаимодействия фтористых солей с поверхностью нефелина. Основной целью работы являлось исследование кинетики флотационного процесса, характеризующейся зависимостью извлечения нефелина от времени.

Экспериментальные исследования проводились на флотационной машине Laarmann. Содержание ценных компонентов ( $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ) определялось рентгенофлуоресцентным методом. Реагентный комплекс при флотации включал: катионный собиратель, регулятор среды и пенообразователь. Анализ экспериментальных данных проводился интегральным методом последовательной линеаризации первичных кинетических кривых.

В результате получена система уравнений второго порядка, описывающая кинетику флотации нефелина:

$$\begin{cases} \varepsilon_1(t) = -263,16 \cdot t \cdot (t + 1311,75), & t \leq 240 \\ \varepsilon_2(t) = 112,36 \cdot t \cdot (t + 181,28), & 240 < t \leq 420 \end{cases}$$

где  $\varepsilon$  - извлечение нефелина, %;  $t$  - время, с.

Сопоставление теоретических и экспериментальных данных показали адекватность разработанной модели для прогнозирования показателей флотации нефелина.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Т. Н. Александрова

**М.О. КАЗИЕВ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ И ПЕРСПЕКТИВ ГАЗИФИКАЦИИ РЕГИОНА**

Анализ топливно-энергетических балансов (ТЭБ) различных регионов Российской Федерации показывает, что структура потребления топливных ресурсов в настоящее время неоднородна. Существование мазутозависимых регионов и областей, в которых преобладающим видом котельно-печного топлива является уголь, позволяет говорить о неоптимальности сложившихся ТЭБ.

Наиболее остро данная проблема выражена в Мурманской области, наиболее мазутозависимого региона нашей страны, где на закупку этого вида топлива из бюджета ежегодно выделяется порядка 15-18 миллиардов рублей. На основании расчетов, произведенных автором, в ближайшем будущем совокупная потребность Мурманской области в топливно-энергетических ресурсах превысит 4 млн. т.у.т. в год. Наиболее значительная доля в текущем объеме потребления котельно-печного топлива принадлежит мазуту – порядка 80%, на втором месте уголь и продукты его переработки – около 12%.

В ходе анализа перспективных направлений развития Северо-Западного федерального округа были выявлены возможные варианты изменения структуры топливно-энергетического баланса Мурманской области, наиболее перспективным из которых является газификация в рамках расширения и модернизации Единой системы газоснабжения (ЕСГ), находящейся в собственности ПАО «Газпром». По мнению автора, строительство магистрального газопровода, соединяющего Кольский полуостров с газотранспортной системой Северо-Западного региона Российской Федерации, позволит обеспечить газификацию не только Мурманской области, но и Республики Карелия.

В соответствии с первоначальным проектом, протяженность однониточного газопровода составит 1365 километров. В первом приближении, при средней стоимости 1 километра однониточного газопровода (с учетом компрессорных станций, инфраструктуры и сопутствующих объектов) равной 200млн. рублей за 1 км., стоимость строительства может составить 273 млрд. рублей.

Установленная мощность котельных региона составляет 5734 Гкал/ч, а присоединенная – 2139 Гкал/ч. Неоднородная загрузка мощностей и наличие избыточных резервов на отдельных участках свидетельствует о необходимости реорганизации системы котельных.

В ходе анализа 7 проектов переоборудования котельных различных типов было установлено, что удельная стоимость переоборудования котельной составляет 9,46 млн. руб. на 1 Гкал/ч установленной мощности. В первом приближении переоборудование 40% котельных региона (по присоединенной мощности) потребует вложения порядка 21,5 млрд руб., а совокупные инвестиции в проект составят порядка 294,5 млрд. руб.

При среднем объеме потребления 4,5 млрд. м<sup>3</sup>/год и средней стоимости газа за период 6500 руб./тыс м<sup>3</sup>, выручка ПАО Газпром 29,25 млрд. руб/год., а ежегодная экономия для бюджета составит порядка 8-11 млрд руб (эта сумма может увеличиться при введении в 2018г. платежей за выброс в атмосферу CO<sub>2</sub>).

С учетом себестоимости поставленного газа 3500 руб. за 1 тыс. м<sup>3</sup>, дисконтированный срок окупаемости проекта составит 35 лет, NPV за 50 лет может составить порядка 140 млрд.руб.

Помимо экономической составляющей, реализация проекта газификации обеспечит снижение тарифов для населения, создание дополнительных рабочих мест и формирование транспортной инфраструктуры, приведет снижению выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу на 40%. Широкое использование природного газа в промышленности будет способствовать увеличению энергетической эффективности экономики. Увеличение

доступности природного газа будет ускорять экономический рост и улучшать качество жизни жителей региона.

Таким образом, данный проект требует дальнейшего изучения сопутствующих положительных эффектов, обуславливающих целесообразность его реализации.

**М.В. КАРЕЛИН**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **МАСШТАБНО-ВРЕМЕННОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО ГЕОРАДАРА**

Сверхширокополосный (СШП) георадар предназначен для локации подповерхностных объектов (трубопроводов, кабельных линий), а так-же, полезных ископаемых в недрах земли на глубинах до нескольких сотен метров.

Общие принципы построения СШП георадара - соответствуют принципам построения обычных РЛС. Анализ этих данных, а также данных патентной информации показывает, что такие георадары работают с видео импульсами малой длительности и, следовательно, имеют высокую разрешающую способность. Для решения задач, поставленных перед СШП георадарами, необходимо использовать СШП сигналы длительностью не более 1 нС. С этой целью в приемный тракт СШП георадара вводят блок масштабно-временного преобразования. Предполагается, в отличие от существующих решений, использовать комбинированный способ преобразования: отраженный от контролируемого объекта СШП импульс поступает в аналоговый смеситель, затем, после стробирования и усиления, промодулированные и расширенные стробимпульсы подвергаются оцифровке, что позволяет вводить полученную информацию непосредственно в персональный компьютер для дальнейшей обработки.

Поскольку СШП георадар предполагается использовать для контроля состояния разрушенных объектов, целесообразно установить его на подвижный носитель. Следовательно, для работы вместе с блоком масштабно-временного преобразования, необходимо стробировать сигнал в одной точке до тех пор, пока не будет полностью произведена оцифровка амплитуды сигнала в данной точке. После этого происходит переход на следующий уровень квантования по времени и дальнейшая оцифровка амплитуды сигнала.

Научный руководитель: Кацан И.Ф.

**Д.Р. КАСЫМОВА**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОКЛАВНОГО ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ МЕТОДА ВСКРЫТИЯ УПОРНОГО ЗОЛОТОСУЛЬФИДНОГО КОНЦЕНТРАТА**

*Актуальность.* Современный мировой рынок золота переживает время явного дефицита минерального сырья. Запасы месторождений с высоким содержанием золота в настоящее время практически истощены, а в разработку вовлекаются более бедные, труднодоступные для добычи и сложные по переработке руды. При этом за счёт более широкого вовлечения в эксплуатацию таких руд в текущем столетии можно обеспечить значительный прирост производства золота. Поэтому проблемы извлечения золота из технологически упорных и особо упорных руд, решение которых является актуальной научной задачей, имеют важное народно-хозяйственное значение.

Упорное золотосодержащее сырьё – это руды и концентраты, при переработке которых стандартным цианированием требуемое извлечение золота не достигается, а затраты на отдельные технологические операции возрастают. Переработка упорного золотосодержащего сырья требует включения в технологическую схему предварительных операций вскрытия руды с целью повышения извлечения золота при последующем цианировании. На данный момент основными методами переработки упорного сырья в мире являются окислительный обжиг, автоклавное выщелачивание и бактериальное окисление.

*Цель работы* – изучение эффективности применения автоклавного окислительного выщелачивания в качестве метода вскрытия упорного золотосульфидного сырья.

*Объект исследований.* В качестве объекта исследований было выбрано предприятие, находящееся в республике Узбекистан – Навоийский ГМК. На предприятии применяется бактериальное выщелачивание флотационного концентрата, однако при использовании данного метода вскрытия замечено, что требуемое

извлечения золота на этапе цианирования не достигается. Также процесс является довольно продолжительным, поэтому предлагается исследовать альтернативный метод предварительной обработки – автоклавное окисление.

*Методика исследований.* Эксперименты проводили на флотационном концентрате и твердых остатках бактериального окисления, представленных ГК «Навоийским горно-металлургическим комбинатом». Цианирование вели в стеклянных сосудах при перемешивании пульпы механической мешалкой, вращающейся со скоростью 250 об/мин. Время контакта фаз при цианировании, составляло 16 ч. и 24 ч. Цианид добавляли в начале процесса из расчета получения его концентрации 2-3 г/дм<sup>3</sup> при стандартном цианировании. По ходу цианирования отбирали пробы раствора и анализировали их на цианид. При необходимости подкрепляли пульпу цианидом. В ходе экспериментов загрузка сорбента составляла 10%, плотность пульпы (Ж:Т 3:1) и рН водной фазы в диапазоне 10,5–11,0. В качестве сорбента использовали активированный уголь. В каждом опыте рассчитывали расход цианида и известкового молока.

*Результаты экспериментов.* Результаты цианирования исходного концентрата и биокека показали, что наличие в биокеке элементарной серы и других цианидов способствует повышению расхода цианида натрия (60,9 кг/т), а низкий рН твердых остатков биоокисления – увеличению расхода СаО. Требуемое извлечение золота не достигается – 10,4% из флотоконцентрата и 60,3% - из биокека. По принятой в настоящее время классификации Лодейщикова В.В. к упорным относятся руды и концентраты с величиной цианируемого золота менее 90%.

С целью повышения извлечения золота проводились эксперименты по предварительному автоклавному выщелачиванию исходного концентрата и кека бактериального окисления. При последующем цианировании полученных продуктов было выявлено следующее:

- Автоклавное окисление концентрата и биокека позволяет повысить извлечение золота с 10,4% до 90,5% и с 60,3% до 87,5%, соответственно.
- Наибольшее извлечение золота 90,5% из концентрата достигнуто при 24-х часовом цианировании автоклавных кеков, тогда как для биокека 16-ти часовое цианирование автоклавных кеков показало лучший результат.
- Значения расхода цианида натрия при цианировании кеков АО твердых остатков биоокисления снизились с 60,9 кг/т до 12,2 кг/т.
- Применение автоклавного окислительного выщелачивания позволяет повысить производительность вследствие высокой скорости процесса – 1-1,5 часа АОВ вместо 3-6 суток бактериального окисления.

Научный руководитель: доцент А.Я. Бодуэн

**Е.С. КЛЫКОВА**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ ДВУХФАЗНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ С МАЛЫМИ ОБЪЕМАМИ ЗАПАСОВ НЕФТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАРЬЕРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ**

В настоящее время, когда остро стоят вопросы ресурсосбережения и достижения максимального коэффициента извлечения, особое внимание уделяется разработке газовых залежей с нефтяными оторочками. Нефтяные оторочки (подгазовые залежи) - перспективный класс запасов: у них значительный потенциал как в России, так и за рубежом. Привлечение активов таких запасов в настоящее время становится актуальным для большинства нефтяных компаний.

Объектом исследования была выбрана нефтегазовая залежь месторождения в Пермском крае, которое разрабатывается с 2006 г. и находится на 1-й стадии разработки.

В работе проведены аналитические исследования по совершенствованию системы разработки двухфазной залежи рассматриваемого месторождения.

Анализ текущего состояния разработки нефтяной части пласта показал, что на залежи, работающей в режиме истощения, среднее пластовое давление снизилось ниже давления насыщения, что свидетельствует о разгазировании нефти в пластовых условиях. Залежь из естественного газонапорного режима перешла в режим растворенного газа, которому характерен низкий коэффициент извлечения нефти (КИН). По прогнозу, установленному предприятием в проектной документации, конечный КИН ожидается 0,15.

Для достижения более высокого КИН были проведены исследования по выбору мероприятий, направленных на повышение эффективности принятой системы разработки. Из рассматриваемых мероприятий (зарезки боковых стволов, гидроразрыва пласта, доуплотнения сетки скважин и других) первоочеред-

ным предложено применение на рассматриваемом объекте системы поддержания пластового давления (ППД).

Были исследованы применения следующих вариантов ППД: законтурного, блочного, площадного и барьерного заводнения, закачивания газа в газовую часть пласта.

Выявлено, что наиболее технологически и экономически оправданным является барьерное заводнение.

В работе обоснована технология барьерного заводнения: подобраны скважины для реализации барьерного заводнения, выбран вариант водоснабжения, проведены расчеты предложенной системы ППД.

Проведен расчет прогноза показателей разработки с ППД и сравнение полученных результатов расчета с прогнозом аналогичных показателей предприятия на период 15-ти лет.

Результаты исследований показали, что при применении барьерного заводнения на нефтегазовом месторождении за 15 лет разработки ожидаемый прирост нефти составит 600 тыс.т. по сравнению с принятой системой разработки без ППД, и увеличение КИН прогнозируется на 2,6%. Эффективность принятого решения доказана технологическими и экономическими расчетами.

Научный руководитель – к.т.н, доцент, Мигунова С.В.

**К.И. КОВЕШНИКОВА**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ОЦЕНКА ПРОЕКТОВ В ЦЕПОЧКЕ ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТИ В КОМПАНИЯХ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА**

Деятельность компаний минерально-сырьевого комплекса связана с необходимостью реализации множества проектов различной специфики: разведка полезных ископаемых, проект освоения месторождения и его разработки, создания логистических мощностей и перерабатывающих комплексов и другие. Часто проекты реализуются в программах или портфелях. Необходимость рассмотрения проекта в программе, портфеле или с учетом его реализации в интегрированной компании обусловлена формированием новых эффектов, которые существенно изменяют и дополняют эффекты, определенные общепринятыми методами. Так, проект может быть неэффективен с точки зрения традиционных показателей оценки, поэтому актуальным является определение влияния эффектов от реализации проекта на другие проекты в цепочке добавленной стоимости (ЦДС) и конечный результат деятельности компании.

Целью данной работы являлось: обоснование подхода к оценке проектов в цепочке добавленной стоимости.

Задачи работы: анализ существующих методов оценки эффективности инвестиционных проектов; оценка эффективности проекта повышения производственной мощности завода традиционными методами; оценка эффективности проекта повышения производственной мощности завода в цепочке добавленной стоимости интегрированных компаний.

Объектом исследования является совокупность проектов в цепочке добавленной стоимости компании минерально-сырьевого комплекса. В качестве основного проекта анализа рассматривается проект по повышению производственной мощности на заводе по производству азотных удобрений. При использовании традиционного метода оценки инвестиционного проекта, основанного на дисконтировании денежных потоков, были получены показатели, не удовлетворяющие условиям включения проекта в портфель ( $ЧДД < 0$ ,  $ИД < 1$ ,  $ВНД < \text{ставки дисконтирования}$ ).

Однако реализация данного проекта необходима для эффективной инвестиционной программы предприятия и достижения его стратегических целей. В связи с этим был проведен анализ вариантов реализации данного проекта совместно с совокупностью проектов в цепочке добавленной стоимости предприятия.

В результате исследования были получены следующие выводы:

- Традиционные методы оценки инвестиционных проектов отдельно от всей совокупности проектов являются недостаточными для формирования портфеля компании.
- Проект, интегрированный в цепочку добавленной стоимости, обладает лучшими показателями эффективности, чем самостоятельный проект при правильном проектировании ЦДС и выборе проекта.
- Возможно рассмотрение комбинаторики вариантов при реализации совокупности проектов.
- Необходима оценка дополнительных ограничивающих факторов при осуществлении проекта в ЦДС: технических, финансовых и т.д.

Научный руководитель: профессор Пономаренко Т.В.

## **ТРУБОПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ГИДРОТРАНСПОРТЕ ТОРФА**

Развитие технологии гидротранспорта торфа влияет не только на производительность комплекса, но также и на стоимость ведения работ по его добыче. Применение современных материалов и решений позволяет добиться повышения производительности, абразивной стойкости, срока эксплуатации, меньших затрат на транспортировку и монтаж труб.

На протяжении десятков лет основным материалом для изготовления труб был металл, как самый простой в обработке и дешевый материал. Недостатками металлических труб являются подверженность коррозии, невысокая абразивная стойкость, большой вес. Из-за коррозии внутренний диаметр трубы теряет гладкость, что приводит к образованию наростов и уменьшению сечения трубы. Транспортировка и монтаж металлических труб сложный процесс, требующий наличия тяжелой техники и оборудования. К плюсам относятся дешевизна материалов, распространенность и большой выбор различных диаметров, отводов и соединений.

На сегодняшний день перспективным направлением является замена металлических труб на композитные аналоги. Композитные трубы с внутренним полимерным слоем не только надежнее металлических, но и имеют более гладкую поверхность, что ведет к увеличению производительности и уменьшению напора при том же внутреннем диаметре. Композитные трубы в 5-7 раз легче металлических, что значительно упрощает транспортировку и монтаж. Научные исследования в сфере соединения композита и внутреннего полимерного слоя открыли способ плазмохимической обработки поверхностей для надежного соединения и работы в большом диапазоне температур. Минусами композитных труб является сложность в изготовлении и высокая стоимость.

Применение полиэтиленовых труб для гидротранспорта торфа наиболее рационально в плане дешевизны изготовления, и простоты эксплуатации. Эластичность трубы значительно упрощает монтаж на пересеченной местности, частично позволяет отказаться от использования отводов, что ведет к уменьшению гидравлического сопротивления. Абразивная стойкость и полная коррозионная стойкость увеличивают срок службы полиэтиленовой трубы в несколько раз, относительно металлической. Гладкость полиэтиленовых труб на 30% выше металлических, благодаря чему значительно уменьшается вероятность образования затора торфа при транспортировке. Недостатком полиэтиленовых труб является ограничение по давлению до 25 атмосфер.

Научный руководитель: Васильева М.А.

**Е.В. КОЛОТВИН***ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»*

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ШАГАЮЩЕЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ МОРСКОГО ДНА**

В качестве средств передвижения по дну могут быть использованы движители гусеничного, колесного, шнекового, шагающего типа. Колесо и гусеница непрерывно деформируют грунт, создаваемая ими колея приводит к нарушению экологии [1]. Пригоден для эксплуатации в условиях морского дна шагающий движитель, который может избегать препятствия, оставляя при этом дискретную колею [2]. В результате проведенных исследований представлена конструкция установки, способной перемещаться по морскому дну при помощи шагового движителя и совершать работу по бурению геологоразведочных скважин.

Шагающая машина имеет несущую раму, два опорных стола, содержащие в себе электрогидравлические приводы телескопических выдвигающих ног и электромеханические приводы поворота системы, 8 телескопических выдвигающих опор, буровую установку-противовес, перемещающуюся вдоль несущей рамы посредством электромеханического привода, 4 консоли, поднятые под углом относительно несущей рамы (рис. 1).



Рисунок 1 – Шагающая установка для геологоразведочного бурения

Буровая платформа за счет лебедки и троса может перемещаться по всей длине несущей рамы. Машина движется постоянно меняя положение центра масс системы. После того, как платформа приходит в крайнее левое или правое положение. Машина совершает вертикальный подъем на заданный угол, и поворачивается уже в горизонтальной плоскости. Поворот осуществляется при помощи электромеханического привода опорного стола, состоящего из электродвигателя, редуктора червячного типа, внешнего зацепления шестерни и зубчатого колеса.

На основании анализа рабочих схем перемещения, принципа шагания и конструкции машины была разработана статическая модель в безразмерном виде для определения рациональных параметров подводной машины, были получены зависимости коэффициента консоли от массы буровой установки, произведены расчеты масс всех узлов машины, а также выполнено компьютерное моделирование всей машины и отдельных ее узлов.

#### **Список литературы:**

1. Korolyov I.A., Timofeev I.P. The technology of the development of solid seabed minerals by walking type facilities // 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS), Tomsk, 2015, pp. 1-8.
2. Колтон Г.А., Королев И.А., Тимофеев И.П. Математическое моделирование движения донного добычного устройства при транспортировании гибким тяговым элементом // Записки горного института. – СПб, 2014. – Т. 209. – с. 55-58.

**Л.Е. КРАСНОВА**

*Санкт-Петербургский Горный университет*

## **РАЗРАБОТКА СПОСОБА РЕМОНТА ОБСАДНЫХ КОЛОНН НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМИТНОЙ СВАРКИ**

Разработка способа восстановления герметичности колонн нефтяных скважин является важной научно-технической задачей, решение которой будет способствовать возобновлению работы значительного количества уже законсервированных скважин и повышению добычи нефти в стране. Трудность разработки данного технического решения определяется малым размером свободного пространства внутри трубы, расположением места ремонта на большом удалении (до нескольких километров) от начала колонны, наличием в скважине воды, высоким гидростатическим давлением (до 20 МПа).

В результате оценки возможности использования различных видов сварки для ремонта обсадных колонн, было установлено, что наиболее приемлемой в условиях обводненных нефтяных скважин является термитная сварка.

Термитная сварка - способ сварки плавлением с помощью термитов — порошкообразных смесей оксидов с чистыми металлами, способными восстанавливать эти оксиды. Проведенный обзор свойств термитных составов, позволил заключить, что наиболее подходящим является термит на основе алюминия и окиси железа, сгорающий по уравнению:  $3Fe_3O_4 + 8Al = 4Al_2O_3 + 9Fe + 774$  ккал.

Одним из положительных факторов горения железо-алюминиевого термита является отсутствие образовавшихся газообразных продуктов, что обуславливает независимость скорости реакции от давления; а также возможность горения под водой. Установлено, что железо-алюминиевый термит не подвержен взрывчатым превращениям и весьма малочувствителен к механическим и к тепловым воздействиям; хорошо прессуется и в спрессованном состоянии имеет высокую механическую прочность; тепловыделяющую способность продуктов сгорания можно регулировать, добавляя в состав стальную обечку, увеличивающую выход термитного металла; при зажигании хорошие результаты дает электрозапал из двух-трех витков мягкой стальной проволоки диаметром 0,8 - 1,0 мм.

В ходе проведенного анализа технической литературы по термитной сварке и применению ее в условиях скважины была разработана схема оборудования с поэтапным описанием технологии проведения данной операции.

С учетом внутреннего диаметра  $D_v$  ремонтируемых труб обсадной колонны, выбираются трубы «летучки» меньшего сечения с номинальным диаметром  $D_n$ , удовлетворяющие равенству:  $D_v - D_n = 10 \div 20$  мм. Например, для ремонта труб 146x7мм предлагается использовать трубы летучки 114x7 мм, обеспечивая зазор в 9 мм.

Трубы «летучки» с использованием соединяющих их муфт собираются в колонну, длина которой определяется протяженностью дефектного участка обсадной трубы. По мере опускания колонны труб «летучек» в скважину с обсадными трубами, на каждую трубу «летучку» последовательно одеваются брикет термита и прижимная шайба, которые опускаются по трубе до упора в муфту, с выводом электроподводящих проводов на поверхность. Наличие шайб обуславливается необходимостью создания над горящим термитом пространства занятого парогазовым пузырем, который будет препятствовать подводу воды в зону горения и ее интенсивному испарению. Собранный прибор устанавливается в колонне обсадных труб на уровне дефектного участка. Поджигается нижний брикет термита. Выделяющийся расплавленный металл заполняет зазор между муфтой и обсадной трубой с образованием герметичного сварного соединения по всему периметру трубы. Осуществляя последовательное сжигание брикетов от нижнего к верхнему, получаем совокупность сварных швов, надежно соединяющих на дефектном участке колонны обсадные трубы и трубы «летучки» в единое целое.

Научный руководитель - Болобов В.И.

**В.А. КРАСНОРУДСКИЙ, А.Н. ПОПОВА, А.А. УМУШКИНА**  
*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ**

Внедрение энергосберегающих технологий в народном хозяйстве России – одна из самых актуальных задач на сегодняшний день.

Несмотря на большое количество законов, внедрение технологий энергосбережения в производство идет медленно. Прогресс должен заключаться в развитии энергетики путем внедрения ЭСТ вместо освоения новых источников энергии: зачастую введение ЭСТ обходится дешевле, чем поиск новых ресурсов. Основные проблемы медленного развития ЭСТ – низкая квалификация специалистов, низкий уровень «энергетической культуры», слабая законодательная база и отсутствие заинтересованности в энергосберегающих проектах.

Существуют прогнозы, что уже в середине XXI века в индустриально развитых странах Европейского Союза применение газа и других минеральных ресурсов непосредственно для нагрева, плавки, термообработки материалов в промышленности будет полностью исключено. На смену им придут технологии нагрева и плавки исключительно на базе электричества.

На многих этапах производства металлических изделий необходима термическая обработка полуфабрикатов и конечных продуктов. Индукционный нагрев занимает видное место среди различных видов электронагрева, в силу таких преимуществ, как: экологическая чистота, высокая надежность, высокая производительность, технологическая гибкость, удобство управления и возможности оптимизации, легкость автоматизации и механизации процесса, малая тепловая инерция установки и ее постоянная готовность к работе, улучшение условий труда, простота обслуживания и ремонта установки. Таким образом, индукционный нагрев является одним из перспективных видов электронагрева, что позволит ему в будущем занять видное место среди энергосберегающих технологий.

Научный руководитель проф., д.т.н. Растворова И.И.

**А.В. КУТЫРЕВ**  
*Санкт-Петербургский горный университет*

## **НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ МАССИВОВ ЭПИЛЬЧИКСКОГО АРЕАЛА**



Первые сведения о платиноносности расположенных в северном окончании Корякско-Камчатского платиноносного пояса массивах Эпильчикского ареала были получены в 1980-х годах сотрудниками группы специсследований Института вулканологии и сейсмологии АН СССР, возглавляемой Ф.Ш. Кутыевым. После этого, потенциал массивов в качестве источника россыпной платины изучался в ходе геологической съёмки масштаба 1:50 000, проводившейся под руководством А.В. Разумного. В 2016 году ООО «КАМП» приступило к поисково-оценочным работам на россыпную платину на участках «Итчайваям», «Матыскен» и «Эпильчик», расположенных по близости от одноимённых массивов. Эти работы позволили получить богатый фактический материал по россыпной и «коренной» платине массивов Эпильчикского ареала.

В ходе настоящего исследования удалось на новом уровне сопоставить особенности платинометалльных ассоциаций россыпей, связанных с различными частями Итчайваямского массива. Установлены различия между ассоциациями минералов ЭПГ рек, имеющих область питания в различных частях Итчайваямского массива. Итчайваямский массив сложен дунитами, верлитами, клинопироксенитами и габбро. При этом, в южной части доля ультраосновных пород значительно больше, чем в северной. В отложениях реки Каменистая, притоки которой дренируют южные части Итчайваямского массива преобладают *Pt-Fe* сплавы с суммарным содержанием ЭПГ около 75 ат. %, что соответствует изоферроплатине. Для реки Итчайваям, в области питания которой доля габбро и клинопироксенитов значительно выше, характерно бимодальное распределение составов *Pt-Fe* сплавов. Наряду с изоферроплатиной, присутствуют зёрна самородной платины, отличающийся высокими (80-90 ат. %) содержаниями ЭПГ. Кроме того, для платины из реки Итчайваям характерно большее содержание палладия и меди. Предполагается, что появление второй ассоциации, представленной самородной платиной связано с денудацией и эрозией минерализованных зон в клинопироксенитах и габброидах северной части массива

Научный руководитель: д.г.-м.н., зав. каф. ГРМПИ А.В. Козлов.

**В.Н. КУЧИН**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗОЛЯЦИИ ВОДОПРИТОКОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЗАКАНЧИВАНИЯ СКВАЖИН**

Основным решением проблемы прорыва вод является изоляция пластов, которая осуществляется применением различных тампонажных материалов. В настоящее время существует множество составов для ограничения водопритоков (ОВП): быстросхватывающиеся тампонажные материалы, гельцементные растворы, полимерные набухающие сетки, латексы, синтетические смолы, вязкоупругие составы, материалы для селективной изоляции и др.

В условиях пониженных пластовых давлений определяющая роль для выбора буровых технологических жидкостей и тампонажных материалов является плотность, поэтому и для временного блокирования проницаемого водоносного горизонта целесообразным является применение экранов на основе вязкоупругих трехфазных стабилизированных ГЖС. При использовании таких составов значительно понижается скорость фильтрации жидкости по сравнению с другими вязкоупругими системами, что позволяет повысить надежность временной изоляции водоносных горизонтов.

В работе проведен анализ отечественного и зарубежного опыта блокирования проницаемых пластов различными составами, проведены исследования трехфазных блокирующих составов и обобщены требования к ним.

Проведено исследование трехфазных пен на основе биополимерных растворов, включающих в свой состав биополимер (ксантановая смола), ПАВ (лаурилсульфат натрия), бикарбонат натрия, мел, карбонат кальция. Исследованные составы имеют плотность не более 1 г/см<sup>3</sup>, обладают высокой стабильностью (составы не разрушаются в течение нескольких суток), характеризуются низкими фильтрационными свойствами, низкими показателями напряжения сдвига при высоких скоростях вращения и высокими – при низких.

Таким образом, исследованные составы могут найти применение при проведении работ по изоляции водоносных горизонтов в условиях низких пластовых давлений, однако, для оценки возможности применения составов в реальных условиях, необходимо провести ряд исследований по оценке термостабильности и кислоторастворимости составов.

Научный руководитель: ктн, доцент каф бурения скважин Нуцкова Мария Владимировна

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЯЖЕЛОЙ НЕФТИ УСИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (RESEARCH PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF HEAVY OIL FROM USINSKY FIELD)

Основной целью данной работы является исследование физико-химических свойств тяжелой нефти Усинского месторождения и определение свойств её фракций для прогнозирования возможных продуктов её переработки.

Актуальность заключается в том, что в настоящее время в мире уменьшаются запасы легкой нефти, но происходит прирост запасов тяжелой вязкой нефти и в недалекой перспективе придется перерабатывать исключительно тяжелую нефть. Однако добыча, транспортировка и переработка таких нефтей весьма затруднительна и низкорентабельна. Причиной этого служит то, что в тяжёлых нефтях, значительно в большем количестве, чем в легких, присутствуют смолисто-асфальтеновые вещества, которые влияют на работу оборудования при её транспортировке и переработке, закупоривая трубопровод или повышая скорость образования коррозии. Несмотря на это, исследование свойств тяжёлых нефтей становятся всё более актуальными, и им уделяется всё большее внимание.

Усинское нефтяное месторождение открыто в 1963 г., а разрабатывается с 1973 г. Центр добычи - г. Усинск — центр крупнейшего нефтедобывающего района в республике Коми. Оно относится к Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, куда также входят Возейское, Хэрьягинское, и др. месторождения. Промышленные запасы составляют 350 млн тонн, добыча более 2 млн тонн в год.

Исходя из полученных значений определённых свойств нефти Усинского месторождения и её фракций, данную нефть в соответствии с ГОСТ 51858 «Нефть. Общие технические условия» можно охарактеризовать как сернистую, битуминозную, с высоким содержанием тяжёлых фракций, выкипающих выше 340 °С (около 70%). Следует отметить, что в данной нефти отсутствует фракция «н.к.-140 °С». Таким образом, можно сделать вывод, что при переработке усинской нефти будет наблюдаться незначительный выход светлых фракций (бензиновых и керосиновых) и большой выход тяжёлых фракций, в том числе мазута и гудрона (при вакуумной перегонке). Тяжёлые фракции можно использовать для получения таких товарных нефтепродуктов, как, битум, игольчатый кокс и др.

Также была изучена возможность использования дизельной фракции (210 – 340 °С) ( $t_{\text{застывания}} = -55$  °С) Усинской нефти в качестве депрессорной присадки к высокопарафинистой нефти Хэрьягинского месторождения ( $t_{\text{застывания}} +25$  °С) (см. рис. 1).

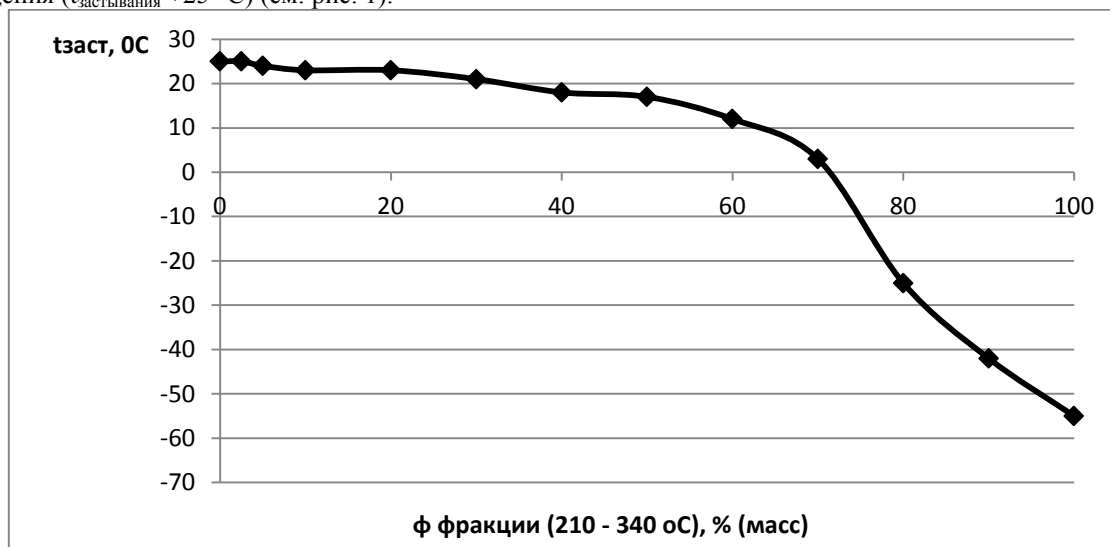


Рис. 1. Зависимость температуры застывания смеси Харьягинской нефти с дизельной фракцией Усинской нефти от массовой доли дизельной фракции в смеси

На рис. 1 видно, что температуры застывания смещаются в сторону высокозастывающего компонента и добавлять данный нефтепродукт нецелесообразно.

Научный руководитель: профессор Кондрашёва Н. К.

## **ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ФИНАНСОВО-БЮДЖЕТНОЙ ПОЛИТИКИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ**

В данной работе будет рассмотрена проблема финансирования потенциального с точки зрения экономического развития региона. Целью данной работы является выявление возможных путей решения дефицита краевого бюджета, поиск новых источников наполняемости краевой казны и определения дальнейшего развития региона как региона с большим потенциалом развития по многим отраслям экономики.

Актуальность данной темы заключается в том, что при наличии значительных природных ресурсов, достаточно развитой инфраструктуры краевого бюджета из года в год остается дефицитным. По итогам 2015 года дефицит краевого бюджета составил 18 млрд. руб., а по итогам 2016 года – 24 млрд. руб. По итогам 2016 года государственный долг Красноярского края по ценным бумагам, бюджетным кредитам и ссудам из других бюджетов, кредитам кредитных организаций, государственным гарантиям Красноярского края и иным государственным долговым обязательствам составил 95,9 млрд. руб. Срок выплаты государственного долга Красноярского края по ценным бумагам на протяжении ряда лет стабильно изменяется, что в перспективе может вызвать некое беспокойство, так как субъект РФ отвечает по своим обязательствам имуществом, находящимся в его собственности, а на сегодняшний день из более чем 300 предприятий края в собственности субъекта осталось не более 3% от их числа.

Для достижения поставленной цели работы было проведен анализ структуры бюджета Красноярского края, выявление возможных путей увеличения поступлений по некоторым доходным статьям, возможные варианты переориентации экономики, что привело бы к изменению финансового положения анализируемого региона, определение сильных и слабых сторон региона путем проведения SWOT-анализа.

Проанализировав полученные данные SWOT-анализа можно сделать вывод, что Красноярский край является перспективным регионом для организации на его территории высокотехнологичного производства. В качестве таких производств предлагается рассматривать предприятия нефтехимической отрасли промышленности. В свою очередь принятие данного решения повлечет за собой корректировку существующей финансово бюджетной политики, так как для реализации, например, проекта строительства нового НПЗ нужны значительные денежные вложения, которые в дальнейшем окупят себя сполна. При реализации проекта только строительства НПЗ краевой бюджет может получить примерно: налог на прибыль (18%), транспортный налог, налог на имущество – 5 196 млн.руб.

Научный руководитель: проф. Подолянец Лада Авенировна

## **РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ КОРПОРАТИВНОЙ МОБИЛЬНОЙ VoIP СВЯЗИ**

В настоящее время злоумышленники, используя современные технические устройства, имеют реальную возможность прослушивать каналы связи и перехватывать телефонные переговоры. В связи с этим, главной целью работы является разработать средства защиты информации в системах корпоративной мобильной связи.

Сегодня на рынке существует множество предложений по созданию корпоративных коммуникационных сетей, однако, они являются дорогостоящими и требуют для развертывания и поддержки высококвалифицированных специалистов, или сервера не находящегося под контролем компании.

Таким образом, было принято решение разработать собственную систему корпоративной связи, которая с одной стороны, закрывает каналы связи с использованием принятых стандартов шифрования информации, а с другой - все элементы системы находятся у корпоративного клиента.

Система имеет название HiddenNET. Для данной системы был разработан собственный протокол защищенной передачи информации, поскольку существующие на сегодняшний день не обеспечивают полной защиты передаваемой информации.

При первом запуске приложения необходимо считать QR-код, который генерируется в приложении администратора, в нем содержатся IP-адрес и порт сервера, pin-код абонента и информация о нем. Вся информация, содержащаяся в QR-коде находится в зашифрованном виде. QR-код по сети не передается.

Затем клиент должен ввести pin-код, созданный администратором, который используется в качестве ключа. Если был введен верный pin-код, то приложение устанавливает соединение с сервером и может

начать передачу информации. Если же абонент вводит трижды неверно pin-код, то приложение удаляется со смартфона.

Сервер может быть выделенный или облачный. Он должен располагаться в защищенном дата-центре или в охраняемом помещении.

В заключении, можно сформулировать основные средства защиты информации на примере разработанной системы HiddenNet:

- не допускает интеграции с сетями общего пользования и другими системами связи;
- сервер находится у заказчика;
- используется надежный симметричный алгоритм шифрования;
- индивидуальный инсталляционный пакет для каждого абонента системы;
- блокировка клиентского приложения с помощью шестизначного pin-кода;
- базовые ключи по сети не передаются, т.о. исключается атака человек посередине.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безопасность IP-телефонии [Электронный ресурс].- URL: <http://akimsullec.narod.ru/Diplom/security.htm> 1 (Дата обращения: 10.12.2015).

Научные руководители А.Б. Маховиков, Е.Б.Мазак

**Н.А. МИХАЙЛОВ, Д.Ю. ЧЕРЕДОВ**  
Санкт-Петербургский Горный университет

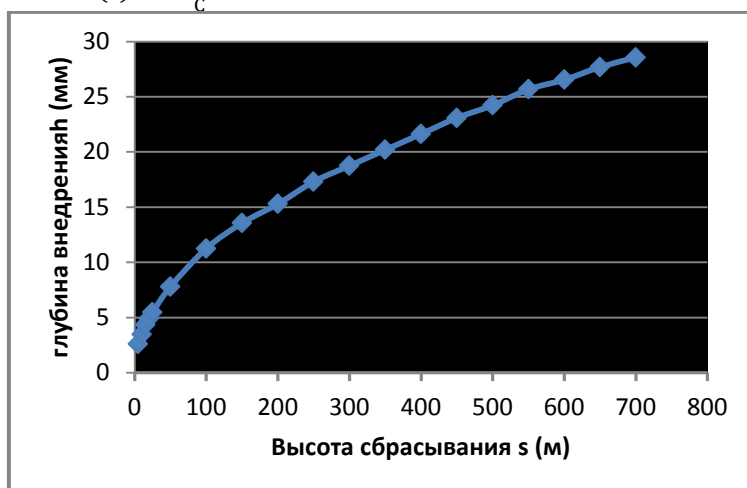
### ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПОДЛЕДНИКОВОГО ОЗЕРА ВОСТОК

Целью данной работы является анализ вариантов технических решений и создание технических средств для отбора донных отложений подледникового озера Восток.

Задачей работы является взятие донных проб при стерильном проникновении в озеро Восток, что даёт возможность получить эксклюзивный научный материал, который расширит наши знания по многим научным направлениям, будет учтена гипотеза о том, что вмещающая озеро Восток депрессия представляет собой звено позднепалеозойско-раннемезозойской рифтовой системы, протягивающейся от побережья моря Содружества вдоль подножия гор Гамбурцева в высокоширотную область центральной Антарктиды.

Получение образцов донных отложений подледникового озера Восток предполагается получить с помощью ударного снаряда на грузонесущем кабеле, который состоит из: кабельного замка, электроотсека, ясса (ножницы), стакана с обратным клапаном. Для удержания взятой пробы в стакане предусмотрено устройство, представляющее собой лепестковый захват.

Рассчитан угол заточки резцов  $\alpha = 2 \cdot \arctg\left(\frac{s \cdot E}{[\sigma]_g \cdot L \cdot t}\right)$  и установлена зависимость глубины внедрения от высоты сбрасывания  $h(s) = \frac{\sqrt{2 \cdot b \cdot s \cdot L}}{c}$



Вывод: Проведён теоретический анализ работы бурового снаряда ударного действия на грузонесущем кабеле, который позволит перейти к эскизному проектированию снаряда, для взятия донных осадков в соответствии с основной концепцией технологии исследования подледникового озера Восток.

Научные руководители: д.т.н. профессор Васильев Н.И., к.т.н доцент Дмитриев А.Н

## **ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СКВОЗНЫХ СТАЛЬНЫХ КОЛОНН**

Стержень сквозной центрально-сжатой колонны состоит из двух ветвей (швеллеров и двутавров), связанных между собой решетками. Расстояние между ветвями устанавливается исходя из условия равноустойчивости стержня. В сквозных колоннах из двух ветвей свободный зазор 100-150 мм. для удобства окраски внутренних поверхностей.

Решетки обеспечивают совместную работу ветвей стержня колонны и существенно влияют на устойчивость колонны с ветвями в целом. Применяют решетки разнообразных систем: из раскосов, раскосов и распорок и безраскосного типа в виде планок.

Расчетную схему колонны в основном определяют с учетом закрепления ее в фундаменте. Соединение колонны с фундаментом может быть жестким и шарнирным.

В данной работе проанализированы различные варианты сквозных двухветвевых колонн по металлоемкости в зависимости от высоты колонн (9,6, 10,8 и 14,4 метра), поперечных сечений (двутавры и швеллера с различным направлением полок) и способа обеспечения совместной работы ветвей (планки и раскосы) и закрепления в фундаменте (жесткое и шарнирное).

В общем можно сказать, что при нагрузке примерно до 2000 кН. наиболее выгодным по металлоемкости сквозной колонны является сечение из швеллеров, полками направленными внутрь, ветви которой соединены планками. При нагрузке более 2000 кН. менее металлоемким становится колонна сечением из двутавров, соединение ветвей которой тоже обеспечивается безраскосной решеткой. Экономия при правильном выборе колонны может достигать 60 тыс. руб.

Научный руководитель: доц., д.т.н. Деменков П.А.

**А.С. МУСТАФАЕВ, Х.О.Г. МУРИЛЬО, Г. АЛЕКСИЧ**  
*Санкт-Петербургский Горный университет*

## **РАЗРУШЕНИЕ ТОРНАДО ЗА СЧЕТ ВНЕШНЕГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

### **АННОТАЦИЯ**

Работа посвящена решению задачи о динамике структуры вихревой трубки в идеальном газе при взрывообразном внешнем подводе энергии вблизи ее оси. Обнаружено, что в пренебрежении вязкостью и теплопроводностью трубка разрушается при сколь угодно малой мощности энерговыделения. При этом время распада вихря уменьшается с ростом суммарной мощности энерговыделения. Построена физическая картина течения, объясняющая обнаруженные закономерности. Получены аналитические соотношения, позволяющие оценить параметры задачи для практического использования взрывчатых веществ при разрушении вихрей большого диаметра. Оценки показывают, что предлагаемый способ практически реализуем.

**Ключевые слова:** торнадо, вихревая трубка, разрушение торнадо, динамика торнадо

Существование вихревых образований, в частности в газовой среде, зачастую ухудшает условия функционирования различных систем и механизмов. Примером может служить аэродинамическое обтекание в условиях образования турбулентных пограничных слоев [1], передача сигнала за счет оптического излучения на большие расстояния в атмосфере [2] и т.п. Особое место в этом ряду занимают вихревые структуры, существование которых в атмосфере сопровождается появлением смерчей, или торнадо. Как известно, зачастую подобные явления приводят к весьма нежелательным последствиям. Указанные обстоятельства, в частности, являются причиной появления большого количества изобретений, касающихся способов разрушения смерчей (торнадо). Известны способы разрушения смерчей (торнадо) за счет внешнего взрывообразного воздействия [3 - 5]. При этом авторы считают, что энергия взрыва должна быть сравнима с энергией смерча (торнадо) и не проводят количественного анализа временной динамики структуры вихря. В этой работе рассмотрена пространственно - временная динамика структуры вихря при внешнем энергоподводе в газе путем взрывообразного выделения энергии вблизи оси вихря.

1. В настоящей работе решена задача о динамике структуры бесконечной вихревой трубки в идеальном газе при взрывообразном внешнем энергоподводе на ее оси.

2. Доказано, что в предположении об отсутствии вязкости и теплопроводности вихрь распадается при сколь угодно малой мощности энерговыделения на оси трубки. С физической точки зрения это вызвано тем, что стационарная вихревая трубка неустойчива относительно малых возмущений радиальной скорости,

направленных от центра вихря. Ясно, что учет вязкости и теплопроводности газа приведет к существованию некоторой пороговой величины мощности, необходимой для распада вихря.

3. Система была смоделирована в программе Комсол, где были подтверждены результаты полученные аналитически.

4. Полученные результаты позволяют оценить параметры задачи для практического использования взрывчатых веществ при разрушении вихрей большого диаметра.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Francis H. Clauser. The Turbulent Boundary Layer. *Advances in Applied Mechanics*. V. 4, 1956, p.p. 1 - 51.
2. S. S. Khmelevtsov. Propagation of Laser Radiation in a Turbulent Atmosphere. *Applied Optics*. Vol. 12, Issue 10, 1973, pp. 2421 - 2433.
3. Boris Feldman. Method of and system for destabilization and destruction of dangerous atmospheric phenomena mainly tornado// US 20020088364 A1, 2002.
  - [1] 4. Riley H. Nelson. Tornado disarming network// US 20100001118 A1, 2010.
  - [2] 5. Matteo Bonifacio Gravina, Thermal Energy Radiance Expander// US 20100276533 A1, 2010.
  - [3] 6. Henry Yi, Jane Yi, Tornadoes dynamic teardown system (TDTS)//US 20040149156 A1, 2004.
  - [4] 7. Allen M. BISSELL, Methods and apparatus for destabilizing tornadoes//WO 2013155051 A1, 2013.
- [5] 8. E. N. Bondarev, V. T. Dubasov, Yu. A. Ryzhov, S. B. Svirshchevskii, and N. V. Semenchikov, *Aerohydrodynamics (Mashinostroenie, Moscow, 1993)*, pp. 90 - 91.

**А.В. МЫСИН**

*Санкт – Петербургский Горный Университет*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОГО ЗАРЯДА ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА С РАЗДЕЛЕНИЕМ ЧАСТЕЙ ПРОФИЛЬНЫМ ИНЕРТНЫМ ПРОМЕЖУТКОМ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД**

В работе предложена конструкция комбинированного заряда взрывчатого вещества с разделением частей профильным инертным промежутком. На основании предыдущих исследований, рассмотрен процесс формирования импульса при взрыве скважинного комбинированного заряда с учетом предложенной конструкции.

Предложена физическая модель для определения импульса отраженной волны с учетом приращения радиуса поперечного сечения зарядной полости и истечения продуктов детонации. Разработана методика численного моделирования газодинамических процессов в скважине при изменении осевого канала профильного инертного промежутка под действием высокотемпературного потока газообразных продуктов взрыва. Получена зависимость изменения среднего давления на стенке скважины от времени для каждой из частей комбинированного заряда. Для взрывания серии зарядов предложенной конструкции с учетом оптимизации полей напряжений соседних зарядов определен интервал замедления при короткозамедленном взрывании.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Г.П. Парамонов

**И.В. НАТАЛЕНКО .**

*Санкт-Петербургский Горный университет*

### **МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ СОПРОТИВЛЕНИЯ**

С середины 18 века ученые изучают природу электрического сопротивления и влияющие на него факторы, такие как длина проводника или температура. Установление зависимости сопротивления некоторых металлов и полупроводников от окружающей их температуры позволило изобрести термопреобразователи сопротивления. Основными достоинствами таких преобразователей является обеспечение широкого диапазона и высокой точности измерений.

Измерение и контроль температуры необходимы почти во всех областях человеческой деятельности: в химической промышленности и сельском хозяйстве, в медицине и атомной промышленности. От точности измерения температуры зависят многие показатели системы в целом. Для получения более точных результатов измерений ТС необходимо периодически градуировать и калибровать.

Для калибровки и градуировки ТС, так же как и для измерения, необходимо измерять сопротивление постоянного тока. Кажется логичным, использовать для этого омметр, но этот прибор рассчитан для измерения сопротивления мер электрического сопротивления, которые спокойно выдерживают мощность 0,01 Вт. Если мы подключим к ТС омметр, то повышение сопротивления будет обусловлено самонагревом из-за высокого тока.

Чтобы точно измерить температуру в рабочем объеме термостата используют методику измерения, построенную на использовании косвенного измерения сопротивление термопреобразователя и образцовой меры электрического сопротивления. Особенностью реализации предложенного метода является работа при малых токах, не вызывающих нагрева элементов схемы.

Было проведено опробование разработанного метода для измерений температуры в рабочем объеме термостата ТЕРМОТРЕСТ-100-02, используемого для калибровки и поверки мер электрического сопротивления и мер ЭДС, с использованием термопреобразователя сопротивления Метран-2000. Измерения проводились в Научно-исследовательской лаборатории госэталонов в области измерения режимов электрических цепей ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева».

Бюджет неопределенности измерения сопротивления ТС состоит из ряда составляющих: случайные эффекты при измерении напряжений, неопределенность образцовой меры, погрешность измерения напряжения, нестабильность температуры в рабочем объеме термостата с ТС.

Оценка составляющих бюджета неопределенности позволяет сделать вывод, что при реализации предложенного метода наибольшее влияние на результат измерений оказывает нестабильность температуры в рабочем объеме термостата. Таким образом, данный метод позволил избавиться от влияния высоких токов на результаты измерения температуры.

Научный руководитель: проф., д.т.н. Ушаков И.Е

Профессор кафедры транспорта и хранения нефти и газа **А.К. НИКОЛАЕВ,**  
**В.И. АЗАРОВ**  
*Санкт-Петербургский Горный университет*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЖИДКОЙ РЕЗИНЫ ДЛЯ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ГОРОДСКИХ НАДЗЕМНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

Городские надземные газопроводы носят статус городских коммуникаций повышенной опасности. При эксплуатации таких газопроводов, отдельное внимание стоит уделить защите поверхности стальных труб. Чаще всего участки трубопровода, подверженные атмосферной коррозии, являются наиболее уязвимыми и представляют опасность при нарушении целостности трубы. Повышение показателей надёжности, в частности долговечности, является актуальной задачей.

Наиболее распространённой защитой от атмосферной коррозии является нанесение лакокрасочных материалов (ЛКМ), грунтовок и эмали на поверхность трубопровода. Использование данных покрытий выявило недостатки, такие как: растрескивание/отслаивание, нарушение сплошности при температурном воздействии на металл. Нарушение защитного покрытия влечёт за собой появление участков с ускоренным коррозионным разрушением, поэтому сложно предугадать появление утечек. В городских условиях надземные газопроводы подвержены влиянию нескольких факторов, ускоряющих процесс коррозии: а) воздействие блуждающих токов из-за контакта с проводниками электричества; б) "потеря металла", что способствует нарушению покрытия труб, которое служит защитой от взаимодействия с коррозионными агентами.

Примерно с 2010 года на Российском рынке появился продукт называемый "Жидкая резина" (ЖР), которая состоит из базисного элемента и катализатора отверждения. Новый вид покрытия активно используется в строительстве для изоляционных работ, а с 2015 года нашёл применение и в автотюнинге. Состав материала и свойства меняется в зависимости от области применения.

Свойства нового материала позволяют использовать его для защиты городских надземных газопроводов. Основными преимуществами ЖР являются:

- а) Скорость нанесения (аэрозольного типа);
- б) Скорость высыхания / затвердевания;
- в) Эластичность, растяжимость от 1000 до 1650%;
- г) Адгезия (Прилипание), универсальность для любой поверхности;
- д) Диэлектрик;
- е) Возможность демонтажа без особых усилий;
- ж) Возможность использования с прочими покрытиями.

Таким образом, сравнивая возможности нового покрытия ЖР и ЛКМ, можно отметить, что новый материал имеет явные преимущества. Применение ЖР позволит увеличить срок службы металлических газопроводов, повысив показатель долговечности, и снизить эксплуатационные затраты для сетей газоснабжения.

**И.А. НОВОЖИЛОВ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ОРГАНИЗАЦИИ ВНУТРИКАРЬЕРНОГО ПЕРЕГРУЗОЧНОГО ПУНКТА ДЛЯ УСЛОВИЙ КОАШВИНСКОГО КАРЬЕРА**

В настоящее время на большинстве карьеров России ухудшились горно-технологические условия ведения горных работ, увеличилась глубина карьеров и расстояние транспортирования горной массы. Одним из способов решения данной проблемы является подробное рассмотрение каждого из элементов технологической цепочки.

В работе проведен анализ организации перегрузочных работ на карьерах, рассмотрены схемы перегрузки с временными складами полезных ископаемых, схемы с непосредственной перегрузкой и бункерные перегрузочные пункты.

Предложен вариант оптимизации комбинированной транспортной схемы в условиях открытой разработки Коашвинского месторождения, путем перехода с экскаваторной перегрузки на бункерный пункт. Приведено обоснование и экономическая оценка рассматриваемых мероприятий.

Научный руководитель: к.т.н., доцент В.В. Иванов

**Ю.И. ОСИПЬЯНЦ, Д.С. ИСАЕВ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

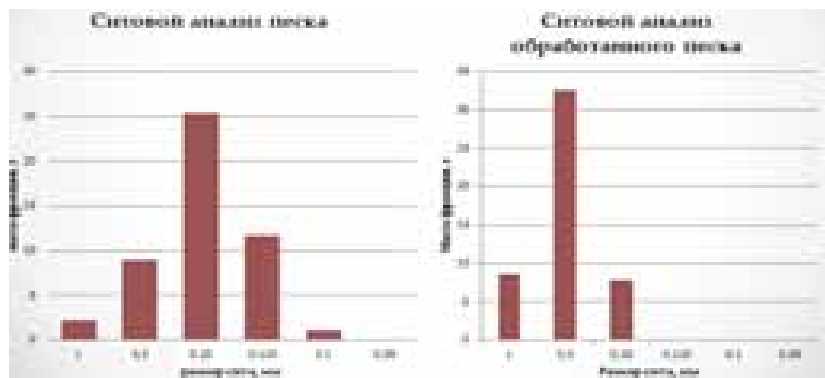
В данной работе рассматривается проблема предотвращения пылеобразования на карьерных автодорогах. На долю автомобильного транспорта приходится основная доля суммарного выделения пыли в атмосферу карьера. Высокая запыленность воздуха в карьере резко снижает скорость движения автомобилей, вызывает повышенный износ двигателей, служит причиной увеличения аварийности. Вышеизложенные проблемы нашли свое решение в применении профилактических средств (ПС).

В работе рассмотрены профилактические средства (ПС) на базе высокоароматических дисперсионных сред – газойлевых фракций (с пределами выкипания 200-350 °С) термодеструктивных процессов типового НПЗ, и дисперсной фазы – крекинг-остатка процесса висбрекинга (КО). Физико-химические свойства нефтепродуктов и составов ПС были детально исследованы в работах [1,2].

Задачей данного исследования являлась проверка эксплуатационных свойств разработанных ранее составов ПС.

Было исследовано набухание резины при взаимодействии с ПС: получена степень набухания резины:  $n_1 = 1,1\%$  для смеси ЛГЗК:ТГЗК:КО и  $n_2 = 1,7\%$  для смеси ЛГКК:ТГКК:КО.

Пылепоглощающие свойства ПС проверялись методом ситового анализа. Сравнительный анализ фракционного состава песка и фракционный состав песка, обработанного ПС, приведен на рисунке:





Сравнение полученных результатов с техническими требованиями на ПС показало, что данные средства можно рекомендовать к применению на карьерных автодорогах.

#### Литература

1. Кондрашева Н.К. Исследование влияния компонентного состава газойлевых фракций на технологию производства профилактических средств// Кондрашева Н.К. Киреева Е.В., Зырянова О.В. /Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России. Сборник тезисов XI Всероссийской научно-технической конференции. – М: Изд-во РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2016, с.40.

2. Кондрашева Н.К. Исследование влияния группового углеводородного состава на качество профилактических средств// Кондрашева Н.К., Зырянова О.В., Киреева Е.В., Ивкин А.С. /Кокс и Химия, 2016, №9, с.24-30.

Научные руководители – зав. кафедрой Н.К. Кондрашева, доцент О.В. Зырянова

**Р.С. ПАЛАМАРЧУК**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛАТИНОВЫХ РОССЫПЕЙ, СВЯЗАННЫХ С КЛИНОПИРОКСЕНИТ- ДУНИТОВЫМИ МАССИВАМИ СРЕДНЕГО УРАЛА**

В полевой сезон 2016 года были опробованы современные платиновые россыпи, связанные с Нижнетагильским, Светлоборским, Вересовоборским и Каменушенским клинопироксенит-дунитовыми массивами, которые относятся к разным генетическим типам – элювиальным, элювиально-делювиальным, ложковым и аллювиальным. По данным геологического описания были составлены типовые разрезы россыпей. Для минералов платиновой группы (МПП) были изучены морфологические особенности (методами растровой микроскопии) и химический состав (с использованием рентгеноспектральных микроанализаторов). С целью однозначной диагностики некоторых минералов, для типовых образцов МПП из россыпей, связанных с разными коренными массивами, был проведен рентгеноструктурный анализ на монокристалльном дифрактометре методом Гандольфи.

Среди *Pt-Fe* россыпных минералов выделяют первичную ассоциацию (минералы с составом изоферроплатины и железистой платины) и вторичную (минералы изоморфного ряда тетраферроплатинатуламинит-никельферроплатина). Составы первичных МПП всех россыпей почти полностью располагаются в полях составов коренной минерализации клинопироксенит-дунитовых массивов с сохранением главных особенностей распределения МПП. В россыпях Нижнетагильского и Вересовоборского массивов, с увеличением дальности переноса обломочного материала уменьшается количество минералов вторичной ассоциации, за счет их малой механической прочности. Во всех россыпных системах по мере удаления от коренного источника отмечается изменение первичных морфологических признаков в сторону их полной потери, что согласуется с общей логикой процессов россыпеобразования.

Особенности включений в коренных *Pt-Fe* минералах наследуются и в россыпных ассоциациях. Разнообразие этих включений может использоваться для оценки вклада различных источников в формировании смешанных россыпных систем.

Стабильность состава МПП в россыпях, отличающихся различным положением и удаленностью по отношению к коренному источнику, позволяет предполагать отсутствие вертикальной и латеральной зональности коренного платинового оруденения.

Исходя из реальных результатов ГРП установлено, что шлиховое опробование элювиальных и делювиальных россыпей платины во многих случаях будет более эффективным методом поисков коренных источников, чем литохимическая съемка.

Научный руководитель: д.г.-м.н., зав. каф. ГРМПИ А.В. Козлов.

**М.А. ПЕРЕТЯТКО**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВЫБОРА ГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА**

В наше время часто встает вопрос о модернизации различных котельных, переводе котлов на другой вид топлива, использование нескольких топлив в котле. Один из аспектов этих вопросов касается выбора

горелочного устройства. Как выясняется, нет четкого метода сравнения нескольких горелочных устройств между собой. В настоящее время чаще всего (при одинаковых тепловых мощностях нескольких горелок) выбор осуществляется по одному параметру – цене.

Данный способ (выбор по цене) не учитывает многих аспектов горелочного устройства (коэффициент избытка воздуха в горелке, установленный ресурс до капитального ремонта, существование резервного топлива, потребляемая электрическая мощность), которые позволяют в дальнейшем минимизировать затраты. В данной работе предлагается метод выбора горелочного устройства, согласно которому учитываются все основные параметры горелочного устройства. Этот метод позволяет выбирать оптимальное горелочное устройство из нескольких, одинаковых по тепловой мощности. Предлагается ввести каждому параметру горелочного устройства определенный весовой коэффициент, который будет показывать важность того или иного параметра при выборе горелочного устройства. Главным параметром выбора предлагается принять коэффициент избытка воздуха, т.к. от этого параметра наиболее зависит расход топлива для получения заданной тепловой мощности. Также в работе объясняется почему коэффициенту избытка воздуха мы даем максимальный весовой коэффициент.

Вывод: в данной работе был предложен метод выбора горелочного устройства, основанный на присвоении весовых коэффициентов каждому из параметров, что является некой новизной в области выбора горелочных устройств, также в работе объяснена важность такого параметра, как коэффициент избытка воздуха.

Научный руководитель: Лебедев В.А., профессор

**А.А. ПЕТРОВ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ НА СФОРМИРОВАННУЮ КОРКУ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ**

Достижение равномерной и полной очистки ствола скважины от фильтрационной корки вдоль всего участка открытого ствола является необходимым и приводит к высоким результатам добычи, особенно в протяженных горизонтальных стволах. Во многих случаях невозможность достижения требуемой очистки ПЗС при освоении скважины в дальнейшем ведет к необходимости применения дорогостоящих повторных операций и КРС, экстенсивных химических и механических способов очистки ПЗС. Зачастую эффективность очистки ствола зависит от правильного подбора компонентов в зависимости от состава фильтрационной корки. Поскольку фильтрационная корка образуется в процессе фильтрации промывочной жидкости для вскрытия продуктивных пластов, то необходим критический анализ компонентов, входящих в состав этой жидкости. Критическими компонентами являются: сводообразующие материалы (твердая фаза): карбонат кальция – растворители: кислоты, хелаты; загустители-структурообразователи (полимеры): ксантовая смола (ХС) — растворители: окислители; реагенты для снижения фильтрации (полимеры): крахмал — растворители: кислоты, окислители, энзимы; буровой шлам.

Выбор соответствующего брейкера (разрушитель, растворитель) будет зависеть от типа фильтрационной корки и её компонентов, состава жидкости заканчивания, забойной температуры и способа заканчивания. Химические брейкеры могут быть разделены на 4 основные группы: кислоты, оксиданты, энзимы, хелатные соединения.

В общем случае, при выборе раствора брейкера необходимо учитывать: экологическую безопасность и токсичность реагентов; коррозионную активность брейкеров; скорость реакции растворов-разрушителей; вероятность загрязнения коллектора продуктами реакции.

На основе проведенного анализа был разработан предполагаемый состав жидкости для разрушения фильтрационной корки с целью повышения эффективности очистки ПЗП – водный раствор хелатных соединений и энзима или комплекса энзимов. Разработана методика исследования эффективности воздействия разрушителей фильтрационной корки в зависимости от ряда факторов.

Научный руководитель: Николаев Н.И. – д.т.н., профессор кафедры бурения скважин.

**А.В. ПЛОТНИКОВ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫТЕСНЕНИЯ ГАЗА ВОДОЙ В НЕОДНОРОДНОМ ПЛАСТЕ**

**Аннотация:** В статье рассмотрен процесс математического моделирования истощения газовой залежи при разных степенях неоднородности объекта. На основе математической модели получена численная модель для проведения экспериментов. Проведены вычислительные эксперименты как при неоднородной, так и при однородной структуре объекта и сделаны заключения на основе их результатов.

**Ключевые слова:** анализ, синтез, распределенная система, газовая залежь.

С учётом приведенных допущений Цель исследования - создание математической модели для анализа влияния неоднородности пласта на динамику продвижения пластовых вод при водонапорном режиме эксплуатации газовой залежи.

В качестве объекта моделирования было выбран ограниченный участок пласта Слохтерен месторождения Гронинген (Голландия). Значения параметров пласта были взяты из исследований, проведенных Ketelaar, V. B. и Glennie, K. [5, 6]. Размер выбранного участка – 3 х 3 километра.

Выбранный участок пласта представлен в виде антиклинали, разрабатываемой с помощью девяти добывающих скважин. Красным отмечены контрольные скважины.

Для создания модели были сделаны следующие допущения: процесс фильтрации газа – изотермический [2]; границы объекта прямолинейны; пористость и проницаемость грунта – постоянные величины; фильтрация газа – ламинарная; неоднородность пласта отображена с помощью 45 блоков с различными параметрами; фильтрация пластовых вод происходит только в вертикальном направлении.

С учётом приведённых допущений была создана математическая модель объекта, основой которой стало уравнение Лейбензона [4].

$$\frac{D}{p} \frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2},$$
$$0 < x < x_L, 0 < y < y_L, z_d < z < z_L$$
$$D = \frac{m\mu_1}{nk},$$

где  $p = p(x, y, z, t)$  – пластовое давление в определенной точке залежи в момент времени  $t$ ,  $t$  – время,  $m$  – пористость пласта,  $\mu_1$  – абсолютная вязкость газа,  $k$  – проницаемость пласта,  $n$  – показатель политропы,  $x$ ,  $y$ ,  $z$  – координаты точки в пространстве, для которой ведется расчет,  $z_d$  – координата плоскости газовой контактной поверхности по оси  $z$ ,  $x_L$ ,  $y_L$ ,  $z_L$  – конечные значения координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,

Разработанная модель включает средства для вычисления изменения пластового давления в выбранной точке пространства залежи, вычисление дебита скважин, отслеживание положения поверхности газо-водяного контакта.

На основе созданной математической модели, разработана компьютерная модель. Проведен ряд экспериментов по выявлению динамики истощения газовой залежи как при неоднородной структуре пласта, так и при однородной.

Проведено сравнение результатов обоих экспериментов.

В результате исследования сделан вывод, что неоднородность пласта оказывает сильное влияние на процесс фильтрации флюидов в залежи и должна быть учтена настолько, насколько это возможно. Различная скорость продвижения пластовых вод к забоям скважин в случае неоднородной структуры пласта может привести к серьезным проблемам, таким как преждевременное заводнение и блокирование части газа в недрах [3].

Во избежание подобных происшествий необходимо постоянно уточнять состояние пласта с помощью геофизических исследований и корректировать режим работы залежи. Также, такая задача может быть решена с помощью синтеза распределенной системы управления [1].

#### Литературные источники:

- 1) Першин И.М. Анализ и синтез систем с распределенными параметрами. Учебное пособие по системам с распределенными параметрами – Пятигорск. 2007.
- 2) Лапук Б.Б. Теоретические основы разработки месторождений природных газов. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002, 296 стр.
- 3) Стрижов И.Н. Добыча газа. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003, 376 стр.
- 4) Лейбензон Л.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. Москва, 1947.
- 5) Ketelaar, V. B. H. (2009). Satellite radar interferometry: Subsidence monitoring techniques, volume 14. Springer.
- 6) Glennie, K. (2013). HISTORICAL HIGHLIGHTS Eppo Oomkens and the Discovery of Groningen Gas. <http://archives.aapg.org/explorer/2013/09sep/historical0913.cfm>.

## **РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ РЕАКТОРА ДЛЯ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ОЛИГОМЕРНЫХ ЦИКЛОКАРБОНАТОВ**

Олигомерные циклокарбонаты (ЦК) в составе ремонтных составов и защитных покрытий широко используются в нефте- и газопереработке. Получение олигомерных циклокарбонатов – типичное многоассортиментное малотоннажное производство, характеризующееся быстрой сменой ассортимента в соответствии с рыночной конъюнктурой.

При наличии детальной информации о кинетике процесса и соответствующей кинетической модели реакции можно создать современную гибкую технологию получения олигомерных циклокарбонатов с различными химическими и физико-механическими свойствами, обеспечивающих широкие возможности для последующего формирования эпоксиуретановых систем.

**Цель работы** – выбрать и сравнить концепции проточного и периодического реакторного узла для опытного многоассортиментного производства циклокарбонатов на основании имеющихся кинетических данных по реакциям циклокарбонилирования, предложить оптимальный технологический режим работы для реактора заданной производительности реактора с использованием математической модели аппарата.

В ходе выполнения работы был проведен анализ результатов кинетического исследования реакции циклокарбонилирования эпоксидных смол семейства «Оксилин» с использованием углекислого газа в качестве карбонилирующего агента. На основании предварительного анализа были выбраны два варианта его аппаратного оформления – 1) пленочный проточный кожухотрубчатый аппарат с теплообменом; 2) периодический емкостной аппарат с мешалкой, теплообменной рубашкой и внутренним змеевиковым теплообменником. В программной среде ReactOp Cascade 3.20 были реализованы математические эти модели аппаратов, сделан выбор в пользу варианта 2) и определены оптимальные технологические параметры его реализации.

Научный руководитель: к.х.н., доцент Шариков Ф.Ю.

**Р.А. РОГОЖИНСКИЙ**  
*Санкт-Петербургский Горный университет*

## **КОМПЛЕКСНАЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРИТОКА НЕФТИ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ**

На сегодняшний день в России доля трудноизвлекаемых запасов в структуре общих запасов углеводородов превышает 60%. К таким можно отнести запасы, заключенные в высокотемпературных низкопроницаемых карбонатных коллекторах. Кроме того добываемая продукция характеризуется высокими значениями коэффициента обводненности.

Идея работы заключается в интенсификации притока нефти из обводненных низкопроницаемых залежей за счет внедрения технологии физико-химического воздействия на призабойную зоны, основанной на последовательном проведении водоизоляционных работ и кислотной обработки.

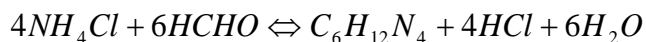
Анализ основных водоизолирующих материалов, применяемых для ограничения водопритока в добывающие скважины показал, что, несмотря на многообразие известных химических композиций, широкое применение для ограничения водопритока нашли лишь немногие по причине наличия значительных недостатков у большинства известных составов. Можно отметить высокую перспективность неорганических гелеобразующих составов на основе силиката натрия.

В качестве водоизоляционного состава был выбран гелеобразующий состав SPMI-1, разработанный на кафедре РНГМ Горного университета, на основе силиката натрия отвердителем которого служит ацетат хрома. Состав SPMI-1 может применяться для ограничения водопритока в добывающих скважинах и выравнивания профилей приёмистости в нагнетательных скважинах в широком интервале геолого-физических условий.

В процессе эксплуатации добывающих и нагнетательных скважин наблюдается постепенное снижение проницаемости околоскважинного пространства, и, как следствие, изменение рабочих показателей скважин. К наиболее распространенным причинам снижения дебита и приёмистости можно отнести коагуляцию каналов фильтрации частицами минералов горной породы, движущимися в потоке флюида. В низкопроницаемых коллекторах такие процессы оказывают наиболее существенное влияние на фильтрационно-емкостные характеристики рабочих пропластков.

Для восстановления гидродинамической связи между скважиной и пластом наиболее часто применяют технологические жидкости, в составе которых содержатся органические или минеральные кислоты. Кислотная обработка призабойной зоны пласта известна еще с 1895 года. Однако, процент успешно проведенных геолого-технических мероприятий такого рода, на большинстве месторождений, по-прежнему не превышает 30-40 %.

На данный момент чрезвычайно перспективным для высокотемпературных объектов, в практическом плане является применение технологических составов, которые способны продуцировать кислотный раствор непосредственно в пласте. Использование кислотогенерирующих составов (КГС) способно уменьшить коррозию подземного оборудования скважины без применения дорогостоящих ингибиторов коррозии. Более того исключается вероятность разрушения цементного камня, что существенно снижает риск образования негерметичности обсадной колонны. Хорошим преимуществом КГС является возможность более глубокой обработки пласта. Среди КГС наибольшее распространение получили составы на основе хлорида аммония и водного раствора формальдегида (формалин). Образование кислоты происходит по следующей реакции:



В качестве продуктов реакции получают следующие соединения: соляная кислота, гексаметилен-тетрамин (уротропин) и вода. Катализатором реакции выступает высокая температура.

Основные технологические операции при обработке добывающей скважины можно разделить на следующие этапы:

- I. Подготовительный
- II. Изоляция обводненного интервала
- III. Обработка призабойной зоны кислотогенерирующим составом
- IV. Анализ результатов

Таким образом, в ходе выполнения работы был обоснован выбор гелеобразующего состава для проведения водоизоляционных работ, а так же выбран КГС для кислотной обработки. Выполнено обоснование комплексной технологии обработки призабойной зоны пласта.

Научный руководитель – Рогачев М.К.

**А.Ю. РУЗМАНОВ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ТУРБОДЕТАНДЕРА**

В стандартной постановке задачи избыточная энергия магистрального потока газа расходуется на преодоление сопротивления дроссельных клапанов узла редуцирования ГРС.

По оценкам специалистов, извлечение данного вида энергии в перспективе позволяет покрывать от 1,1% до 2,2% потребности России в электроэнергии.

Наиболее рациональным способом извлечения избыточной энергии магистрального потока на ГРС при больших расходах газа являются турбодетандеры с односторонними, полуоткрытыми, радиально-осевыми рабочими колесами.

В результате термогазодинамического и конструктивного расчетов турбодетандеров с различными диаметрами рабочих колес для ГРС «Сокол» было установлено оптимальное значение диаметра рабочего колеса в 350 мм. При среднем значении расхода газа через станцию (21760 м<sup>3</sup>/час) эффективная мощность на валу турбодетандера составит 816 кВт.

К числу наиболее перспективных направлений реализации полезной мощности на валу и низких температур на выходе из турбодетандера относится получение сжиженного природного газа (СПГ).

Наиболее эффективными для малотоннажного производства являются схемы получения СПГ с интегрированным детандером и флэш-циклом (Integrated methane expander and flash cycle).

Технологическое оборудование и линии мини-завода подключаются после турбодетандера, в точке разделения потока газа на две части: поток газа на сжижение (к мини-заводу) и поток газа к потребителю (к технологическому оборудованию ГРС), что позволяет наиболее полно использовать низкие температуры газа на выходе из турбодетандерного агрегата.

Полезная мощность на валу турбодетандера первоначально преобразуется в электрическую энергию, объем которой позволяет покрыть значительную часть потребности в электроэнергии мини-завода СПГ.

В конечном счете, реализация данного проекта позволяет получить 0,6 МВт электрической мощности, а также обеспечить производительность мини-завода СПГ в 1,2 т/час.

Научный руководитель: доцент Воронов В.А.)

## УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО AU-TE ОРУДЕНЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОДГОЛЕЧНОЕ (ЦЕНТРАЛЬНО-АЛДАНСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН)

Центрально-Алданский рудный район располагается на Алданском щите Сибирской платформы. Он представляет собой уникальную геологическую область, характеризующуюся сочленением структур древнего кристаллического щита с перекрывающим осадочным чехлом, осложнённую интенсивным проявлением мезозойской тектоно-магматической активизации, выразившейся в широком развитии щелочного магматизма и активном проявлении гидротермальных процессов. Месторождение Подгоlechное расположено на юго-восточном склоне г. Шаман и приурочено к сегменту Шаманской вулканоплутонической структуры центрального типа.

Для оценки условий образования *Au-Te* минерализации были привлечены результаты изучения флюидных включений во флюорите продуктивных адуляр-флюоритовых метасоматитов. Микротермометрические исследования выполнялись на термостоліке *Linkam THMSG-600* (Горный Университет), по стандартной методике. Всего было проанализировано 74 включения. Во флюоритах установлены в основном двухфазовые (раствор + газ) и трёхфазовые (твёрдая фаза + раствор + газ) включения, размеры которых не превышают 0,05 мм (50 мкм). Температуры гомогенизации изменяются в пределах от 235°C до 550°C. Различное соотношение фаз во включениях и широкий разброс температур гомогенизации в пределах одного кристалла позволяет сделать выводы о гетерофазном характере минералообразующего раствора.

Исходя из данных о геологическом строении месторождения Подгоlechное и индикаторных признаков возникновения флюидоразрыва пород, выделенных нами на месторождении, можно сделать вывод о том, что при формировании *Au-Te* минерализации месторождения Подгоlechное ведущую роль играл гидроразрыв пород в экранированных толщах, т.е. гидравлическое раскрытие полостей под действием внутрифлюидного давления в гидротермальной системе.

Таким образом, причиной рудоотложения на месторождении Подгоlechное служила гетерогенизация флюида вследствие гидроразрыва рудовмещающей среды. Полученная температура гомогенизации (230-260°C) флюидных включений во флюорите, ассоциирующим с рудной минерализацией может быть принята за температуру рудообразования.

Научный руководитель: к.г.-м.н., ассистент каф. ГРМПИ В.И. Леонтьев.

## ГАЗИФИКАЦИЯ КАРЬЕРНОГО АВТОТРАНСПОРТА КАК СРЕДСТВО ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДЕГАЗАЦИИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

В данной исследовательской работе представлено технологическое обоснование добычи шахтного метана как полезного ископаемого и эффективности его использования на производстве. В настоящее время на шахтах Кузбасса проводятся мероприятия по обеспечению метанобезопасности, в частности комплексная дегазация выемочных участков, однако большая часть газа не используется и не может быть использована ввиду низких концентраций и нестабильного дебита каптируемого метана. Кроме того, развитию промышленной добычи метана препятствует отсутствие газовой инфраструктуры в угледобывающих регионах. Однако в последнее время успешно развиваются и удешевляются технологии сжижения метана, что предопределяет возможность его использования в качестве альтернативы дизельному топливу.

В работе рассматривается технология дегазации подрабатываемого массива, применение которой позволит:

- извлекать объемы шахтного метана достаточные для обеспечения карьерного автотранспорта в регионе;
- получить качественный газ, готовый к сжижению;
- освоить альтернативный вид топлива;
- уменьшить метановыделение в выработки выемочных участков;
- повысить производительность очистных забоев;
- уменьшить выбросы парникового газа в атмосферу;
- снизить штрафы за выбросы.

Также в работе проведена оценка экономической эффективности всех предлагаемых решений, и сделаны выводы об их рентабельности.

**Е.Е. САМОДУРОВА**  
*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ВЫБОР МЕТОДА РЕКОНСТРУКЦИИ ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ ЗДАНИЯ «БИРЖИ»**

Реконструкция исторически значимых зданий занимает особое место в сфере строительства. Это связано с тем, что реконструируемое сооружение, зачастую, уже вписано в исторически сложившуюся застройку и требует индивидуального подхода и нестандартных решений.

Здание «Биржи» является объектом культурного наследия федерального значения. Здание возводилось в 2 этапа: под руководством архитекторов Джакомо Кваренги и Ж. Ф. Тома де Томона. Основные ремонтные работы за все время существования выполнялись в 1913 г, 1942 г и 2002 г.

Нынешнее состояние Биржи оставляет желать лучшего. Трещины в основных несущих конструкциях здания, делящие его на 2 части, обусловлены длительными процессами развития неравномерных осадков, усугубляющихся относительно высокой скоростью развития. Следовательно, главным аспектом цели реконструкции фундамента является снижение абсолютных величин осадков здания.

При выборе метода реконструкции важным моментом является учет различных факторов, оказывающих длительное влияние на конструкцию, и причин, приводящих к пагубным последствиям ситуации на объекте. Для здания Биржи данными аспектами пристального внимания являются инженерно-геологические, гидрогеологические условия участка, а также геолого-литологическое строение участка.

На основе этого предложены три метода реконструкции подземной части: усиление конструкций фундаментов и грунтов основания, установка буроинъекционных свай, усиление фундаментов посредством выполнения обойм из железобетона или бетона. Для каждого из вышеперечисленных методов отражены достоинства и недостатки их применения на данном объекте, а также на объектах аналогов, что подразумевает под собой синтез теории и практики, сложившийся проблемы.

В результате сравнения имеющихся методов реконструкции подземной части здания актуальным будет выбор наиболее выгодного во всех смыслах способа, влекущего за собой самый низкий риск отрицательного исхода реконструкции. Этому соответствует метод усиление фундаментов посредством выполнения обойм из железобетона или бетона.

Научный руководитель: д.т.н., доцент Деменков Петр Алексеевич

**Н.Д. СЕНЧИЛО**  
*Санкт-Петербургский Государственный университет «Горный»*

## **СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА**

Оперативно-диспетчерское управление производится с использованием систем телемеханики. Телемеханика электроэнергетических объектов, по сути, являющаяся составным компонентом автоматизированной подсистемы управления технологическим процессом (АСУ ТП), включает в себя несколько отдельных систем:

- системы автоматического управления (САУ);
- средства диспетчерского и технического управления (СДТУ);
- программное обеспечение, служащее для сбора, обработки, хранения, анализа различной информации относительно работы электрического оборудования (SCADA);
- автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ);
- пульты управления, панели с переключающими устройствами, контрольно-измерительными приборами.

**Расчет передаваемого по каналам связи количества информации для оценки трафика телемеханики:**

По ГОСТ Р МЭК 60870-5-101 и ГОСТ Р МЭК 60870-5-104-2004 максимальная длина кадра в протоколах передачи МЭК 60870-5-101/104 255 байт. Из них 7 байт занимает APSI (управляющая информация) – 1 стартовый байт, 1 байт описания длины, 1 байт идентификатор типа, 1 байт классификатор структуры, 1 байт причина передачи, 1 байт общий адрес АСДУ.

Для передачи информации с одного присоединения (точки учета) необходимо два кадра в протоколах передачи МЭК 60870-5-101/104 размером  $255 \times 2 = 510$  байт.

#### **Канальные издержки протокола МЭК 60870-5-104.**

На каждый кадр протокола МЭК-870-5-104 на транспортном уровне добавляется заголовок TCP (160 байт), на сетевом уровне добавляется заголовок IP (192 байта), на канальном уровне MAC-адрес приемника (6 байт) и MAC-адрес отправителя (6 байт). При передаче телеинформации с одного присоединения (точки учета) в двух кадрах протокола МЭК 60870-5-104 получается  $(160 \times 2) + (192 \times 2) + (6 \times 2 \times 2) + 510 = 1236$  байт (9904 бит) на каждое присоединение (точку учета) при передаче в протоколе МЭК 60870-5-104.

#### **Выводы о проведенном исследовании:**

В рамках данной работы была проведена поиск решений по структуре подсистемы сбора и передачи телеинформации, средствам и способам связи для информационного обмена между компонентами системы. Также были определены функции подсистемы сбора и передачи телеинформации, разработанные по результатам обследования технического состояния устройств логического управления функциональной группой оборудования. Были получены решения по составу технических средств подсистемы сбора и передачи телеинформации, его размещению на объекте и по способам и средствам информационного обмена между компонентами подсистемы сбора и передачи телеинформации. Результаты исследований используются в ПАО «Ленэнерго» для сбора и передачи информации о работе электрических подстанций и сетей.

**М.А. СИКСТУС**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКОГО УРОВНЯ В ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТАХ С КРИВОЛИНЕЙНЫМИ ГРАНИЦАМИ**

**Ключевые слова:** водоносный горизонт, граничные условия, дискретная модель, пьезометрический уровень.

При создании систем управления, ввиду сложности исследуемых объектов, приходится разрабатывать математические модели. Прежде всего, это связано с невозможностью проведения многократных испытаний, неприемлемо большой цены единичного эксперимента и чрезмерной продолжительности исследуемого явления. Задача моделирования динамики пьезометрического уровня сводится к описанию процесса изменения пьезометрического уровня в водоносном пласте с течением времени при изменении уровня в одной из скважин.

Водоносный горизонт в общем случае описывается в виде куба, разбитого на  $n$  пластов, которые условно разделяют объект на слои по различному типу пород, и, соответственно, различным гидродинамическим коэффициентам. Но такого рода описание имеет примитивный характер и применяется для отражения взаимовлияния близкорасположенных скважин. На самом деле объект имеет более сложные и нелинейные границы. Реализация математической модели динамики пьезометрического уровня заключается в описании объекта дифференциальными уравнениями (ДУ) в частных производных с указанием предела изменения переменных, описывающих границы объекта. В общем случае границы водоносного горизонта описываются линейными уравнениями. В данном докладе предлагается методика описания границ сложных объектов в виде криволинейных поверхностей, представленных функциями двух переменных.

Данная методика позволяет произвести более подробное описание геометрических параметров объекта с учетом сложности его внутренней структуры и включает в себя следующее:

- 1) разработку геометрической модели – описание размеров и структуры объекта с учетом нелинейности границ;
- 2) разработку физической модели – описание процесса изменения пьезометрического уровня в виде системы ДУ в частных производных и граничных условий, описываемых функциями двух переменных;
- 3) разработку дискретной модели – решение системы ДУ методом конечных разностей с учетом шагов дискретизации и представлении функций двух переменных в виде двумерных матриц;
- 4) расчет дискретной модели с помощью средств ЭВМ – разработку алгоритма и создание прикладного программного обеспечения.

При проведении численного эксперимента получено подтверждение, что геометрические особенности объекта оказывают значительное влияние на понижение пьезометрического уровня на удалении от эксплуатационной скважины.

Научный руководитель: д.т.н., проф. Первухин Д.А.



## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИЧИН РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В НЕЗАКРЕПЛЕННОМ ОТКОСЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПРОМЫШЛЕННОГО СООРУЖЕНИЯ ПОВЫШЕННОГО УРОВНЯ ОТВЕТСТВЕННОСТИ (КРАСНОДАРСКИЙ КРАЙ)

Рассматриваемое сооружение представляет собой комплекс производственных зданий и технологических агрегатов, входящих в состав газотранспортной системы федерального значения. Для его строительства был выбран участок склона долины реки (в предгорьях Большого Кавказа), который в результате планировочных работ был разделен на три площадки, ограниченные внутренними и внешними откосами. На одном из внешних откосов высотой около 15 м и крутизной от 28 до 32 градусов после обильных дождей начались оползневые деформации, развитие которых привело к образованию крупного оползневого тела длиной более 160 м.

Детальный анализ инженерно-геологических условий показал, что в пределах оползневого участка откос сложен суглинками тяжелыми пылеватыми и глинами пылеватыми преимущественно твердой и полутвердой консистенции (местами до туго- и мягкопластичной) с прослоями и линзами пылеватых песков и супесей. Отличительной особенностью глинистых грунтов является их способность к набуханию. Почти все исследованные образцы характеризуются как средне- и иногда сильнонабухающие разности. Давление набухания в среднем составляет около 0,05 МПа, достигая 0,1-0,2 МПа, что соответствует толщине зоны набухания до 5-10 м.

Для оценки устойчивости откоса наибольший интерес представляет анализ параметров сопротивления сдвигу грунтов. Установлено, что в процессе дополнительного увлажнения и набухания суглинков и глин происходит разрушение их структурных связей, что сопровождается резким падением величины сопротивления сдвигу и переходом грунтов в квазипластичное состояние. Выполненный обратный расчет показал, что по поверхности скольжения оползня осредненные параметры сопротивления сдвигу ( $c=0,026$  МПа,  $\varphi = 6^\circ$ ) наиболее близки к значениям, полученным при испытаниях методом «плашка по плашке», которые отражают остаточную прочность грунтов при разрушении их структурных связей. Эти параметры могут быть рекомендованы для обоснования проекта по повышению устойчивости откоса.

Научный руководитель: к.г.-м.н., доцент каф. ГиИГ П.В. Котюков.

Д.Р. СИТКИНА

Санкт-Петербургский горный университет

## ВОЗРАСТ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД И ФОСФОРИТОВ ТУВИНО- МОНГОЛЬСКОГО МАССИВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РВ-РВ ДАТИРОВАНИЯ

Осадочные карбонатные породы и фосфориты являются потенциальными геохронометрами, которые при определенных условиях могут быть датированы *Pb-Pb* методом. В настоящей работе изучены осадочные фосфориты и карбонатные породы забитской и агарингольской свит, слагающие нижние горизонты венд-кембрийского осадочного чехла Тувино-Монгольского массива. Для названных отложений отсутствуют обоснованные палеонтологические и геохронологические характеристики, поэтому их возраст определяется достаточно условно по геологическим данным.

Для изотопно-геохронологического исследования были выбраны образцы, удовлетворяющие геохимическим критериям сохранности *U-Pb* системы:  $Mn/Sr < 0,2$ ,  $Fe/Sr < 5,0$ ,  $Mg/Ca < 0,024$  и прошедшие процедуру ступенчатого растворения. Полученные содержания *Pb* и *U* небольшие и соответствуют значениям, характерным для докембрийских карбонатных пород и фосфоритов. *Pb-Pb* возраст, вычисленный в координатах  $^{207}Pb/^{204}Pb - ^{206}Pb/^{204}Pb$  для известняков и доломитов забитской свиты, равен  $620 \pm 50$  млн лет (СКВО = 8), для фосфоритов –  $580 \pm 17$  млн лет (СКВО=3), что в пределах погрешности согласуется с полученным *Pb-Pb* возрастом вмещающих карбонатных пород забитской свиты. *Pb-Pb* возраст известняков агарингольской свиты равен  $621 \pm 93$  млн лет (СКВО = 1.2). Таким образом, возраст формирования карбонатных отложений и залежей фосфоритов осадочного чехла Тувино-Монгольского массива соответствует раннему венду.

Химическая обработка образцов, измерение изотопного состава *U* и *Pb* проведены в Институте геологии и геохронологии докембрия РАН автором, который выражает благодарность члену-корреспонденту РАН, заведующему лабораторией изотопной хемотратиграфии и геохронологии осадочных пород ИГГД РАН А.Б. Кузнецову за идею исследования и предоставленные каменные материалы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-05-01090).

Научный руководитель: д.г.-м.н., профессор каф. МКП В.И. Алексеев.

**Н.В. СНЕГИРЕВ**

*Санкт – Петербургский горный университет*

## **РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИЗАЦИЯ РЕАКТОРНОГО УЗЛА УСТАНОВКИ ПО ПОЛУЧЕНИЮ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ НАФТЕНОВЫХ КИСЛОТ СИНТЕТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

Нафтенновые кислоты - одноосновные карбоновые кислоты, содержащие пяти- и шестичленные насыщенные циклы. Нафтенновые кислоты широко используются, например, в качестве экстрагентов, при производстве удобрений, добавок к моторным топливам и ингибиторов коррозии для транспортировки нефти в магистральных трубопроводах.

Основная часть потребляемых в нашей стране нафтенновых кислот ввозится из - за рубежа, поэтому проблема создания отечественного производства нафтенновых кислот является чрезвычайно актуальной. Учитывая, что во всем мире потребность в нафтенновых кислотах значительно превышает их содержание в добываемых нефтях, проблема создания технологии производства синтетических нафтенновых кислот, особенно, учитывая необходимость импортозамещения, в настоящее время, является особенно важной для нашей страны. Поэтому в последнее время проводятся научные исследования по созданию синтетического метода получения нафтенновых кислот путем окисления нафтенновых углеводородов.

В литературе были опубликованы экспериментальные данные по кинетике жидкофазного каталитического окисления нафтенновой фракции Семановского конденсата Уренгойского месторождения.

С использованием этих экспериментальных данных в программном комплексе ReactOr была создана кинетическая модель процесса окисления и определены параметры этой модели. Далее была создана модель окисления в каскаде аппаратов смешения и исследовано влияние количества аппаратов в каскаде на производительность и качество продуктов окисления. Было исследовано влияние температуры на конверсию и определена температурная зависимость конверсии в каскаде из 3-х аппаратов. Далее эти данные были использованы для разработки технологической схемы производства в программном пакете HYSYS.

Анализ полученной математической модели позволил определить материальный и тепловой баланс реакторного узла. Полученные результаты использованы в качестве исходных данных для технико-экономической оценки целесообразности создания промышленного производства синтетических нафтенновых кислот с использованием в качестве сырья Сенмановского конденсата Уренгойского месторождения.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Ю. В. Шариков.

**Р.С. СМЕРДОВ**<sup>1</sup>

**Ю.М. СПИВАК**<sup>2</sup>

**Н.С. ПЩЕЛКО**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский горный университет*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»*

## **СПЕКТРОСКОПИЯ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СЛОЕВ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ, ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННОГО СЕРЕБРОМ**

Наноструктурированные материалы на основе пористого кремния (PS) получили широкое распространение в качестве оптических фильтров для химического анализа, фильтров для систем волоконно-оптической связи, поскольку современные интерференционные оптические фильтры громоздки в использовании и дороги, так как требуют создания и поддержания высокого вакуума для нанесения покрытий толщиной единицы нанометров с различными показателями преломления. Кроме того, пористый кремний и композиционные наноструктуры на его основе представляют интерес в таких областях как нано- и оптоэлектроника, таргетная доставка препаратов и технология создания газовых сенсоров [1-3].

Спектроскопия комбинационного рассеяния (рамановская) с успехом применялась для характеристики как аморфных, так и кристаллических материалов [4]. При этом Рамановский сдвиг для кристаллического и аморфного кремния составляет от  $521 \text{ см}^{-1}$  до  $480 \text{ см}^{-1}$  (поперечная оптическая ТО – мода) соответственно. Следовательно, если структура пористого кремния (PS) близка к кристаллической (с-Si) или аморфной (а-Si), то соответствующие ей рамановские спектры будут близки к таковым для кристаллического или аморфного кремния. Рамановские спектры образцов регистрировались в геометрии обратного рассеяния при комнатной температуре на спектрометре LabRam HR800. В качестве источника возбуждения использовалась вторая гармоника Nd:YAG-лазера (длина волны излучения  $532 \text{ nm}$ ). Образцы пористого кремния, функционализированного серебром были получены методом электрохимического анодного травления, наночастицы серебра осаждены на поверхность пористого кремния методом катодного электрохимического осаждения. Технологическая часть работы была проведена в УНЛ «Наноматериалы» (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»).

Целью данной работы являлось рассмотрение механизмов влияния функционализирующих наночастиц серебра на структуру и свойства композиционного материала  $\text{por-Si/Ag}$ .

Согласно теории Cardona [5] снижение пространственной трансляционной симметрии приводит к возможности обнаружить методом спектроскопии комбинационного рассеяния моды, не наблюдаемые в монокристаллическом материале. Формула Cardona [5] позволяет оценить размер нанокристаллитов, присутствующих в структуре материала. Размер нанокристаллитов составил  $8 \text{ nm}$ ,  $8 \text{ nm}$ ,  $6.2 \text{ nm}$ ,  $6.2 \text{ nm}$  и  $5.2 \text{ nm}$  для времен анодирования  $0,5 \text{ min}$ ,  $1 \text{ min}$ ,  $10 \text{ min}$ ,  $20 \text{ min}$  и  $40 \text{ min}$  соответственно. С увеличением времени анодирования кремниевой матрицы растет смещение рамановского пика относительно  $521 \text{ см}^{-1}$  (положения, соответствующего с-Si), при этом размер нанокристаллитов кремния сокращается.

Согласно работе Duval [6] спектры комбинационного рассеяния наночастиц серебра и композиционные материалы на их основе содержат низкочастотные пики, существование которых обусловлено вибрациями наночастиц под действием излучения оптического диапазона. Для оценки размеров наночастиц серебра была применена теория Ламба, изложенная в работе [6], для колебаний эластичного гомогенного тела сферической формы. Модель предполагает существование сферических и крутильных мод колебаний. При этом Duval отмечает, что согласно модели Ламба активными оказываются моды, обладающие наименьшей энергией. Duval предполагает, что этот факт обусловлен наличием сильного взаимодействия поверхностных электронных и вибрационных мод, энергия которых близка к энергии фотонов падающего излучения. Согласно теории Ламба, изложенной в работе Duval, рассчитанный размер наночастиц серебра составил  $0.72 \text{ nm}$ .

Таким образом, структура матрицы пористого кремния до осаждения наночастиц серебра близка к кристаллической. Функционализация серебром приводит к деформации кристаллической решетки кремния, сопровождающейся появлением на рамановских спектрах образцов полос, нехарактерных для кристаллического кремния, к формированию нанокристаллитов кремния, сопровождающемуся смещением пика, соответствующего волновому числу  $521 \text{ см}^{-1}$ , (расчет характерных размеров которых проведен с использованием теории Cardona [5]) в зависимости от времени анодирования кремниевой матрицы а также к формированию наночастиц серебра диаметром  $0.72 \text{ nm}$  на поверхности кремниевой матрицы

Увеличение времени анодирования пористого кремния приводит к увеличению степени развитости и размера пор, толщины пористого слоя. При этом эффект SERS, обусловленный локализованным поверхностным плазмонным резонансом [7] в наночастицах серебра, осажденных на поверхности пористого кремния, наиболее выражен при использовании времени анодирования  $t=10 \text{ минут}$ .

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Surface Functionality Features of Porous Silicon Prepared and Treated in Different Conditions / Yu. M. Spivak, S. V. Mjakin, V. A. Moshnikov et al. // J. of Nanomaterials. – 2016. – V. 2016. – 8 p.
2. Morphological Feature Analysis of the Prospective Combined Gas Sensitive Sensor Elements / S. S. Nalimova, Yu. M. Spivak, V. A. Moshnikov, et al. // Smart Nanocomposites. – 2014. – V. 5, N 1. – 5 p.
3. Загрязняющий фильтр видимого и ближнего ультрафиолетового диапазона для флуоресцентного микроскопа на основе явления плазмонного резонанса / П. С. Смердов, В. В. Лобода, Ю. М. Спивак, В. А. Мошников // НТВ СПбГПУ. ИТУ. – 2016. – Т. 3. – С. 13 – 22.
4. Feng, Z., Tsu, R. Porous Silicon / Z. Feng, R. Tsu. – Singapore: World Scientific Publishing, 1994. – 488 p
5. M. Cardona. Folded, confined, interface, surface, and slab vibrational modes in semiconductor superlattices // Superlattices and Microstructures. – 1989. – V. 5. – N 1. – P. 27 – 42.
6. E. Duval, A. Boukenter, B. Champagnon. Vibration Eigenmodes and Size of Microcrystallites in Glass: Observation by Very-Low-Frequency Raman Scattering // Phys. Rev. Lett. – 1986. – Vol. 56. – N 19. – P. 2052 – 2055.
7. Shape effects in plasmon resonance of individual colloidal silver nanoparticles / J. J. Mock, M. Barbic, D. R. Smith, D. A. Schultz, S. Schultz. // J. Chem. Phys. – 2002. – V. 116. – P. 6755.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОДАЖ ФОСФОРНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА МИРОВЫХ РЫНКАХ (НА ПРИМЕРЕ КОМПАНИИ "ФОСАГРО")**

Российская отрасль минеральных удобрений является экспортно-ориентированной в связи со значительными запасами фосфорного и калийного сырья на территории страны, низкой степенью развитости отечественного рынка удобрений и значительным спросом на мировых рынках на продукцию отрасли. Мировой рынок фосфорных удобрений отличается значительной волатильностью, нестабильностью спроса по регионам, высокой степенью зависимости рынка от условий внутреннего субсидирования в различных странах. Указанные факторы оказывают влияние на отечественных производителей, определяя необходимость выбора российскими компаниями наиболее выгодных с экономической точки зрения экспортных рынков.

Ключевую позицию на российском рынке удобрений занимает компания «ФосАгро» - один из крупнейших производителей апатитового концентрата и фосфорных удобрений в мире. Основными потребителями удобрений компании являются Россия (28%), Европа (26%), Северная и Латинская Америка (20%), Азия (14%), Африка (6%) и страны СНГ (6%) (2016 год). Каждый представленный рынок имеет определенные особенности и перспективы развития, учет которых необходим в рамках выделения стратегических возможностей компании в области экспорта.

Для оценки основных рынков сбыта компании с точки зрения наиболее выгодной рыночной конъюнктуры в текущий момент и перспектив развития рынка, а также моделирования наиболее выгодной с экономической точки зрения структуры продаж компании «ФосАгро» предлагается решение многокритериальной задачи. Решение основано на разработке системы показателей и научном обосновании максимизирующих и минимизирующих критериев, оказывающих непосредственное влияние на эффективность реализации продукции в определенном регионе.

По результатам проведенного исследования предлагается структура продаж фосфорных удобрений компании «ФосАгро» на мировых рынках, при которой, согласно проведенным расчетам, компания может увеличить выручку до 10% при текущем объеме производства.

Научный руководитель – кандидат экономических наук, ассистент кафедры организации и управления Ильинова А.А.

**С.Ю. СТЕПАНОВ**  
*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ЭВОЛЮЦИЯ ХРОМИТ-ПЛАТИНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ЗОНАЛЬНЫХ КЛИНОПИРОКСЕНИТ-ДУНИТОВЫХ МАССИВАХ СРЕДНЕГО УРАЛА**

История изучения клинопироксенит-дунитовых массивов Среднего Урала насчитывает уже более 150 лет. Основные работы по изучению хромит-платинового оруденения были проведены преимущественно на образцах из дунитов Нижнетагильского массива. В последнее время в результате детальных геолого-съёмочных работ были выявлены ранее неизвестные хромит-платиновые рудные зоны в дунитах Светлоборского и Вересовоборского массивов. Основой для проведения минералогических и онтогенических исследований послужили образцы хромититов содержащих минералы платиновой группы, а также отдельные агрегаты и индивиды этих минералов из хромититов клинопироксенит-дунитовых массивов Среднего Урала.

В результате анализа данных, полученных с использованием бинокулярного и рудного микроскопов, рентгеноспектральных микроанализаторов и растровых электронных микроскопов, были выявлены три парагенезиса минералов платиновой группы. К первому относятся изоферроплатина и железистая платина с многочисленными включениями *Os-Ir-(Ru)* интерметаллидов, лаурита, эрликманита, кашинита, боуита и др. Минералы этого парагенезиса сформировались на магматической стадии развития дунитовых тел совместно с хромшпинелидами. К парагенезису вторичных минералов, формирование которых наиболее вероятно связано с серпентинизацией дунитов относятся минералы группы тетраферроплатины (туламинит, ферроникельплатина, тетраферроплатина). К минералам наиболее позднего парагенезиса относятся сульфиды, арсениды, титаниды, сульфостибниды и сульфоарсениды элементов платиновой группы. Они замещают как первичные *Pt-Fe* твёрдые растворы, так и минералы группы тетраферроплатины.

Предполагается, что формирование первично магматического парагенезиса минералов происходило на стадии кристаллизации дунитов при проявлении пикритового или анкарамитового магматизма в условиях

континентального рифтогенеза. Развитие минералов вторичного парагенезиса связано с серпентинизацией дунитов, вызванной гидротермальной переработкой клинопироксенит-дунитовых массивов в надсубдукционной зоне в ранненордовикское время.

Научный руководитель: д.г.-м.н., зав. каф. ГРМПИ А.В. Козлов.

**Д.В. СУН**

*Санкт-Петербургский Горный университет*

## **ТЕХНОЛОГИИ ОГРАНИЧЕНИЯ ВОДОПРИТОКА В ТРЕЩИНУ ГИДРОРАЗРЫВА**

В настоящий момент большинство нефтяных месторождений России находится на завершающей стадии разработки, характеризующейся высокой обводненностью продукции и малыми темпами добычи нефти. С проблемой увеличения нефтеотдачи российские компании предпочитают бороться с помощью применения относительно недорогих технологий, например, гидроразрыва пласта (ГРП).

ГРП является одним из наиболее эффективных методов воздействия на пласт. А в условиях освоения низкопроницаемых коллекторов и вовлечением в разработку слабодренлируемых зон его можно рассматривать в качестве перспективного метода увеличения нефтеотдачи. Однако высокие значения обводненности добываемой продукции и близость расположения газо- и водоносных горизонтов являются одними из решающих факторов, ограничивающих количество скважин-кандидатов для проведения ГРП.

С конца 90-х годов прошлого века отечественные и зарубежные компании находятся в активном поиске новых технологий ГРП, позволяющих снизить риск водопритока в трещину и увеличить коэффициент извлечения нефти.

Изучив современные технологии ГРП с ограничением водопритока, мы предложили собственную классификацию, разделение на группы в которой основано на принципе действия и условиях применимости каждого конкретного метода:

I группа - технологии ограничения роста трещины ГРП в высоту. Цель - подвергнуть разрыву только нефтенасыщенный интервал, не попадая в водонасыщенный, что позволяет применять данный метод в условиях тонких глинистых перемычек.

II группа - комплексные технологии одновременной водоизоляции и интенсификации притока посредством ГРП. Условия применимости данных методов шире, чем у методов I группы, т.к. они позволяют проводить ГРП на высоко обводненном фоне скважин, вблизи водо- и газонефтяного контактов (ВНК, ГНК).

В первой части работы была рассмотрена технология ГРП на геле разрыва малой вязкости (линейном геле) и произведено сравнение технологических показателей с показателями стандартной операции ГРП на том же эксплуатационном объекте. Несмотря на существующие риски, одними из которых является выход трещины за пределы "целевого" интервала и преждевременный "СТОП" по операции, они оправдали себя величиной накопленной добычи нефти и низкой себестоимостью скважино-операций. Технология была признана эффективной для условий пластов АВ<sub>1,2</sub> типа "рябчик" месторождений Западной Сибири.

Так же была рекомендована к дальнейшему рассмотрению альтернативная технология ограничения роста трещины - J-Frac, которая имеет практически идентичные критерии применимости, однако лишена большинства присущих линейным гелям недостатков.

Во второй части работы был проведен анализ технологии ГРП с МФП со стандартной операцией ГРП на проблемных скважинах нефтяного месторождения Западной Сибири (скважины, вскрывшие нефтяной пласт без наличия непроницаемой перемычки, с тонкой глинистой перемычкой и вблизи высоко обводненного фонда скважин). В сравнении с операциями стандартного ГРП, ГРП с добавкой МФП оказался более эффективным, обводненность по всем скважинам после ГРП с МФП была равна или ниже прогнозируемой, средний прирост дебита нефти - 44 т/сут. В среднем эффект держался 8 месяцев.

В результате выполнения работы мы выяснили, что технологии ГРП с ограничением водопритока позволяют продлить срок рентабельной добычи нефти, и поэтому считаем необходимым и дальше продолжать научные исследования по данной теме.

Научный руководитель - Тананыхин Д.С.

## ТАМПОНАЖНЫЕ РАСТВОРЫ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ НАКЛОННО НАПРАВЛЕННЫХ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР И ДАВЛЕНИЙ

Качество крепления наклонно направленных скважин в большой степени зависит от состава и свойств тампонажного материала [1]. В работах, посвященных исследованию свойств тампонажного камня уделялось мало внимания на влияние повышенных температур и давлений на свойства цемента.

В связи с этим, исследование влияния повышенных давлений и температур на свойства тампонажного материала, предназначенного для цементирования наклонно направленных скважин представляется весьма актуальной задачей.

Наиболее принятое определение условий высоких давлений и температур (НРНТ) дана компанией Шлюмберже (Рисунок 1). На основе данного определения, месторождения с условиями НРНТ характеризуются забойной температурой выше 150 °С и/или забойным давлением выше 69 МПа.

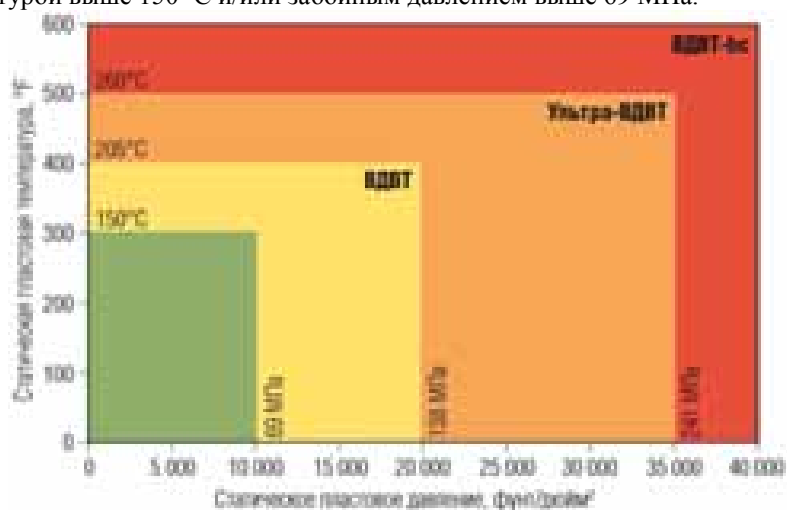


Рисунок 1 – Условия НРНТ

К основным требованиям тампонажного материала, предназначенного для цементирования наклонно направленных скважин в условиях НРНТ можно отнести следующие:

- седиментационная устойчивость;
- низкое водоотделение;
- высокая степень прокачиваемости;
- высокая плотность;
- высокие прочностные характеристики.

С целью обеспечения этих свойств, в данной работе предполагается введение следующих реагентов, модифицирующих свойства тампонажного раствора и цементного камня:

- кварцевый песок или кварцевая мука для обеспечения высоких прочностных характеристик;
- гематит ( $Fe_2O_3$ ) в качестве утяжелителя;
- лигносульфонат в качестве пластификатора, позволяющего увеличить время загустевания цемента;
- гипан для регулирования водоотделения;
- каолинит для обеспечения седиментационной устойчивости.

Для подбора оптимального тампонажного состава по степени его уплотнения, проведен гранулометрический анализ цемента и предполагаемых реагентов в составе тампонажной смеси. Гранулометрический состав, степень уплотнения и массовая доля применяемых материалов в составе тампонажного материала являются входными параметрами в модель Туфара, которая использована в этой работе для определения теоритической степени уплотнения тампонажной смеси. Установлено, что с увеличением степени уплотнения смеси, повышается компактность системы, в результате чего ожидается высокие прочностные характеристики и низкая проницаемость цементного камня [2]. Результаты гранулометрического анализа приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты гранулометрического анализа

	Состав	Степень уплотнения		Состав	Степень уплотнения
	ПЦТ-I-100 (70), Кв. Песок (5), Гематит (25)	0.6508		ПЦТ-I-100 (65), Кв. Пыль (15), Гематит (20)	0.6549
	ПЦТ-I-100 (65), Кв. Песок (15), Гематит (20)	0.5804		ПЦТ-I-100 (70), Кв. Пыль (5), Гематит (25)	0.5781
	ПЦТ-I-100 (70), Кв. Песок (10), Гематит (20)	0.5616		ПЦТ-I-100 (70), Кв. Пыль (10), Гематит (20)	0.5610
	ПЦТ-I-100 (70), Кв. Песок (15), Гематит (15)	0.501		ПЦТ-I-100 (70), Кв. Пыль (15), Гематит (15)	0.5024

Из представленных результатов следует, что тампонажные составы 1, 2, 5 и 6 являются оптимальными, так как их степень уплотнения выше чем у остальных систем. После подбора оптимальных составов, обеспечивается седиментационная устойчивость тампонажных растворов введением гипана и каолинита (таблица 2). Гипан способствует формированию адсорбционных оболочек на поверхности твердых фаз, а также приводит к повышению вязкости системы, в результате чего скорость оседания твердой фазы снижается. Каолинит действует в качестве структурообразующей добавки и придает тампонажному раствору тиксотропные свойства, низкие значения которых приводит к водоотделению тампонажного раствора в результате слабых взаимодействий между зернами твердых фаз [3].

№	Состав* (массовая доля, %)	Степень уплотнения	Каолинит (% от сухой смеси)	Гипан (% от сухой смеси)	Ратекаемость (мм)
1	ПЦТ-I-100 (70), Кв. Песок (5), Гематит (25)	0.6508	1	3	195
2	ПЦТ-I-100 (65), Кв. Песок (15), Гематит (20)	0.5804	1	3,25	180
5	ПЦТ-I-100 (65), Кв. Пыль (15), Гематит (20)	0.6549	1	2,25	200
6	ПЦТ-I-100 (70), Кв. Пыль (5), Гематит (25)	0.5781	1	2,5	190

Таблица 2 – Введение реагентов для обеспечения седиментационной устойчивости

Подвижность исследуемых тампонажных растворов обеспечивается введением лигносульфоната, позволяющего увеличить время загустевания растворов. Важнейшим свойством цементного камня при цементировании скважин в условиях НРНТ является его прочностные характеристики.

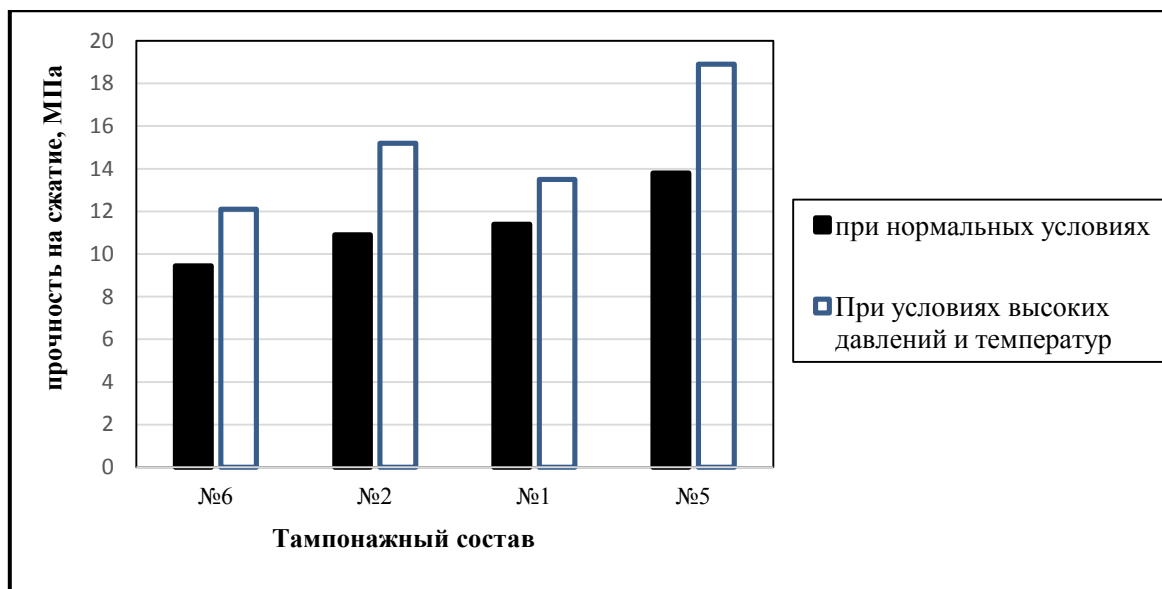


Рисунок 2 – Результаты исследований прочностных характеристик цементного камня

Анализ прочности на сжатие исследуемых составов приведен с помощью полуавтоматической машины для испытания на сжатие и на изгиб Controls – Pilot3. Результаты исследований прочностных характеристик цементного камня при нормальных условиях и при условиях НРНТ (150 °С и 500 psi) представлены на рисунке 2.

Из представленных результатов следует, что при нормальных условиях, системы, которые имеют высокие значения степени уплотнения, являются более прочными, так как они более компактные. Результаты также показывают повышение прочности камня с повышением температуры, что связано с содержанием кварца в составе тампонажной смеси. При гидрации цемента в кристаллической структуре цементного камня образуется минерал тоберморит, который при повышении температуры образует слабую структурную связь. Добавление кварца к системе позволяет получить условия, при которых тоберморит может переходить в ксонотлит, который является более устойчивым кристаллогидратом, повышающим прочность системы в период кристаллообразования.

По выполненным теоритическим и лабораторным исследованиям можно сделать следующие выводы:

- Оптимальные тампонажные составы должны подбираться на основе гранулометрического анализа по степени уплотнения.
- С повышением степени уплотнения увеличивается компактность тампонажных систем, что предполагает повышение прочностных характеристик цементного камня.
- Введение лигносульфоната, гипана и каолинита регулирует время загустевания, растекаемость и седиментационная устойчивость тампонажных систем.

#### Литература

1. Детков В.П. Некоторые вопросы повышения качества крепления скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2011. -№1. –С.32-36.
2. Белов В.В. и Образцов И.В. расчет плотных упаковок частицв смесях тонкодисперсныхкомпонентов // Сухие строительные смеси. – 2014. – №3. – С. 32–35.
3. Горонович С.Н., Цыцымускин. Тампонажные растворы для крепления наклонно направленных и горизонтальных скважин// Нефтяное хозяйство. – 2005. – №4. – С. 28–29.

**С.А. ТЕНИЗБАЕВА**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **НЕФТЕСОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫЕ ПРИ СОЧЕТАНИИ ФИЗИЧЕСКОГО И ХИМИЧЕСКОГО МЕТОДОВ ВСПЕНИВАНИЯ**

Исследования, проводящиеся на кафедре общей и физической химии Санкт-Петербургского горного университета под руководством проф. В.Е. Когана, показали перспективность работ, направленных на разработку нефтесорбентов на основе пенополиуретанов (ППУ). Этими исследованиями, в частности, установ-



лено необходимое и необходимое и достаточное условия наличия максимума на кинетических кривых нефтепоглощения в начальный момент времени.

Настоящее исследование было направлено на синтез ППУ из компонентов А и Б при сочетании физического и химического методов вспенивания. Установлено, что в случае ППУ, синтезированных при сочетании физического и химического методов вспенивания, характер кинетических кривых поглощения нефти и дизельного топлива является функцией как температуры синтеза, так и содержания воды в реакционной смеси. Показано, что при температуре синтеза 70 °С (максимально возможная для синтеза ППУ) в полной мере достигается реализация всех возможных химических взаимодействий. При более низких температурах, в первую очередь при 20 °С и 30 °С, часть этих процессов вследствие низкой подвижности реагентов невозможна, либо смещена в область меньших концентраций воды в реакционной смеси.

Введение в реакционную смесь компонентов А и Б (сверх 100 % по объему) 2,50 % и 3,75 % воды приводит к увеличению доли закрытых пор. Отмеченное, наиболее вероятно, обусловлено тем, что в результате достаточной подвижности реагентов при температуре 70 °С происходят взаимодействия, приводящие к образованию биурета и аллофаната, способствующих добавочному поперечному связыванию полимера, а следовательно, и увеличению доли закрытых пор в ППУ. Увеличение содержания воды до 5,00 % приводит к резкому понижению доли закрытых пор в образцах ППУ, что обусловлено, в частности, увеличением объема получаемого вспенивателя (диоксида углерода). Однако при этом еще выполняется необходимое и достаточное условие наличия максимума на кинетических кривых поглощения нефти и дизельного топлива.

При содержании воды в реакционной смеси 6,25 % структура ППУ преимущественно открыто-ячеистая, и максимум на кинетических кривых отсутствует. Вероятно, практически равная нулю скорость столкновения концов полимерных цепей в период завершения пенообразования приводит к тому, что взаимодействие концевых изоцианатных групп с водой становится преобладающим. Некоторое количество концевых изоцианатных групп превращается в концевые аминогруппы, которые из-за большой инертности полимерных цепей не могут прореагировать с изоцианатными группами. В результате получаются образцы ППУ, содержащие некоторое количество концевых аминогрупп, что, в свою очередь, и способствует переходу от закрыто-ячеистой к открыто-ячеистой структуре.

Научный руководитель: доктор химических наук, профессор В.Е. Коган

**И. В. ТКАЧЕВ**

*Санкт – Петербургский горный университет*

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УЗЛА ВЫДЕЛЕНИЯ НАФТЕНОВОЙ ФРАКЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ КИСЛОТ ПУТЕМ ОКИСЛЕНИЯ ИЗ СЕНОМАНСКОГО КОНДЕНСАТА УРЕНГОЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Возросший спрос на нафтенновые кислоты за последние годы не удастся удовлетворить только за счет кислот извлекаемых из керосиновых дистиллятов нефти. Поэтому рассматриваются возможности получения нафтенновых кислот из более тяжелых дистиллятов, а так же за счет использования синтетического метода выделения нафтенновых кислот. Варианты извлечения кислот из тяжелых дистиллятов являются энергозатратными и невыгодными из-за малого содержания целевого компонента. Следовательно, синтетический метод получения нафтенновых кислот путем окисления нафтеннов, представляется более перспективным методом получения.

В работе рассматривается синтетический метод получения нафтенновых кислот через окисление циклопарафинов в узле окисления с последующей концентрацией целевого компонента в продукте установки до 97,5% масс. Поскольку нафтенновые фракции имеют довольно широкий фракционный состав после его прямого окисления, приходится выделять кислоты путем нейтрализации с последующим отделением так, как это делается при выделении нафтенновых кислот из нефти. Поэтому более эффективным является выделение узкой фракции нафтенновых углеводородов, которые при окислении дают целевой продукт с незначительными примесями. Для разработки такого способа выделения нужной фракции углеводородов была разработана математическая модель этого процесса в программном комплексе Aspen HYSYS, которая позволяет решить вопросы рационального и эффективного использования аппаратуры и сырья, как для узла выделения, представленного ректификационной колонной и теплообменниками в рецикле, так и для всей установки по получению синтетических нафтенновых кислот.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Ю. В. Шариков.

## **БРЕКЧИЕВЫЕ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУРАНАХСКОГО ТИПА – НАДЕЖДА (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЛДАН)**

В работе приводятся предположения о рудоподводящем значении крутопадающих минерализованных зон, представленных брекчиевыми рудами, на месторождении Нижнеякокитского рудного поля – Надежда. По своей геолого-структурной позиции, вещественному составу руд и околорудных метасоматитов оно относится к куранахскому типу.

В процессе разработки месторождения Надежда были выделены крутопадающие минерализованные зоны. По результатам петрографического изучения, породы представлены катаклазированными и брекчированными доломитами, которые обладают – катакластической структурой и брекчиевидной, цементной текстурой.

Из образца рудной брекчии была сделана протолочка и промыта на лотке. При ее изучении в немагнитной фракции было выделено свободное золото в количестве 4 знаков. Размер золотинок варьирует от 0,05 до 0,1 мм. Состав золота определялся с поверхности золотин на сканирующем электронном микроскопе *CamScan MV 2300* с энергодисперсионным микроанализатором *LINK Pentafet (Oxford Instr.)* (ЦАЛ ВСЕГЕИ, аналитик Грузова Е.Л.). Проба золота достаточно высокая: в первом знаке – 953, во втором 946, в третьем и четвертом 876 и 880 ‰ соответственно.

Генезис месторождений куранахского типа до сих пор вызывает споры у учёных. Предположение, что данные крутопадающие зоны являются рудоподводящими структурами, уже высказывалось (Леонтьев, 2015), однако в данный момент оно ещё не достаточно обосновано. По данным эксплуатационной разведки зоны брекчирования прослеживаются до глубины 100 м, без признаков выклинивания. В рудных телах, расположенных в коре выветривания, содержания золота максимальны над данной зоной. Для подтверждения этой идеи дальнейшие исследования будут направлены на анализ распределения содержаний золота в зонах брекчий и карстовых полостях.

Научный руководитель: к.г.-м.н., ассистент каф. ГРМПИ Я.Ю. Бушуев.

**Т.А. ФАЙЛЬ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ТРАНСМИССИЙ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ СРЕД ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

На динамическое оборудование нефтеперерабатывающих предприятий приходится около 46% всего оборудования. Абсолютное большинство таких машин и оборудования в свой состав включают трансмиссии, в состав которых входят зубчатые передачи. Основными причинами выхода из строя зубчатых передач трансмиссий технологических машин являются поломка зубьев, выкрашивание их активных поверхностных слоев, абразивный износ, пластические деформации и заедание. На зубчатые передачи приходится 10-13% от общего количества отказов механического оборудования, в связи с этим возникает необходимость повышения их срока службы оптимизацией параметров зацепления, совершенствованием технологии изготовления, проведением комплекса мероприятий технического обслуживания, созданием искусственных сред их функционирования.

Добиться увеличения срока службы зубчатых передач можно при помощи эффекта безизносности. На его основе были разработаны металлоплакирующие смазочные материалы, применение которых позволяет повысить ресурс машин и механизмов. Характерной особенностью таких смазочных материалов является то, что в их составе находятся присадки, которые состоят из порошков мягких металлов (меди, олова, свинца), сплавов и их окислов, солей и комплексных соединений металлов, металлоорганических соединений.

В процессе работы узлов трения, при использовании металлоплакирующих смазочных материалов, на трущихся поверхностях деталей из введенных в смазку присадок формируется тонкая трудно поддающаяся окислению защитная самовосстанавливающаяся металлическая пленка толщиной от нескольких атомных слоев до 1...4 мкм. Образовавшийся тончайший переходит с одной поверхности трения на другую, это и придает узлам трения высокую износостойкость. Металлоплакирующие смазочные материалы обладают лучшими противозадирными и противоиносными характеристиками, чем у обычных смазочных материа-

лов. Их использование позволяет повысить долговечность узлов трения (в 2...3 раза), снизить потери на трение (на 30...200%) и тем самым повысить КПД оборудования, уменьшить расход смазочных материалов (в 2...3 раза), увеличить период между смазочными работами (до 3 раз).

Подобного эффекта можно добиться при нанесении медьсодержащих покрытий на рабочие поверхности зубчатых колес. Были проведены сравнительные испытания покрытых медью образцов и образцов без покрытия в диапазоне нагрузок от нуля до 15 МПа в среде индустриального масла общего назначения И-40А без присадок, и без смазки на стенде оригинальной конструкции. В процессе проведения испытаний производились измерения потребляемой мощности, фиксировалась величина акустико-эмиссионного сигнала. Проанализировав результаты испытаний, выяснили, что затраты энергии на движение образцов покрытых электролитической медью в масле в среднем на 20-35% в зависимости от скорости ниже в сравнении с образцами без соответствующего покрытия. Аналогичные тенденции были выявлены и при испытаниях без смазки.

Это дает основания для проведения дальнейших исследований для снижения износа зубчатых колес, а также уменьшения скорости их изнашивания в процессе эксплуатации при формировании поверхностей трения высокого качества путем нанесения медного покрытия, а также применения химически активной рабочей среды – металлоплакирующего масла, позволяющего создавать вторичные структуры – неокисляемую пленку с малым сопротивлением сдвигу.

Научный руководитель профессор кафедры машиностроения Иванов Сергей Леонидович

**А. В. ХАСАНОВ**

*Санкт – Петербургский горный университет*

## **ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ПЛАТИНОВЫХ МЕТАЛЛОВ В СУЛЬФАТНО–ХЛОРИДНЫХ СРЕДАХ**

Развитие отечественного горно-металлургического комплекса связано с вовлечением в переработку нетрадиционного для РФ рудного и техногенного сырья, в том числе, платиносодержащих отвальных продуктов обогащения хромитсодержащих и малосульфидных руд. Суммарное содержание в хвостах обогащения благородных металлов, представленных преимущественно высокодисперсными металлическими формами, природными сплавами, халькогенидными и арсенидными соединениями, находится на уровне 0,3-1 г/т. Одним из перспективных методов переработки хвостов обогащения хромитовых руд является их интенсивное кучное выщелачивание серноокислыми растворами.

С использованием потенциостата «Р-30 J» в потенциодинамическом режиме исследованы особенности электрохимического поведения сплавов платины и палладия в сульфатно-хлоридных средах. Установлено, что ускорение растворения платино-палладиевых сплавов (5-50% Pd) и соответственно увеличение анодной плотности тока определяется повышением кислотности сульфатного раствора (до 50 г/л) и увеличением концентрации хлор-иона (до 25 г/л). Необходимым условием извлечения благородных металлов в продукционные растворы кучного выщелачивания является формирование устойчивых сульфатно-хлоридных комплексов за счет создания высокого окислительного потенциала системы.

Показана принципиальная возможность кучного выщелачивания благородных металлов из техногенного сырья с использованием серноокислых растворов, насыщенных активным электролитическим хлором. Извлечение благородных металлов из растворов интенсивного кучного выщелачивания может быть осуществлено традиционными сорбционными методами с получением богатого коллективного концентрата.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Г.В. Петров

**М.О. ХАФИЗОВ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ДОЖИМНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ ЗАМЕНОЙ ТУРБОДЕТАНДЕРНОЙ УСТАНОВКИ НА АБСОРБЦИОННУЮ БРОМИСТО - ЛИТИЕВУЮ ХОЛОДИЛЬНУЮ МАШИНУ**

В классической схеме подготовки газа методом низкотемпературной сепарации для охлаждения газа после ДКС применен тандем: турбодетандер-АВО-теплообменник-эжектор (дроссель).

При подготовке газа для его охлаждения можно применить абсорбционные бромистолитиевые холодильные машины (АБХМ).

АБХМ – абсорбционная бромистолитиевая холодильная машина, предназначена для отбора и удаления избыточного тепла и поддержания заданного теплового режима. В качестве необходимого ресурса для работы машины применяется теплота уходящих газов из газоперекачивающего агрегата.

Выводы.

- 1) Исключив из технологического цикла ТДА и АВО сокращаются затраты на ремонтные работы.
- 2) Сокращаются эксплуатационные затраты на охлаждение газа.
- 3) Выполняются требования ФЗ №261 от 23.11.2009г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности».
- 4) Для новых промыслов сокращаются капитальные затраты при строительстве дожимных компрессорных станций.

Научный руководитель: доцент, Спесивцев Борис Иванович

**К.А. ХОМЯКОВ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ «БЕЗРЕДУКТОРНЫХ» КОЛЬЦЕВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА ОБЪЕКТАХ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Процесс измельчения бедных руд требует применения самых высокопроизводительных мельниц, обеспечивающих круглосуточную, бесперебойную и надежную работу. Сегодня наблюдается тенденция использования более крупных шаровых мельниц и мельниц полусамоизмельчения с еще более высокой установленной мощностью относительно диаметра мельницы. Поэтому изучение режимов работы электроприводов крупных шаровых мельниц и мельниц полусамоизмельчения с целью усовершенствования их конструкции и характеристик является актуальной задачей. В данной области перспективной разработкой необходимо отметить создание безредукторного привода. В безредукторном приводе для мельницы отсутствуют все традиционные механические компоненты приводных систем – зубчатый венец, ведущая шестерня, редуктор, муфта сцепления, вал электродвигателя и подшипники. Таким образом, мельница становится ротором безредукторного двигателя после монтажа полюсов ротора непосредственно на самой мельнице. Безредукторный двигатель (который также называют «опоясывающим» или «кольцевым» двигателем) представляет собой очень большой синхронный электромотор. Полюса двигателя монтируются непосредственно на опорном фланце кожуха мельницы; таким образом, корпус мельницы становится ротором.

Преимущества кольцевых двигателей:

- такое техническое решение, как безредукторный привод, устраняет необходимость использования зубчатого венца, ведущей шестерни, редуктора, муфты сцепления, подшипников и т.д.;
- кроме того, автоматически добавляются режимы толчковой подачи и самого малого хода, что исключает необходимость в установке дополнительного шагового двигателя;
- приводная система, включая безредукторный двигатель, не требует использования смазочных материалов. Таким образом, из эксплуатационных расходов исключается статья затрат на утилизацию материалов;
- безредукторная система привода для мельниц предусматривает автоматическое переключение скорости и возможность вращения мельницы в обоих направлениях. Эти конструктивные особенности обеспечивают владельцу возможность немедленной оптимизации всего технологического процесса измельчения и сокращения времени простоев за счет увеличенного срока службы футеровки на протяжении всего периода эксплуатации месторождения.

В статье рассмотрены варианты и опыт применения «безредукторных» кольцевых электродвигателей. Необходимость применения кольцевых «безредукторных» двигателей заключается в том, что редукторные приводы имеют практический потолок мощности порядка 7500 кВт (примерно 10000 л.с.) на одну ведущую шестерню. Безредукторный электропривод с кольцевым двигателем снимает ограничения на размер МПСИ или ММС и её мощность. Недостатком кольцевого электропривода являются относительно большие первоначальные затраты на его разработку, изготовление и установку (стоимость кольцевого привода примерно на 30 % выше стоимости самой мельницы).

Научный руководитель: доц., к.т.н. Д.А. Устинов

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ НАФТАЛИНА ИЗ ОСТАТКОВ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ СМОЛЫ**

В работе показана возможность выделения нафталиновой фракции, содержащей не менее 97% основного вещества, из каменноугольной смолы. При анализе литературных данных в различных источниках была подтверждена возможность выделения нафталина методом ректификации, а также получена информация о сложности разделения каменноугольной смолы, ввиду наличия в ней различных азеотропных смесей. Очевидно, что это является одной из главных проблем и исходя из нее была разработана и выбрана подходящая термодинамической модель, при условии того, что содержание основного вещества должно быть не менее 97% масс. и энергетические затраты будут минимальны. Для получения нафталина с содержанием основного вещества не менее 97 % рассмотрены несколько конкурентных схем: с использованием одной и двух колонн. Было произведено сравнение различных экономических и энергетических параметров. Оптимальной с точки зрения энергетических затрат является одноколонная схема с боковым отбором. Качество целевой фракции может достигать 99 %, при этом удельные затраты греющего пара составят 1,19 Гкал/т. Получение целевого продукта, с содержанием 97 % - го нафталина требует удельных затрат греющего пара в размере 0,33 Гкал/т, что почти в 4 раза меньше.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Н.А. Романова.

## **ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ЗАТРАТ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

**Цель исследования:** Выявить проблемы контроля затрат на предприятиях ОПК и определить основные пути их решения.

**Задачи исследования:** изучить особенности учета затрат и калькулирования себестоимости на предприятиях ОПК; выявить проблемы контроля затрат, возникающие в связи с данными особенностями; определить и наметить основные пути устранения выявленных проблем.

**Актуальность исследования:** Оборонно-промышленный комплекс является значимой отраслью экономики РФ, в развитие и поддержание которой вкладываются существенные средства федерального бюджета. Деятельность предприятий ОПК не подчиняется классической схеме рыночных отношений. Особенности ценообразования, учета затрат и формирования себестоимости продукции в сочетании с наличием большого количества администрирующих и контролирующих органов создает необходимость организации на предприятиях ВПК должного контроля затрат с целью эффективного управления ими на всех стадиях производственно процесса.

### **Основные результаты работы:**

Выявленные особенности: государственное установление максимальной цены контрактов; государственное регулирование методологии ценообразования; строгая регламентация порядка учета затрат и калькулирования себестоимости продукции по ГОЗ; длительность процедуры согласования и заключения контрактов по ГОЗ; жесткое администрирование и контроль исполнения ГОЗ со стороны государственного заказчика.

Выявленные проблемы: Практически полное отсутствие возможности осуществления должного и эффективного контроля затрат в рамках отечественной системы бухгалтерского финансового учета; отсутствие отраслевых методических рекомендаций по осуществлению учета на предприятиях ОПК; непроработанность системы контроля на стадии планирования затрат при заключении контракта.

Пути решения: Совершенствование и разработка методик контроля затрат на стадии их планирования (при заключении контрактов) с целью минимизации рисков возникновения фактических отклонений при выполнении заказа и обеспечения максимальной рентабельности и прибыльности заказов. Внедрение на предприятии системы управленческого учета, позволяющей, учитывая специфику оборонной отрасли и производственного процесса, организовать должный контроль, эффективное управление и качественное планирование затрат.

## ТЕЗИСЫ

Оборонно-промышленный комплекс – одна из ключевых отраслей экономики РФ, включающая множество научно-исследовательских, испытательных и производственных предприятий.

Деятельность предприятий ОПК осуществляется посредством выполнения государственного оборонного заказа (ГОЗ), представляющего собой задание на поставки товаров, выполнение работ и оказание услуг для обеспечения обороны и безопасности РФ, а также в рамках военно-технического сотрудничества РФ с иностранными государствами.

Начальная (максимальная) цена контракта при размещении ГОЗ устанавливается Правительством РФ на этапе его формирования и при проведении конкурсного отбора может быть изменена лишь в меньшую сторону.

Цена по ГОЗ определяется исходя из величины обоснованных затрат на производство продукции и размера прибыли. Величина прибыли рассчитывается по формуле «1%+20%»: 1% накручивается на привлеченные затраты (покупные комплектующие, полуфабрикаты, работы и услуги сторонних организаций) и 20% - на собственные затраты (работы и услуги, выполняемые и оказываемые самой организацией).

Наличие лимита цены по ГОЗ оказывает влияние на установление цены по данной формуле. Превышение фактических затрат над запланированными в контракте будет вызывать уменьшение цены (за счет сокращения прибыли), так как такие превышения заказчиками по ГОЗ не оплачиваются. Если же фактические затраты оказываются ниже запланированных, цена и прибыль по контракту пересматриваются в сторону уменьшения.

Грамотный и точный расчет плановых затрат с минимальной погрешностью позволит минимизировать риск возникновения фактических отклонений при выполнении заказа и обеспечить максимальную рентабельность и прибыльность заказа.

В свете данного обстоятельства становится актуальным вопрос о совершенствовании и поиске новых инструментов контроля затрат на стадии их планирования.

Учет затрат на предприятиях, выполняющих ГОЗ, осуществляется отдельно по каждому виду продукции с калькуляцией полной себестоимости (позаказным методом).

Калькулирование себестоимости осуществляется по строгому перечню калькуляционных статей, закрепленных Приказом № 200.

Также на предприятиях ОПК военными представительствами устанавливаются нормативы распределения накладных расходов, свыше которых они не могут быть отнесены на себестоимость продукции.

В настоящее время российским законодательством регулируется лишь договорная составляющая контракта, заключаемого в соответствии с ГОЗ. Ведение же учета затрат на предприятиях ОПК регламентируется общеустановленными правилами учета, не учитывающими особенностей данной отрасли. Однако предприятия ОПК могут самостоятельно разрабатывать внутренние методические рекомендации.

Российское учетное законодательство довольно жестко регулирует порядок бухгалтерского учета, не позволяя предприятиям осуществлять достаточный контроль затрат.

В свете данного обстоятельства актуальность приобретает развитие внутри предприятия системы управленческого учета.

Отсутствие нормативного регулирования и наличие множества учетных методик дает возможность предприятию внедрить такую учетную систему, которая, учитывая специфику оборонной отрасли и производственного процесса, позволила бы организовать должный контроль, эффективное управление затратами и их качественное планирование.

Научный руководитель: профессор Подолянец Лада Авенировна

**К.А.ЧАЩИН**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ПРОЕКТ КОМПЛЕКСА ВНУТРИРУДНИЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ДОБЫВАЕМОЙ РУДЫ НА ЯКОВЛЕВСКОМ РУДНИКЕ**

В работе представлен распределительно-усреднительный комплекс, позволяющий в пределах участка отделить руду, которую возможно сразу транспортировать на металлургический передел ( $C_{Fe} > 65\%$ ), а также усреднять содержание полезного компонента в более бедной руде. Управление качеством руды на Яковлевском месторождении осложнено непостоянством минерального состава рудной залежи. Разделение происходит за счет физико-механических свойств руд Яковлевского месторождения за счет процесса грохочения руды. Руда с большим содержанием железа ( $C_{Fe} > 65\%$ ), как более рыхлая (менее прочная) составляет мелкие фракции и, проходя через грохот, попадает в рудоспуск, из которого будет транспортирована на металлургический передел. Руда с меньшим содержанием железа ( $C_{Fe} < 65\%$ )

транспортируется в усреднительный бункер, в котором происходит равномерное заполнение объемов бункера и образование наклонных слоев руды с разным содержанием полезного компонента. Вследствие выпуска руды из усреднительного бункера происходит стабилизация содержания ПК в общем рудопотоке. Усредненная руда транспортируется на обогатительную фабрику для дальнейшего обогащения. Данный комплекс мер позволяет снизить объемы поставляемой руды, требующей обогащения и избежать смешивания пригодных для металлургического передела богатых руд с общим грузопотоком. Для реализации данной схемы требуется проходка дополнительного ствола.

Научный руководитель: старший преподаватель Васильев В.Е.

**А.А. ШАЙДУЛИНА**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **АЛЮМИНАТНЫЙ РАСТВОР ГЛИНОЗЕМНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ КАК СЫРЬЁ ДЛЯ СИНТЕЗА ЦЕОЛИТОВ**

На сегодняшний день в мировой практике традиционным сырьем для производства глинозема являются бокситы. Порядка 90% запасов бокситов добывается в странах тропического и субтропического пояса. Объем добычи отечественных бокситов составил порядка 6,2 млн. т (на первое полугодие 2016 года). Российские бокситы имеют низкое качество сырья, руда отличается малым содержанием алюминия и присутствием посторонних примесей. Для России обеспечение отечественной алюминиевой промышленности собственным сырьем для производства глинозема чрезвычайно важно.

Единственным выходом в сложившейся ситуации может быть повышение комплексности использования отечественного сырья, с получением дополнительной товарной продукции с высокой добавочной стоимостью. Так, например, на глиноземном заводе Индии с использованием алюминатных растворов переработки бокситов было налажено производство цеолита А. Данное направление является весьма перспективным для отечественной промышленности. С точки зрения нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности большой интерес представляет разработка технологии получения синтетических цеолитов типа А, X, Y и морденита.

Одним из крупнейших комплексов по производству глинозема из нефелинового сырья в Ленинградской области является ПАО «Пикалевский глиноземный завод». На основе промышленных данных, авторами был приготовлен синтетический алюминатный раствор ( $[Al_2O_3]=70\text{г/л}$ ) с добавлением известного количества жидкого стекла. Смесь тщательно перемешивали и выдерживали под давлением в интервале температур 80- 110°C. По результатам рентгеноструктурного анализа было подтверждено наличие монофазы цеолита NaA. В дальнейшем авторами планируется провести синтез цеолита типа А с использованием промышленного алюминатного раствора и исследовать полученные образцы на возможность применения их в качестве осушителей для органических жидкостей.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Кондрашева Н.К.

**Е.Р. ШАФХАТОВ, А.А. ШТЫКОВ**

*Санкт-Петербургский Горный университет*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАБОЙНЫМ ЭЛЕКТРОПАРОГЕНЕРАТОРОМ ДЛЯ ДОБЫЧИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ**

Природный газ, в частности метан, может быть получен из газовых гидратов - крупнейших неиспользованных резервуаров энергии. В данной работе рассмотрен тепловой метод добычи метана из гидратов.

Для осуществления тепловых методов обработки пластов в горном университете разрабатывается электротехнический комплекс на основе забойных электротепловых генераторов. Комплекс состоит из наземной и подземной части. Наземная представлена генерирующим агрегатом, ЛЭП, насосом с водоподающей трубой и системой управления электротермическим комплексом. Подземная состоит из электротеплового генератора, закреплённого на конце колонны НКГ. Он состоит из корпуса, в котором через определенные промежутки расположены фазные электроды, помещенные во фторопластовый стаканы. Рабочую жидкость подают с поверхности насосом из емкости по водоподающей трубе.

Напряжение от генерирующего устройства через линию передачи, тиристорный регулятор напряжения по силовому кабелю через вводное устройство подается по центральному токовому на фазные электроды.

троды. От фазных электродов к нулевому электроду (роль которого выполняет корпус) потечет ток, вызывая тем самым нагрев токопроводящей жидкости и её испарение.

Для своевременной диагностики и контроля процессов нагрева, парообразования и паротепловой обработки необходима разработка системы автоматики. Для проверки системы управления создана имитационная модель в среде Simulink MatLab. В модели реализовано совместное управление током нагревательных элементов и расходом воды, что позволяет создать эффективную ресурсосберегающую технологию тепловой обработки призабойной зоны пластов газогидратов.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Зырин В.О.

**В.В. ШИШКИНА**

*Санкт-Петербургский Горный Университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПОРТАТИВНОЙ КООРДИНАТНО-ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ЛАЗЕРНОГО ТРЕКЕРА *LEICA AT40X* В ОБЛАСТИ, БЛИЗКОЙ К ЗЕНИТУ**

В настоящее время широкое распространение для выполнения прецизионных работ в промышленности получили высокоточные координатно-определяющие системы, например, лазерные трекеры *Leica AT40x*. Практика показала, что при приближении визирного луча указанного прибора к зенитной области происходит снижение точности измерений. Этот факт ограничивает возможности трекера и заслуживает специальных исследований. Есть некоторые подходы к изучению данной проблемы [А.Б. Форбс, А. Левис, Б. Хьюгс], но они не привели, с нашей точки зрения, к эффективным решениям.

Целью настоящей работы является установление закономерностей изменения точностных характеристик при работе прибора в околозенитных направлениях. Важным этапом исследований явился поиск способов, направленных на минимизацию величины потери точности лазерного трекера при эксплуатации близ зенитной области.

Исследование точности выполнялось с применением высокоточного отражателя в сферическом корпусе и прецизионного масштабного жезла, расположенных в критических областях. В процессе исследований был выявлен характер возникающих погрешностей с использованием различных методик. В том числе, были определены способы, позволяющие повысить эффективность работы прибора.

Реализация исследований производилась на базе сервисного центра «IMS-Center» компании Hexagon Manufacturing Intelligence. Статистические данные были получены при работе с шестью приборами, прошедшими необходимую компенсацию. Программным обеспечением для управления системой трекера явилось интерфейсное ПО Tracker Pilot 40x.

Проведенные исследования необходимы для совершенствования методик измерения при выполнении высокоточных измерений близ зенитной области.

Доцент кафедры инженерной геодезии, к.т.н. Корнилов Юрий Николаевич

**К.А. ЯРОВАЯ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ПОКРЫТИЙ ГИДРОТРАНСПОРТНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В СРАВНЕНИИ СО СТАЛЬНЫМИ ТРУБОПРОВОДАМИ**

*Введение.* В процессе экспериментального определения шероховатости полиуретановых покрытий трубопроводов установлено, что величина физической шероховатости покрытий более, чем в четыре раза меньше шероховатости стальных трубопроводов, что приводит к снижению коэффициентов гидравлических сопротивлений, входящих в расчетную формулу удельных потерь напора – формулу Дарси-Вейсбаха. Сравнительные расчеты показывают, что применение полиуретановых покрытий гидротранспортных трубопроводов способствует снижению удельной энергии при гидравлическом транспортировании хвостов обогащения железной руды Качканарского ГОКа в 1,5 раза.

*Постановка проблемы.* Эффективность эксплуатации гидротранспортной системы можно оценить по величине удельной энергоёмкости процесса транспортирования



$$E = \frac{N}{q_{мс} L} = \frac{\rho_{см} g I_{см}}{3,6 \rho_{мс} c_{об}}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{т}\cdot\text{км}),$$

где  $N$  - мощность насосных установок, кВт;  $q_{мс}$  - производительность системы по твердому материалу, т/ч;  $L$  - расстояние транспортирования, км;  $\rho_{см}$ ,  $\rho_{мс}$  - плотность гидросмеси и твердого материала, соответственно, т/м<sup>3</sup>;  $I_{см}$  - потери напора по длине трубопровода, м вод. ст./м;  $c_{об}$  - концентрация твердых частиц в объеме гидросмеси.

Снижение потерь напора  $I_{см}$  приводит к уменьшению удельной энергоемкости гидротранспортной системы, т.е. к уменьшению затрат электроэнергии на привод насосов.

*Результаты.* На кафедре горных транспортных машин Санкт-Петербургского горного университета проводились экспериментальные исследования шероховатости поверхностей трубопроводов футерованных полиуретановым покрытием. Материал покрытия представлял собой полиуретан с твердостью поверхности по Шору – 83А, 85А и 90А. Измерения шероховатости производились с помощью специального прибора, SJ-210 – контактного профилометра. Измеренные значения шероховатости сравнивались с шероховатостью стальных труб, применяемых в системах гидротранспорта хвостовых пульп на Качканарском ГОКе. При сравнении значений шероховатости было установлено, что шероховатость полиуретановых покрытий более чем в 5 раз меньше шероховатости стальных труб. Были рассчитаны коэффициенты относительной и эквивалентной шероховатостей для трубопроводов с покрытием и без покрытия. Сравнительные данные расчетов показывают, что применение полиуретановых покрытий гидротранспортных трубопроводов способствует снижению удельной энергии при гидравлическом транспортировании хвостов обогащения железной руды Качканарского ГОКа в 1,5 раза.

*Вывод.* Установленные значения шероховатости поверхности полиуретановых покрытий, значения коэффициентов относительной шероховатости и расчетные значения удельных потерь напора подтверждают эффективность использования трубопроводов с полиуретановым покрытием внутренней поверхности в системах гидротранспорта хвостовых пульп

. Научный руководитель: д.т.н., профессор В.И. Александров

**В.В. ЯРОШЕНКО**

*Санкт-Петербургский Горный университет*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОБРУШЕНИЙ ОСНОВНОЙ КРОВЛИ НА АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКАХ ПО ПЛАСТАМ «ТРОЙНОЙ» И «МОЩНЫЙ» ВОРКУТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

В работе показан анализ влияния обрушений основной кровли на аэродинамические процессы на выемочных участках по пластам «Тройной» и «Мощный» Воркутского месторождения. В условиях высоких нагрузок на очистные забои, постоянного увеличения глубины ведения горных работ и метаносности разрабатываемых пластов вопросы управления газовыделением на выемочных участках являются весьма актуальными. Одной из предполагаемых гипотез загазирования очистной и примыкающих выработок является посадка основной кровли. Представлен анализ взаимосвязи обрушений основной кровли в режиме установившегося движения со всплесками концентрации метана вследствие поршневого эффекта выталкивания метанопылевоздушной смеси из выработанного пространства в очистную и примыкающие выработки. Построенная принципиальная расчетная схема зависания пород основной кровли в условиях пласта «Тройной» показывает возможность образования свободного пространства между обрушенными породами непосредственной кровли и зависающей консолью основной кровли. Образованная свободная полость является местом скопления метанопылевоздушной смеси с высокой концентрацией метана. Наиболее благоприятные условия для создания эффекта поршневого выталкивания наблюдаются на участках пласта «Мощный». На примере данного пласта было проведено математическое моделирование, которое показало, что энергии выталкивания метанопылевоздушной смеси из выработанного пространства недостаточно для того, чтобы нанести механические повреждения секциям механизированной крепи, но достаточно для того чтобы загазировать очистную выработку, что в последствии приводит к простоям. При проектировании схем управления газовыделением необходимо учитывать всплески концентрации метана вследствие эффекта поршневого выталкивания.

Научный руководитель: д.т.н., профессор О.И. Казанин

**А.Г. РОМАНОВ**

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск*

## **ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ**

В работе рассматривается вопрос применения полимерных материалов в газотранспортной сети с целью повышения её энергоэффективности.

Рассмотрены основные характеристики полиэтиленовых газовых труб, а также достоинства и недостатки применения в газовых сетях труб полиэтилена низкого давления. Автором выполнены расчеты, позволяющие произвести сравнение пропускной способности и основных эксплуатационных характеристик стального и полиэтиленового газопроводов. В качестве примера выполнен расчет для труб диаметров 219 мм стального газопровода и 250 мм полиэтиленового.

Проанализировано применение полимерных материалов в качестве внутреннего покрытия стальных труб с целью повышения энергоэффективности магистрального транспорта природного газа. Далее автором проведён сравнительный расчёт, в котором рассмотрены основные параметры, влияющие на пропускную способность магистрального газопровода без внутреннего покрытия и с внутренним покрытием. Дальнейшие расчёты выполнялись с учетом того, что при повышении пропускной способности сокращается нагрузка на газотурбинный газоперекачивающий агрегат, что в свою очередь приводит к значительной экономии топливного газа.

Анализ результатов выполненных расчетов позволил сделать вывод об эффективности применения полимерных материалов в газотранспортных сетях, что по своим технологическим, экономическим и экологическим показателям соответствует целям и приоритетам, сформулированным в Энергетической стратегии России.

Научный руководитель: Губайдуллин Марсель Григорьевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой транспорта, хранения нефти, газа и нефтегазопромыслового оборудования

**А.С. ДУЛЬЧЕНКО, А.Е. КАРУЛОВ**

*Сибирский государственный геодезический университет геосистем и технологий*

## **ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ**

Разработан и изготовлен пьезоэлектрический датчик для измерения давления в ударных и детонационных волнах. В качестве чувствительного элемента использована керамика ЦТС-19. Собственная частота датчика зависит от толщины пьезокерамики и присоединённого к ней защитного материала и лежит в диапазоне 200÷400 кГц. Для измерения давления в детонационных волнах, в целях защиты от теплового воздействия, пьезоэлемент защищается слоем эпоксидной смолы, солидола, масла или мембраной из изоляционного материала. Чувствительность датчика зависит от электрической емкости (размеров и материала) пьезоэлемента. Тарировка датчика заключается в измерении статистического давления в воде и динамического воздействия воздушной ударной волны в трубе. Конструкция датчика основана на работе Г.А. Дямина, А.В. Пинаева, А.С. Лебедева [1]. Подобные датчики использованы для измерения профилей давления в ударных и детонационных волнах в газовых, газопылевых и газожидкостных смесях.

Трудозатраты на полную сборку датчика составляют 5–6 дней, ориентировочная цена датчика с учетом токарной работы, стоимости латуни, пьезокерамики и работы составляет около 1000 – 1500 рублей за один датчик.

Научный руководитель: д.ф.-м.н., главный научный сотрудник, доцент А.В. Пинаев

**А.Е. КАРУЛОВ, А.С. ДУЛЬЧЕНКО**

*Сибирский Государственный университет геосистем и технологий*

## **СОЗДАНИЕ ПЫЛЕВОЙ ЗАВЕСЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГАШЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ И ДЕТОНАЦИОННЫХ ВОЛН**

Один из способов гашения взрывных и детонационных волн в метано-воздушной атмосфере, в том числе при наличии в ней угольной газозвеси (каменноугольные шахты) состоит в использовании химически инертных пылевых завес. Применительно к задаче создания пылевых заслонов в шахтных условиях отработана методика создания взвеси мелкодисперсной пыли в вертикальной ударной трубе при различных начальных давлениях воздуха  $P_0 = 0.1 \div 0.01$  МПа. Для трех фракций кварцевого песка с размерами частиц  $\delta = 250 \div 600, 120 \div 250, 90 \div 120$  мкм измерено распределение плотности пыли по высоте и определена среднеобъемная плотность пыли. Методика позволяет варьировать концентрацию и геометрические размеры облака до значений, позволяющих успешно гасить пламена, взрывные и детонационные волны.

Научный руководитель: д.ф.-м.н., главный научный сотрудник, доцент А.В. Пинаев

**А.М. БАРСУКОВА**

*Тюменский индустриальный университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СЕДИМЕНТАЦИОННОЙ ЦИКЛИЧНОСТИ ОТЛОЖЕНИЙ ПЛАСТА ПК<sub>1</sub> ЯМБУРГСКОГО УЧАСТКА ЯМБУРГСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Ямбургское нефтегазоконденсатное месторождение расположено на территориях Газовского и Надымского районов ЯНАО Тюменской области. Объектом исследований в данной работе являются отложения пласта ПК<sub>1</sub> Ямбургского участка.

Для корректного построения 3D модели необходимо выполнение детальной корреляции и последующее создание структурного каркаса с учетом седиментационной цикличности отложений, в противном случае нарушается схема нарезки слоев и распространение свойств в межскважинном пространстве.

Был проведен анализ изменения коэффициента пористости по разрезу, который указывает на повышение степени «мористости» пород к кровле, и вероятнее всего, нижняя часть пласта формировалась в континентальных условиях, а верхняя – в прибрежно-морских. Распределение частот коэффициента пористости по данным РИГИС имеет многомодальное распределение, что является основанием для разделения пласта ПК<sub>1</sub> на отдельные пачки для построения качественной 3D модели. И.С. Гутман и В.И. Пороскун отмечают, что отдельные пачки в сеноманском разрезе выделить можно, т.е. традиционное представление о сеноманском объекте как о залежи массивного типа, с почти изотропным строением, должно быть дополнено учетом факторов слоистости и вероятности деления на пачки.

Для изучения периодичности осадконакопления необходимо учитывать анализ фаций, разделять трансгрессивные и регрессивные циклиты. Также важным моментом выделения циклитов в разрезе осадочных толщ является оценка их чередования по гранулометрическому составу. В результате учета этих факторов можно считать обоснованным разделение пласта ПК<sub>1</sub> на отдельные пачки, а правильность проведенного разделения подтверждается нормальным распределением частот параметра пористости по РИГИС для выделенных пачек, так как этот вид распределения эмпирически установлен для большинства однородных литологических типов пород.

Научный руководитель: Казанцев Г.В., ассистент кафедры ГМНГ ТИУ

**Г.М. БЫСТРИЦКИЙ**

*ФГБОУ ВПО Тюменский индустриальный университет*

## **ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ СМЕТНОЙ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА СКВАЖИН**

В современных экономических условиях основным способом инновационного развития нефтяных компаний является эффективная инвестиционная деятельность, одним из направлений которой является строительство нефтедобывающих скважин. Ухудшение экономической обстановки в России, вызванное резким спадом мировых цен на энергоресурсы, обусловило концентрацию внимания как нефтяных компаний-заказчиков, так и специализированных подрядных организаций на вопросах, связанных с управлением стоимостью строительства скважин, что позволит её снизить и увеличит возможности маневра ресурсами и их экономии.

Целью исследования явилось развитие организационно-методического обеспечения ценообразования строительства скважин, обеспечивающее принятие управленческих решений по повышению эффективности инновационного развития нефтяных компаний. Для реализации поставленной цели были поставлены

следующие задачи: оценить применяемое нормативно-методическое обеспечение в области строительства скважин, изучить существующие принципы и подходы к формированию стоимости и себестоимости работ по строительству нефтяных скважин, а также обосновать необходимость внедрения системного подхода к процессу ценообразования. Практическое значение данной работы состоит в повышении качества проектно-сметной документации на строительство скважин в отечественных нефтяных компаниях, оптимизации использования всех видов ресурсов, прозрачности процесса ценообразования, а также в увеличении эффективности планирования капитальных вложений. Таким образом, развитие организационно-методического обеспечения ценообразования позволит установить единые подходы к сметному проектированию за счет достижения единства принципов и требований, упорядочения методических подходов, а также прозрачности процесса формирования стоимости строительства скважин, что в свою очередь обеспечит условия для инновационного развития нефтяных компаний.

Пленкина Вера Владимировна, д.э.н, профессор, заведующий кафедрой Менеджмента в отрасли ТЭК

**И.А. ЗОЛОТАРЁВА**

*ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет*

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ИННОВАЦИОННЫМ МЕТОДОМ**

Сменная режущая твердосплавная пластина при обработки материалов резанием испытывает как силовые, так и температурные нагрузки.

Исследования напряженно-деформированного состояния в сменных твердосплавных пластинах режущих форм показали, что напряжение растяжения  $\sigma_b$  являются опасными и располагаются по линии вдоль главного режущего лезвия.

В настоящее время создано много различных материалов, обладающих повышенными прочностными характеристиками, например материал «Графен».

Зная напряжение деформирования состояния, режущих пластин и прогнозируя поверхность их разрушения, графеновые нити следует располагать так, чтобы они воспринимали описанное напряжения и предотвращали разрушение инструментального твердого сплава через трещинообразование.

Применение материала «Графен» для режущих твердосплавных пластин существенно повысит прочность и соответственно работоспособность режущих инструментов.

Научный руководитель: Е.В. Артамонов, профессор, д.т.н, ФГБОУ ВО ТИУ.

**Д. КОБЫЛИНСКИЙ**

*ФГБОУ ВО Тюменский государственный нефтегазовый университет*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИЗОТОПНОГО КАРОТАЖА СКВАЖИНЫ С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ И ОЦЕНКИ ИХ СВОЙСТВ**

Наиболее актуальной проблемой современного нефтегазопроисводческого процесса является пропуск продуктивного интервала, это обусловлено недостаточностью традиционного каротажного комплекса, особенно в нетрадиционных коллекторах и при бурении наклонных и горизонтальных скважин, поэтому возникает необходимость в расширении комплекса ГТИ с целью получения геологической информации принципиально нового характера. В этой связи использование изотопических соотношений C, H, N, O, S, как диагностический признак при изучении газа дегазации промывочной жидкости в процессе бурения (изотопный каротаж) представляется в высшей степени целесообразным.

В последние годы нашими соотечественниками, а также зарубежными учеными были выполнены работы по изотопическому исследованию проб газа, отобранных на месторождениях Западной Сибири и сформулированы выводы о том, что изотопный анализ может значительно увеличить наше представления о характере насыщения горной породы, и дать обширную оценку свойствам продуктивных отложений, не завися от вторичных факторов.

Изотопный каротаж в процессе бурения основан на изучении изменения по стволу скважины изотопного состава газов, поступающих в промывочную жидкость в процессе разбуривания горных пород, а также включает в себя каротаж по шламу.

В интервалах, не запланированных под отбор кернa, но по общим геологическим критериям, которые могут быть продуктивны, планируется отбор шлама с последующей его дегазацией или экстрагированием более тяжелой фракции РОВ с последующим изотопным анализом

Исследования планируется проводить на базе учебно-научной геохимической лаборатории, которая является подразделением ТюмГНГУ, на изотопном масс-спектрометре Delta V Advantage.

При помощи изотопного каротажа решаются следующие прикладные задачи:

-Определение генезиса УВ, а также стадии зрелости РОВ с целью выделения в разрезе скважины продуктивных коллекторов и оценки их свойств.

-Определения флюидного режима заполнения ловушек на основе использования геохимии попутных нефтяных газов.

-Проводить корреляцию флюидов между скважинами.

-Проводить корреляцию в системе газ-нефть-кероген.

-Фациальный анализ и расчленение разновозрастных отложений.

#### Литература

1. Голышев С.И. Изотопный состав газов нефтяных и газовых месторождений // Стабильные изотопы в нефтегазовой и рудной геологии: Избранные труды. Новосибирск СНИИГГиМС – 2010. С. 163-165.

2. Galimov E.M. Sources and mechanisms of formation of gaseous hydrocarbons in sedimentary rocks // Chemical Geology. – 1988. – V. 71. – P. 77-95.

**А.О. ЛАРЧЕНКО**

*ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»*

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ ОЧИСТКИ СБРОСНЫХ ГАЗОВ С БЛОКА РЕГЕНЕРАЦИИ КАТАЛИЗАТОРА

Регенерация катализатора дегидрирования осуществляется в ряд стадий. В результате выжиг кокса с катализатора и его оксихлорирования образуются газы, содержащие в своем составе токсичные компоненты: хлор и хлороводород, диоксид серы. Сбросной газ перед попаданием в атмосферу очищается от токсичных компонентов на абсорбционной установке, состоящей из насадочных скрубберов, орошаемых раствором нейтрализации. В результате достигается высокая степень удаления вредных компонентов. Однако в работе установки имеются следующие проблемы, которые решаются в ходе проектирования: нестабильность температурного режима и образование отложений на насадках.

В ходе исследований рассматривается ряд способов очистки кислых газов, применяющихся в промышленности, включающих физическую и физико-химическую абсорбцию, адсорбцию, каталитическое и некаталитическое дожигание, конденсацию. Также рассматриваются перспективные способы: биофильтрация, мембранная фильтрация, селективное каталитическое восстановление. По итогам анализа технологических схем и параметров работы процессов делается вывод о широком применении и гибкости абсорбционных схем, обеспечивающих степень очистки от 80 до 99,8 %.

Нестабильность температурного режима подтверждается расчетным путем и средствами моделирования. Решение проблемы возможно двумя основными способами: интенсивным предварительным охлаждением в отдельном аппарате и прямым смешением с раствором нейтрализации.

Препятствование отложению солей и предотвращение таких отложений представляется собой важную задачу. Поиск решений разворачивается в двух областях: поиске оптимального режима работы аппаратов (в том числе нахождении состава и параметров раствора нейтрализации), при которых выпадение осадка исключается, а также анализе влияния различных видов и характеристик насадок на солеотложение.

Научный руководитель: Дерюгина Ольга Павловна, к.т.н., доцент

**А.А. ПОНОМАРЕВ**

*ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет*

## ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ МЕТОДА КОМПЬЮТЕРНОЙ МИКРОТОМОГРАФИИ В НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВОЙ ГЕОЛОГИИ

В настоящий момент актуальным направлением в цепочке петрофизических исследований кернa является подход под названием «Цифровой керн» или «Цифровая петрофизика». Однако большинство Рос-

сийских компаний нефтегазодобывающей промышленности предпочитают традиционные методы лабораторного анализа, в силу того что не имеют достаточно информации о возможностях данного подхода. В настоящей работе приводится имеющийся опыт использования метода компьютерной микротомографии в нефтегазопромысловой геологии, а так же рассматриваются перспективные направления ее использования. В частности, отмечается особая актуальность метода в исследовании горных пород с месторождений, относящихся к категории трудноизвлекаемых запасов: породы фундамента, баженовская, абалакская, ачимовская свиты. Приводится сравнение стандартных методов изучения фильтрационно-емкостных свойств и данных компьютерной микротомографии. Описываются преимущества и недостатки в сравнении со стандартными методами исследований.

Кроме прочего отмечается взаимосвязь с данными геофизических исследований скважин, на основании которых появляется возможность прогнозировать перспективные интервалы для перфорации и использовании материалов анализа при построении палеогеографических карт. Описывается возможность при проведении палеофациального анализа выделять не только фации, но и более мелкие временные условия осадконакопления – субмикрофации.

**С. С. ТАРАСОВА**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет»*

## **УТИЛИЗАЦИЯ БУРОВОГО ШЛАМА С ПОЛУЧЕНИЕМ ТЕХНОГЕННОГО ГРУНТА**

В работе представлен способ утилизации бурового шлама, как один из способов обращения с отходами бурения. В основу утилизации бурового шлама с получением техногенного грунта положено использование отхода промышленного производства – фосфогипса, в сочетании с агробиологическими элементами технологии. Исследования проводились на базе лаборатории кафедры «Техносферной безопасности» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», аккредитованной аналитической лаборатории АО «РАЦ» и лаборатории физики, химии и механики мерзлых грунтов, в соответствии с гостированными методиками. При внесении фосфогипса в буровой шлам понижался уровень водородного показателя от щелочной до слабощелочной среды, что связано с воздействием кислотности фосфогипса и нейтрализацией таким образом бурового шлама. Концентрация хлорид-ионов и сульфат-ионов при применении фосфогипса снижается на 76% и 83% соответственно. Содержание тяжелых металлов (мышьяк, свинец, кадмий, медь, ртуть) в изучаемых образцах находилось ниже уровня ПДК (ОДК) химических веществ в почве. Результаты исследований гранулометрического состава и коэффициента фильтрации бурового шлама (контроль) и полученного техногенного грунта показали, что происходит градация грунта из водонепроницаемого до слабоводопроницаемого. Применение сорбентов в ходе утилизации бурового шлама позволяет снизить содержание нефтепродуктов на величину до 90%. Проектное покрытие на полученном техногенном грунте сеяным фитоценозом составило 100 %. В последующем полученный техногенный грунт возможно складировать в теле кустовых площадок или применять для рекультивации производственной и вспомогательной инфраструктуры, нарушенных земель временного и постоянного отвода.

Научный руководитель: к.б.н., доцент кафедры техносферная безопасность Е. В. Гаевая

**Е.А. ФИЛИСТЕЕВА**

*Тюменский индустриальный университет*

## **ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СБОРНОГО СВЕРЛА СО СМЕННЫМИ ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ПЛАСТИНАМИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЛЬС**

Ресурс железнодорожных рельсов зачастую зависит от физико-механических свойств стали, из которой они изготовлены. Для сверления отверстий для стыкового соединения железнодорожных рельс используется автономный переносной рельсосверлильный станок СТР – 2, который может работать как в условиях путевой части или путевой машинной станции, так и в полевых условиях во время «окон».

В качестве режущего инструмента используется сверло. Ранее использовавшиеся сверла из быстрорежущей стали оказались неподходящими, поскольку стойкость у них крайне мала. Исходя из этого, инструментальная промышленность России стала разрабатывать и изготавливать сборные сверла со сменными пластинами из твердого сплава для сверления отверстий в рельсах.

Однако, сменные режущие твердосплавные пластины зачастую выходят из строя в результате выкрашивания или откола режущего лезвия после установленного ресурса.

Поэтому улучшение конструкции сборного сверла, оснащенного сменными твердосплавными пластинами с целью повышения работоспособности сборного инструмента, является актуальной задачей.

Целью магистерской диссертации является повышение работоспособности сборного сверла на основе исследования напряженно-деформированного состояния сменных пластин.

Для достижения поставленной цели необходимо решить задачи:

- провести анализ состояния вопроса по теме;
- исследовать влияние форм, схем крепления и базирования сменных пластин на их напряженно-деформированное состояние;
- исследовать влияние изменения нагрузки, в условиях радиального биения;
- практическое применение разработанных ранее конструкций сменных твердосплавных пластин в сборных сверлах повышенной работоспособности.

В результате работы создана конструкция сборного сверла со сменными разработанными режущими твердосплавными пластинами повышенной прочности. Таким образом, повышение работоспособности сборного сверла достигается путем снижения опасных напряжений растяжения в пластинах и вследствие увеличения их прочности.

Научный руководитель Артамонов Евгений Владимирович, профессор, д.т.н.

**А.А.ФРОЛОВ**

*ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет*

## **ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЕДИНОЙ ТРЕХМЕРНОЙ СЕТКИ ДЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

Основными задачами трехмерного геологического моделирования являются: детальный подсчет начальных запасов УВ, оценка неопределенностей и рисков, обоснование КИН и систем разработки, локализация остаточных запасов, проектирование скважин, МУН и ГТМ. Однако только первые две задачи могут быть решены с помощью геологической модели (ГМ). Решение остальных возможно только на базе гидродинамической модели (ГДМ), основанной на детальной ГМ. Стандартно переход от ГМ к ГДМ проводится при помощи процедуры «upscaling» (UpS), направленной на уменьшение количества узлов трехмерной (3D) сетки ГМ для сокращения времени гидродинамических расчетов и оптимизации соотношения пространственного и временного масштабов. Опыт работы мультидисциплинарных групп показал, что UpS имеет ряд существенных недостатков: процедура требует много времени, взаимодействие «геолог - гидродинамик» при настройке и адаптации ГДМ невозможно в режиме реального времени, специалист по гидродинамическому моделированию не может самостоятельно вносить изменения в модель с использованием графа моделирования, созданного геологом. В работе рассматривается целесообразность создания единой 3D сетки для ГМ и ГДМ, что позволит не проводить UpS. Критерием данной задачи является соблюдение баланса между сохранением детальности ГМ, позволяющей отображать основные особенности геологического строения моделируемого объекта, и количеством ячеек, при котором возможно построение ГДМ. Автором разработан алгоритм обоснования оптимальных параметров единой 3D сетки по результатам вычислительного эксперимента, в ходе которого изменялся вертикальный размер ячеек сетки от 0,4 до 2 м через 0,2 м. Созданы две ГМ пластово-сводовой залежи нижнемелового пласта одного из месторождений севера ЯНАО - с 3D сеткой стандартной размерности, требующей проведения UpS, и единой 3D сеткой. Эффективность последней подтверждена результатами гидродинамических расчетов.

Научный руководитель: к.г.-м.н., доцент А.А. Забоева

**А. В. ШЕВЕЛЁВА**

*ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»*

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ НАСОСОВ НА СИСТЕМУ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КУСТОВ СКВАЖИН**

В настоящее время не существует общепризнанных методик расчета искажения токов и напряжений в сетях электроснабжения нефтедобывающих предприятий с нелинейной нагрузкой и методов оптимального

выбора фильтрокомпенсирующих устройств. Ряд исследователей предлагает проводить их выбор после обследования сети электроснабжения. Однако искажения оказывают серьезное негативное влияние на срок службы электрооборудования и на стабильность работы нефтедобывающих предприятий в целом, поэтому их расчеты выбор фильтрокомпенсирующих устройств на этапе проектных работ является более предпочтительным вариантом.

В работе приведены результаты исследования существующих математических моделей сетевых токов регулируемого электропривода. Установлено, что данные модели не учитывают в полной мере характеристики системы электроснабжения и режимы работы погружных электродвигателей, что значительно снижает точность расчетов и не позволяет использовать их для анализа систем электроснабжения нефтедобывающих предприятий. Разработана математическая модель гармонического состава сетевых токов регулируемого электропривода нефтедобывающего погружного центробежного насоса при работе в системе электроснабжения куста скважин. Для определения величины и характера искажений тока в ключевых точках системы электроснабжения предложен алгоритм и методика расчета. Показано хорошее соответствие полученных результатов имитационному моделированию системы электроснабжения куста скважин и результатам измерений на реальном объекте.

Также при помощи разработанной математической модели проанализированы способы снижения уровня нелинейных искажений тока в системе электроснабжения кустов нефтедобывающих скважин, определены их достоинства, недостатки и установлены границы технической эффективности их применения.

Научный руководитель: канд. техн. наук. Г. А. Хмара, аспирант Е. М. Костоломов

**А.У. ЯКУПОВ**

*Тюменский индустриальный университет*

## **АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОРОВ**

В работе проведено исследование проблем защиты многолетнемерзлых пород от воздействия тепла. Проанализирован многолетний Российский и зарубежный опыт применения средств термостабилизации многолетнемерзлого грунта. Для сохранения в мерзлом состоянии (термостабилизации) грунтов в свайном основании применяют трубчатые, погружные жидкостные, либо парожидкостные устройства – термостабилизаторы (индивидуальные сезоннодействующие охлаждающие устройства «СОУ»). Проведен патентный поиск на выявление эффективной конструкции термостабилизатора. Выявлены: поперечно-оробренный термостабилизатор – активно используемый в промышленности и продольно-оробренный термостабилизатор повышенной мощности, но не используемый из-за сложности изготовления и больших металлозатрат.

Разработана конструкция термостабилизатора. Для проверки эффективности разработанной конструкции термостабилизатора была предложена и реализована расчетная схема: модель грунта, учитывающая тепловое воздействие от окружающей среды. Проведен численный эксперимент с моделированием температурного режима в программном комплексе COMSOL, путем численного решения дифференциального уравнения теплопроводности, методом конечных элементов. Результаты численного эксперимента с использованием программного комплекса COMSOL показали, что применение предложенной конструкции увеличивает зону промораживания грунта вокруг нижней части охлаждающего устройства.

Проведен натурный эксперимент. Было проведено сравнение разработанной конструкции и поперечно-оробренного термостабилизатора. Натурный эксперимент выявил эффективность разработанной конструкции термостабилизатора.

Научный руководитель: к.т.н., доцент К.С. Воронин

**Е.А. ТУРЧАНИНОВА**

*Уральский Государственный Горный Университет*

## **ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ РОССИИ В ВУЗАХ СТРАНЫ И ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Нам представляются следующие основные экономические механизмы инновационного развития в России и их реализации в целом.

Отсутствие значительного спроса на Российские инновационные разработки и технологии из-за нехватки современной материально-технической базы сектора науки.

Развитие российского образования в инновационной структуре и соответствие современным требованиям материально-технической базы вузов Российской Федерации.



Несовершенство законодательной базы, как увеличение рисков ведения бизнеса, который в свою очередь уже считается высокорисковым, что отражается на объемах инвестирования негосударственного сектора.

Инновационная деятельность предприятий Российской Федерации. Повышение на предприятиях качества интеллектуальных ресурсов, формирование организационно-экономических механизмов на предприятиях.

Научный руководитель: д.э.н., Перегон И.В.

**Я.А. ХОХЛОВА**

*Уральский государственный горный университет*

## **ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ОТСУТСТВИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ НА СТАДИИ ИХ РАЗРАБОТКИ**

В работе рассматриваются основные причины отсутствия успеха в реализации технологических инновационных проектов, которые не оказывают ожидаемого влияния на экономическое развитие РФ.

1. Большинство проектных команд, создающих инновационные проекты технологической направленности, рассматривают свой проект только с точки зрения создания новой технологии, открытия, не учитывая при потребности рынка, потребности компаний, в связи с этим, они не обращают внимания на конкурентные преимущества своего продукта.

2. Как правило, большинство перспективных инновационных технологических разработок не доходят до стадии реализации, так как в большинстве случаев команды хорошо представляют свою технологическую часть, но они не понимают, как сформировать ценностное предложение и как «упаковать» свои технологии в соответствии с бизнес-логикой корпораций, интересы которых в первую очередь направлены на минимизацию рисков и получение наибольшей экономической выгоды.

3. Отсутствие постоянного диалога с ведущими корпорациями в отрасли так же тормозит инновационное развитие. Предлагаемые разработки не рассматриваются с точки зрения соответствия приоритетным стратегиям развития для компаний. Так же стоит отметить, что большинство инновационных проектов можно трансформировать таким образом, чтобы проект нес ценность для корпораций.

4. Реализация большинства технологических инноваций невозможна без привлечения частных инвесторов, венчурных фондов или сотрудничества с промышленными партнерами. В связи с этим при отсутствии прозрачной бизнес-модели проекта, которая будет отражать экономические выгоды для инвестора получить необходимые инвестиции невозможно. Проблема заключается в том, что, в большинстве случаев, в команде, создающей инновационные разработки технологической направленности, отсутствуют компетентные специалисты, способные показать все наилучшие экономические выгоды от реализации проекта.

**А.И. АЛИБАЕВ**

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

## **РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ГЕРБИЦИДА 2,4-Д**

Применение пестицидов было и остается одним из основных путей интенсификации сельскохозяйственного производства. Гербициды на основе арилоксикарбоновых кислот и их производных являются наиболее используемыми препаратами для защиты зерновых культур во всем мире.

Соединения группы 2,4-дихлорфеноксикарбоновых кислот (2,4-Д) являются самыми активными гербицидами и, следовательно, наиболее широко используются. 2,4-дихлорфеноксиксусную кислоту получают хлорированием фенола и последующей конденсацией 2,4-дихлорфенола с натриевой солью монохлорфеноксусной кислоты в присутствии гидроокиси натрия. Однако данная технология имеет существенный недостаток с экологической точки зрения – это образование высокотоксичных хлорированных полихлордибензо-п-диоксинов. Хлорирование феноксиксусной кислоты позволяет создать экологически безопасный способ получения 2,4-дихлорфеноксиксусной кислоты, ее производных и смесевых препаратов

В работе предлагается разработка экологически обоснованной технологии получения 2,4-дихлорфеноксиксусной кислоты, позволяющей снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.

Разработанная технология получения гербицида 2,4-Д, осуществляемая в мягких условиях, может найти применение ввиду отсутствия в России производств гербицидных препаратов группы 2,4-Д. НИТИГ производят исследовательские и технологические работы по созданию опытного производства получения 2,4-Д, ее эфиров и смесевых препаратов на ее основе, используя в качестве сырья феноксиуксусную кислоту.

В настоящем представлены результаты исследований по изучению влияния катализаторов на реакцию хлорирования ФУК в среде растворителя, а также приводятся данные по влиянию C<sub>7</sub>-C<sub>9</sub> спиртов при хлорировании эфиров ФУК.

Научный руководитель: кандидат химических наук, доцент И.Ф. Туктарова

**Н.А. БАЙТЕНОВ**

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

## **РАЗРАБОТКА ДОБАВКИ ДЛЯ САМОВОССТАНОВЛЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ**

Повышение качества крепления скважин является одной из важнейших и сложнейших проблем. Важность качественного цементирования обусловлена тем, что это заключительный этап строительства скважин, поэтому неудачи, при его выполнении, могут привести к негерметичности цементного кольца, которые образуются в процессе межпластовых перетоков и образовании флюидопроводящих каналов в камне.

Одна из самых больших проблем при креплении, является тот факт, что цементный камень может давать трещины: как во время высыхания, так и при перфораций. Поэтому разработка самовосстанавливающегося тампонажного материала, позволяющих цементному камню самовосстанавливаться, сейчас является очень перспективным направлением деятельности в нефтегазовой отрасли.

Как показали исследования многих ученых, подтвержденные практикой, качество цементирования скважин значительно повышается при применении добавок, которые способствуют самозалечиванию цементного камня. Принцип получения данного эффекта состоит во взаимодействии добавок с пластовой водой или с продуктами гидратации после затвердевания цементного камня. Одним из таких возможных добавок является реагент КД разработанная компанией ООО «Цементные технологии».

Поэтому было очень важно рассмотреть влияние данного реагента на свойства цементного раствора и камня. А именно на: плотность, растекаемость, реологические свойства цементного раствора и на прочностные характеристики цементного камня.

Исследованиями, проведенными в лаборатории УГНТУ для определения действия реагента КД на прочность цементного камня, показало, что реагент КД не влияет на прочностные характеристики цементного камня при различных сроках твердения. При исследований действия реагента КД на плотность и растекаемость цементного раствора использовались различные концентраций реагента от 0 до 5%. Результаты показали, что действия реагента на плотность и растекаемость цементного раствора незначительна.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Ф.А. Агзамов

**И.Е. БЕЛАЙ**

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

## **ЭКОНОМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ВЫБОРА НАПРАВЛЕНИЙ ДИВЕРСИФИКАЦИИ НЕФТЕСЕРВИСНЫХ КОМПАНИЙ**

В настоящий момент в России существует большое количество нефтесервисных компаний, предоставляющих нефтяным компаниям большой спектр услуг. В ходе проведенного анализа было выявлено, что российские нефтесервисные компании преимущественно придерживаются политики связанной диверсификации, предполагающей развитие в одном направлении. В краткосрочной перспективе эта политика является наиболее эффективной, что обусловлено сложностью управления разными сегментами деятельности в рамках одной компании. Контроль несвязанных между собой направлений затрудняет возможность своевременно реагировать на изменения экономической и политической ситуации в мире. Однако данная политика является менее перспективной с точки зрения долгосрочного развития. Российские нефтесервисные компании ограничиваются предоставлением базовых услуг на нефтесервисном рынке, а основная конкуренция ведется по цене. С одной стороны это позволяет экономить нефтяным компаниям на сегменте upstream, но с другой стороны, это препятствует инновационному развитию российского нефтесервиса.

В условиях роста трудноизвлекаемых углеводородов в общей структуре добычи нефти, проблема инновационности в нефтесервисе встает не первое место. Говоря об инновационных решениях, стоит пояс-

нить, что под данным термином понимается возможность комплексного удовлетворения всех требований заказчика с наименьшими издержками. Западные компании владеют достаточным количеством компетенций и ресурсов для предоставления достойного уровня услуг практически в каждом направлении и имеют высокий уровень диверсификации. По этой причине, российскому нефтесервису тяжело конкурировать с крупными западными игроками.

Целью исследования является создание механизма комплексной оценки и выбора наиболее эффективных направлений диверсификации нефтесервисных компаний в нестабильных условиях. Разработанный механизм позволит компаниям диверсифицировать свой продуктовый портфель с наименьшими рисками потери управляемости или финансовой стабильности. Все это в перспективе позволит российским нефтесервисным компаниям предоставлять высококачественные комплексные услуги, достойно конкурирующие с западными игроками.

**Г.И. КАРИМОВА**

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

## **АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ КОМПАУНДИРОВАНИЯ СЕРНИСТЫХ НЕФТЕЙ**

Нефти, добываемые в различных регионах и месторождениях, существенно отличаются по качеству. В то время как особенности расположения регионов добычи и конструкция существующей нефтепроводной сети не позволяют транспортировать нефть от конкретных месторождений в пункты потребления с сохранением их первоначального состава и свойств. Система магистральных нефтепроводов технологически может обеспечить транспортировку нефти только в смеси, управление качеством которой является актуальной на сегодняшний день проблемой и решается преимущественно за счет компаундирования.

Так как для основных добывающих регионов страны Западной и Центральной Сибири - характерны месторождения с малосернистой и сернистой нефтью, для реализации которых активно применяется практика компаундирования, работа посвящена изучению процесса компаундирования сернистых нефтей. В рамках исследования выполнен технологический расчет параметров компаундирования, разработаны номограммы, помогающие выбрать необходимые параметры смешения сернистых нефтей, разработан алгоритм расчета объема подкачек высокосернистых нефтей в системе компаундирования. Кроме того, выполнен анализ основных, необходимых для транспорта физических свойств полученных смесей сернистых нефтей, и разработаны методики, позволяющие прогнозировать и определять их. Результаты, полученные в работе, могут быть актуальны при мониторинге и управлении качеством потоков полученных при смешении сернистых нефтей.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Л.Р. Байкова

**Р.Н. ГАЛИМЗЯНОВ**

*ФГБОУ ВО Уфимский государственный нефтяной технический университет*

## **СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ЗА СЧЁТ ВНЕДРЕНИЯ РОБОТОТЕХНИКИ**

Актуальность и практический аспект данной работы связаны с тем, что в мире все большее распространение получают автоматизация производственных процессов и робототехника. Учитывая современную макроэкономическую ситуацию (введение санкций по отношению к РФ, падение цен на нефть), а также потенциальное снижение запасов нефти и газа, увеличение доли работы с трудноизвлекаемыми запасами, учащение деятельности в районах с суровым климатом и на шельфе, компании будут вынуждены искать инновационные пути повышения эффективности производства, в том числе за счёт применения робототехнических технологий.

В исследовательской части работы был проведен стратегический анализ применения робототехники в мировой и отечественной промышленности, в том числе в нефтегазодобывающих предприятиях (НГДП), на основе которого были сформированы основные направления применения робототехники нефтегазовой отрасли.

Исследование среднесрочных трендов робототехники, используемой в НГДП, показал наличие большого потенциала для применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и роботов для внутритрубной диагностики. В долгосрочном периоде в целях повышения эффективности деятельности и освоения труднодоступных месторождений нефти и газа ожидаются более глобальные изменения: применение робототехники в основных производственных процессах, в частности «интеллектуальные» месторождения, SMART-НПЗ.

В работе были построены прогнозы объемов рынка услуг БПЛА в НГДП, которые легли в основу сценариев при разработке стратегического плана. Рассмотренные услуги беспилотных систем для мониторинга трубопроводов обладают высокими темпами роста, низкой конкуренцией среди поставщиков. Данный сценарий и условия на рынке в той или иной мере будут справедливыми и для других роботизированных технологий.

Научный руководитель: Буренина Ирина Валерьевна, д.э.н., профессор.

**В.С. КУНТЫШЕВА**

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ НА ТЕРРИТОРИИ Г. УФА МЕТОДОМ БИОИНДИКАЦИИ**

Актуальность выбранной темы определена необходимостью оценки качества окружающей природной среды г. Уфа, которая подвержена загрязнению выбросами промышленного комплекса и автомобильного транспорта.

Экологический мониторинг среды проводился с использованием метода биоиндикации по флуктуирующей асимметрии (ФА) березы повислой (*Betula pendula*). Флуктуирующая асимметрия (ФА) представляет собой случайные незначительные отклонения от симметричного состояния билатеральных морфологических структур, обусловленные стохастичностью молекулярных процессов, лежащих в основе экспрессии генов (онтогенетическим шумом). Величина флуктуирующей асимметрии возрастает при действии любых стрессовых факторов среды, которые приводят к усилению онтогенетического шума, нарушению стабильности морфогенеза листа, и как следствие, увеличению его асимметрии.

Для выяснения тенденции изменения состояния среды на территории г. Уфа работы по наблюдению за флуктуирующей асимметрией березы повислой проводились в 2014 и 2016 годах на территориях Орджоникидзевского, Калининского, Октябрьского, Советского, Кировского и Демского районов г. Уфа на 28 площадках сбора материала с интенсивным движением автотранспорта. Проведенные исследования показывают, что на многих обследованных площадках величина ФА листа березы повислой увеличилась, что, вероятно, связано с ростом количества автотранспорта.

По результатам исследования сделан вывод, что состояние среды в обследованных районах города в основном ухудшилось и характеризуется как несоответствующее норме – со средним и существенным от нее отклонением, что неблагоприятно отражается на развитии организмов и жизнедеятельности людей.

Научный руководитель: с.н.с., доцент А.И. Ильясова

**Р.И. ФАТИХОВ**

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫТЕСНЕНИЯ БУРОВОГО РАСТВОРА ЦЕМЕНТНЫМ В ПРОЦЕССЕ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ И С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЯЗКО-УПРУГИХ БУФЕРОВ**

При цементировании скважин, особенно при прямой промывке, в трубном и кольцевом пространстве последовательно друг другу могут двигаться несколько жидкостей, при этом происходит смешение этих жидкостей. Тампонажный раствор смешивается с буферной жидкостью, с буровым раствором и продавочной жидкостью. В связи с этим происходит снижение качества цементирования. Уменьшается сцепление цементного камня с горной породой, снижается прочность цементного камня, изменяются сроки схватывания.

К мерам повышения вытеснения стоит отнести выбор режимов течения жидкостей в кольцевом пространстве в зависимости от диаметра скважины и обсадной колонны. Необходимый режим достигается

оптимальной скоростью закачки жидкостей, а так же правильным подбором реологических параметров бурового и тампонажного растворов.

Также эффективным решением, получившим широкое распространение в процессе цементирования скважин является применение вязко-упругих буферных растворов. Использование таких разделителей эффективно предупреждают образования смеси цементного и бурового раствора.

В литературе встречаются материалы, касающиеся данной темы, но в данной работе, опытным путем, была получена количественная оценка зависимости режима закачки растворов и применения вязко-упругого буфера на коэффициент смешения жидкостей.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Ф.А. Агзамов

**Н.С. БАЖЕНОВ**

*ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАЕКТОРИЕЙ НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННОЙ СКВАЖИНЫ НА ЮЖНО-ЛИСТВЕНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ В УСЛОВИЯХ БУРЕНИЯ ПЛАСТОВ С РЕЗКИМ РАЗЛИЧИЕМ ГЕОЛОГО- ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

В работе рассматривается проблема обеспечения проектной траектории скважин с большими радиусами искривления. Во время бурения участка набора параметров наклонно-направленной скважины возникают осложнения в виде отклонения её траектории от проектной по ряду причин: осевая нагрузка на долото, бурение слоистых пород, залегающих негоризонтально, и неправильно подобранные габариты компоновки низа буровой колонны.

Существуют способы решения проблемы отклонения траектории скважины от проектной, например, с применением жестких компоновок. Чтобы увеличить жесткость компоновки, можно установить один или несколько центраторов на корпусе забойного двигателя. Однако это может вызвать осложнение в виде образования желобов, которые характерны при бурении скважин с большими радиусами искривления.

В результате проведенных исследований выявлена зависимость между геометрическими параметрами бурового оборудования и интенсивностью искривления скважины.

В данной работе предлагается КНБК для бурения участка набора параметров наклонно-направленной скважины на Южно-Лиственском месторождении и обосновывается её выбор на основе расчёта геометрических параметров.

Научный руководитель: доцент И.А. Галикеев, ассистент А.А. Шумихин.

**А.В. ВЛАДИМИРОВ**

*ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»*

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ СКВАЖИН НА ОШВОРЦЕВСКО – ДМИТРИЕВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ КИСЛОТНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА (КГРП) БЕЗ ПРОППАНТА**

В работе рассматривается проблема сохранения раскрытости трещины и высокой продуктивности скважин после проведения кислотного ГРП без применения проппанта. Для решения данной проблемы были поставлены и решены следующие задачи: выявление факторов, влияющих на раскрытость трещины; исследование способов сохранения раскрытости трещины; разработка рекомендаций по совершенствованию технологии КГРП.

При воздействии кислотной жидкости разрыва (нефтекислотной эмульсии) на карбонатные породы происходит их растворение и образование шероховатости на поверхности трещины. В настоящей работе установлено, что шероховатость стенок трещины возрастает при увеличении концентрации кислоты в нефтекислотной эмульсии, но наряду с этим возрастает время распада эмульсии. В работах Мусабинова М.Х. показано, что при заданном времени жизни жидкости разрыва, равном 1 сутки, концентрация соляной кислоты в жидкости разрыва соответствует 2%, что недостаточно для формирования шероховатости стенок трещины. Из работ Мирсаеова О.М. известно, что скорость растворения выделенных типов известняков различаются от 1,875 г/см<sup>2</sup>·ч до 15,56 г/см<sup>2</sup>·ч при увеличении концентрации соляной кислоты от 12% до

15%, соответственно, шероховатость, при этом, так же увеличивается. Увеличение концентрации соляной кислоты в нефтекислотной эмульсии может быть достигнуто путем электрохимического воздействия на эмульсию. При этом время жизни, равное 1 сутки сохраняется.

В результате проведенных исследований на образцах керна с данного месторождения была получена зависимость шероховатости от концентрации и времени распада нефтекислотной эмульсии и рекомендация по совершенствованию технологии КГРП.

Научный руководитель: к.т.н., доцент О.М. Мирсаетов

**Д.Ю. ИЛЬИНСКИЙ**

*ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»*

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОЦИКЛИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК СКВАЖИН ГРЕМИХИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

В работе рассмотрена проблема снижения прироста дополнительной добычи нефти с увеличением количества циклов пароциклических обработок добывающих скважин на месторождениях с высоковязкой нефтью.

Основой для проведения работ послужили работы Артеменко А.И., Кашавцева В.Е., Фаткуллина А.А. и Липаева А.А., в которых показано преимущество пароциклических обработок над площадной закачкой пара и предложена технология проведения обработок призабойной зоны скважины (ПЗС). Согласно их описанию нагрев ПЗС осуществляется до температуры 80-90 град. в течение 1,5-2,5 ч, затем происходит охлаждение пласта до температуры 20-25 град., посредством закачки воды. Количество циклов установлено 5-10. Вместе с этим в работах Мирсаетова О.М. показано, что при увеличении количества циклов обработки происходит формирование и увеличение стойкости водонефтяной эмульсии. При этом рекомендовано ограничить количество циклов обработки при достижении стабилизации данного параметра.

Данную проблему можно решить, не допуская образования стойких водонефтяных эмульсий в призабойной зоне пласта во время обработки. Для этого предлагается во время обработки использовать деэмульгатор. Усовершенствование технологии заключается в закачке деэмульгатора перед закачкой воды для охлаждения пласта. В результате проведенных исследований подобраны термостойкие деэмульгаторы, применение которых, в рамках предложенной технологии, позволит снизить темпы падения дополнительной добычи нефти при каждом цикле обработки на добывающих скважинах Гремихинского месторождения, а также увеличить количество эффективных циклов.

Научный руководитель: к.т.н., доцент О.М. Мирсаетов.

**Д.А. КОЛЕСОВ**

*ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ДОВЫРАБОТКИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАПАСОВ КАРСОВАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С УЧЕТОМ НАПРАВЛЕНИЯ СМЕЩЕНИЯ СВОДОВ ЛОКАЛЬНЫХ ПОДНЯТИЙ В ШЕЛЬФОВОЙ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ЗОНЕ**

Утвержденные до построения модели геологические запасы Карсовайского месторождения составляли 63901 тыс. тонн. После построения геологической модели и подсчета запасов в 2015г., геологические запасы составили 48968 тыс. т. Таким образом, геологическая модель не подтверждает ранее утвержденные запасы, что в первую очередь связано с тем, что месторождение разведано не до конца.

Для решения данной проблемы было сделано:

- изучены региональных закономерностей залегания сложнопостроенных структур касимовского и башкирского ярусов, находящихся в шельфовой структурно-тектонической зоне с целью выявления перспектив довыработки геологических запасов;

- выработан теоретический подход уточнения направления и величины смещения сводов многопластовых сложнопостроенных залежей;

- реализован способ выявления потенциальных геологических запасов.

При решении задач были использованы структурные карты территории Удмуртской республики, научная литература, геологическая модель месторождения, архивные поисковые и разведочные данные, ре-

зультаты геофизических исследований поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин, сейсмические исследования, подсчетные и технологические документы.

В ходе данной работы было выявлено смещение сводов куполов касимовского яруса относительно башкирского, и оно достигает 400м, а также принципиальное направление этого смещения. Спрогнозировано местонахождение предполагаемых запасов.

Основным результатом является выработка рекомендаций по доразведке месторождения на основе исследования принципиального направления смещения сводов куполов продуктивных отложений Карсовайского месторождения.

Научный руководитель: В.Г. Миронычев.

**Д.С. РУБЛЁВ**

*ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОВОДКИ МНОГООТВЕТНОЙ СКВАЖИНЫ НА КАРСОВАЙСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ В УСЛОВИЯХ ТРЕЩИНОВАТОГО ПЛАСТА**

В данной работе рассматриваются проблемы проектирования траектории и технологии проводки многоствольной скважины на Карсовайском месторождении в условиях повышенной трещиноватости пласта.

Задачами данной работы являлись рассмотрение нескольких вариантов траектории скважины, различие которых заключается в том, что в первом случае мы не вскрываем зоны повышенной трещиноватости (при больших мощностях пласта), во втором – вскрываем, при этом контролируя давление в точке вскрытия. Также рассмотрены осложнения и методы минимизации их влияния на ствол скважины при отрицательном дифференциальном давлении системы скважина-пласт. Кроме того, решалась задача обоснование длины горизонтального участка с учетом данного давления.

Результатом решения данных задач является разработка рекомендаций для построения траектории проводки многоствольной скважины на Карсовайском месторождении.

Разработанные рекомендации были использованы при проектировании траектории многоствольной скважины на Карсовайском месторождении для оптимизации технологической схемы и проведения буровых работ.

Научный руководитель: доцент И.А. Галикеев, ассистент А.А. Шумихин.

**Е.А. ТАТАРКИН**

*ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ДОВЫРАБОТКИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАПАСОВ ЛОЗОЛЮКСКО-ЗУРИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ УТОЧНЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ СМЕЩЕНИЯ СЛОЖНОПОСТРОЕННЫХ ПОДНЯТИЙ В БОРТОВОЙ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ЗОНЕ**

По результатам построения 3D-модели, запасы на 01.01.2015 г. составляют 13,57 млн.т., что немного меньше, чем утвержденные запасы, посчитанные на 1998 год, 13,634 млн.т., при текущем КИН 0,220 и проектном КИН 0,360. Утвержденный вариант разработки предусматривал бурение 503 скважин, на текущий момент общий фонд составляет 387 скважин. Таким образом, можно сделать вывод, что основной проблемой является недоразведанность месторождения. А также можно предположить, что при построении геологической модели верейско-башкирских продуктивных отложений Лозолюкско-Зуриинского месторождения не учтено влияние бортовой структурно-тектонической зоны, в результате чего часть запасов может быть утеряна

Для решения данной проблемы были поставлены и решены следующие задачи: разработана методика изучения закономерностей смещения сводов сложнопостроенных залежей; изучены региональные закономерности смещения сводов сложнопостроенных залежей, находящихся в бортовой структурно-тектонической зоне; опробован способ выявления пропущенных (неучтенных) запасов углеводородного сырья при традиционных методах поиска и прогнозирования.

При решении задач были использованы структурные карты территорий Удмуртской республики, геологическая модель месторождения, а также научная литература и подсчётные и технологические документы.

В ходе данной работы было выдвинуто предположение о наличии принципиального направления смещения сводов куполов верейского горизонта относительно башкирского яруса. С помощью геологической модели установлено смещение сводов до 41 м.

Результаты данной работы указывают на то, что месторождение является недоразведанным. Разработана рекомендация по доразведке месторождения с учетом выявленных в работе принципиального направления смещения сводов.

Научный руководитель: В.Г. Миронычев.

**А. А. ОСАДЧИЙ**

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)*

## **АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ИЗВЕСТНЯКОВ $O_1$ НА ЗАПАДНОМ УЧАСТКЕ ЖИРНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (РОСТОВСКАЯ ОБЛАСТЬ) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ**

В работе производится изучение закономерностей изменения химического состава известняка  $O_1$  на Западном участке Жирновского месторождения.

При оценке качества известняков полезной толщи обобщены и использованы данные лабораторных исследований, выполненных при проведении геологоразведочных работ и данные лабораторных испытаний щебня, выполнявшихся ООО «Жирновский щебеночный завод», полученные автором в период преддипломной практики.

Для изучаемых известняков определяющими показателями качества являются показатели химического состава - содержания  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ .

Выполненный анализ корреляционных связей и карт распределения компонентов полезного ископаемого с помощью программ Statistica и ArcGIS показал наличие отчетливых положительных связей  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $MgO$ . При этом связи этих компонентов с  $CaO$  и  $CO_2$  отрицательны.

Вероятно, что распределение содержаний  $CaO$  и  $CO_2$  определяется распределением главного породообразующего минерала известняков – кальцита.

Остальные перечисленные компоненты являются составными частями глинисто-терригенной примеси, которая осложнена хемогенным накоплением известняка в результате сноса материала с суши.  $SiO_2$  в породах присутствует как в свободной форме, так и в составе глинистых минералов.

Максимальные значения содержания этих примесей достигают центральной части исследованного участка, снижая здесь качество известняка, как сырья. Следовательно, центральная часть можно рассматривать как наиболее перспективную на производство строительных материалов (щебень). Если рассматривать известняки как цементное сырье, то наиболее качественные участки расположены по периферии исследуемой площади.

Научный руководитель: канд. геол.-мин. наук, доцент Г. В. Рябов.

**С.Н. ЕВДАКОВ**

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛОМОК РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ БУРОВЫХ ДОЛОТ, АРМИРОВАННЫХ АЛМАЗНО-ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ПЛАСТИНАМИ (АТП)**

В работе приводится анализ видов поломок режущих элементов АТП буровых долот и рассматривается возможность применения в компоновке низа бурильной колонны (КНБК) двухъярусного долота с равными по модулю, но противоположными по направлению крутящими моментами на забуривающем и разбуривающем ярусах.

Приводится обоснование выбора породоразрушающего инструмента (ПРИ), работающего по принципу резания-истирания с использованием резцов из износостойких алмазно-твердосплавных материалов (АТП).



Анализ состояния отработанных долот показывает, что поломки АТП имеют преимущественно два вида: сколы от действия сил со стороны передней грани; сколы от действия сил со стороны задней грани, а также отрыв и поломка пластин.

Рассматривается фрагмент процесса формирования поверхности забоя под буровым долотом при резании породы резцом из АТП и предлагается расчетная схема к математическому описанию процесса.

При крутильных колебаниях на волнообразной поверхности забоя возникают контакты и удары по передним и по задним граням режущего АТП, которые приводят к их поломкам. Для предупреждения крутильных колебаний необходимо, чтобы буровой став не передавал и не воспринимал от ВЗД крутящий момент, необходимый для работы бурового долота.

При решении такой задачи приводится принцип разделения бурового долота на ярусы. Двухъярусное буровое долото должно быть сконструировано так, чтобы крутящие моменты при резании породы на забуривающем  $M_z$  и разбуривающем  $M_p$  ярусах были равны по модулю и направлены в противоположные стороны, в результате чего буровой став освобождается от передачи крутящего момента и от возникновения крутильных колебаний.

Научный руководитель: д.т.н., профессор, академик РАЕН А.Я. Третьяк.

**А. Ф. СТОРОЖЕНКО**

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ПЛОСКИХ И ОБЪЕМНЫХ МОДЕЛЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ЗОЛОТОРУДНОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ КУНДУМИ**

В работе показан опыт использования программных средств для создания и анализа плоских и объемных моделей рудного месторождения.

В процессе проектирования геологоразведочных работ решаются задачи подсчета ожидаемых запасов, анализа существующих закономерностей распределения геолого-промышленных параметров месторождения (мощностей, содержаний и т. п.), выявления зональности, минералогических типов руд.

Использование существующих программных средств позволяет решать перечисленные задачи более эффективно, а так же рекомендуется инструктивными материалами ГКЗ. В работе показан опыт использования программного комплекса ArcGis для построения геологической карты, программы Surfer для построения карт распределения (мощностей, содержаний, отношений полезных компонентов) на вертикальной проекции рудного тела, для построения объемной модели и подсчета запасов руды использован программный комплекс Micromine.

Данные программные средства обладают единым форматом обменных файлов, инструментами работы в заданной координатной системе инструментами оформления и вывода чертежей, и хорошо комбинируются для решения перечисленных задач.

Научный руководитель: канд. геол.-мин. наук, доцент Г. С. Январев

П 493 **Проблемы недропользования:** Сборник научных трудов. Часть II / Санкт-Петербургский горный университет. СПб, 2017. 313 с. (Международный форум-конкурс молодых ученых. 19-21 апреля 2017 г.)

ISBN 978-5-94211-781-8 (Часть II)  
ISBN 978-5-94211-779-5

УДК 00 (55+62+66+33+50+54)  
ББК 2 (26+33+60+66)

*Научное издание*

## **ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ**

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ-КОНКУРС МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

19-21 апреля 2017 г.

Сборник научных трудов  
*Часть II*

Статьи публикуются в авторской редакции  
Печатается с оригинал-макета, подготовленного Советом по НИРС

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.02

Подписано к печати 12.04.2017. Формат 60×84/8. Уч.-изд.л. 41.  
Тираж 200 экз. Заказ 293. С 77.

Санкт-Петербургский горный университет  
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета  
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2