

## О Т З Ы В

официального оппонента, к.т.н., доцента **Лебедева Михаила Олеговича** на диссертацию **Катерова Андрея Максимовича** на тему: «**Геомеханическое обоснование параметров крепи глубоких стволов при освоении калийных месторождений в сложных горно-геологических условиях**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

### 1. Актуальность темы диссертации

Разведка существующий калийных месторождений Российской Федерации показывает, что глубина разработки полезного ископаемого значительно увеличивается. Достигает 1000 м и более, это приводит к ухудшению горно-геологических условий строительства горных выработок. К таким месторождениям относится Гремяченское и Нивенское. Наиболее сложными объектами в проектировании являются вертикальные стволы, это связано с тем, что по мере увеличения глубины они пересекают различные горные породы, в свое время обладающие отличными друг от друга физико-механическими свойствами.

Проектирование и строительство глубоких вертикальных стволов в условиях калийных месторождений осложняется реологическими процессами, протекающими в соляных породах. Увеличение глубины влияет на интенсивность развития данных процессов, приводя к развитию больших смещений породных обнажений и увеличению нагрузки на крепь вертикального ствола, близкой к предельной или превышающей ее. Для обеспечения устойчивости вертикальных стволов существуют методики расчета нагрузки на крепь и определении ее параметров. В нормативной документации СП 91.13330.2012 предложены методики расчета для пород I-III категории устойчивости, в то время как соляные породы относятся к IV, что говорит о необходимости прибегать к методикам расчета, разработанными специализированными организациями. Стоит заметить, что существующие методики основаны на допущениях, которые влияют на количественную и качественную оценку развития нагрузки, что не позволяет с необходимой точностью обосновать параметры крепи вертикальных стволов, в сложных горно-геологических условиях.

Некорректно принятые параметры крепи вертикальных стволов в свою очередь приводят к нарушению целостности крепи и потере устойчивости. Это может привести к возникновению аварийной ситуации, приводя к экономическому ущербу, за счет простоя. Для избежания таких ситуаций необходимо на этапе проектирования корректно определить параметры крепи вертикальных стволов учитывая срок эксплуатации вертикального ствола и разработке методики, позволяющей повысить точность расчета напряженно-деформированного состояния крепи вертикального ствола, пройденного в соляных породах калийных месторождений. В связи с этим представленная в диссертационной работе тема является важной и актуальной.

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-185 от 04.09.23  
АУ УС

## **2. Научная новизна диссертации**

Научная новизна полученных в диссертационной работе результатов заключается в следующем:

- разработана методика построения численной модели расчета нагрузки на крепь вертикального ствола, с учетом геометрической конфигурации тюбинговой крепи и ее взаимодействия с вмещающим массивом, учитывающая закономерности развития НДС крепи во времени в зависимости от принятой конструкции крепи;

- Получены переходные коэффициенты, позволяющие перейти от результатов расчета упрощенной задачи, где крепь ствола представлена как многослойная среда к величинам, учитывающим геометрическую конфигурацию тюбинговой крепи и учитывая пластическое поведения чугуна:

- На основе полученных коэффициентов усовершенствована методика расчета нагрузок на крепь и выбора параметров крепи вертикальных стволов.

## **3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность и обоснованность научных результатов работы, выводы и рекомендации подтверждаются достаточным объемом исследованной информацией, описанной в отечественной и зарубежной научной литературе, связанной с конструктивными решениями крепей вертикальных стволов, методик ее расчета, а также закономерностям развития деформаций образцов соляных пород в условиях лабораторных испытаний, а также развитию смещений породных обнажений. В представленной на защиту диссертационной работе автор делает попытку разработать универсальную методику расчета параметров крепи вертикальных стволов, сооружаемых при освоении калийных месторождений в соляных породах, на примере Нивенского месторождения (четвертая глава). Для этого автор использует данные лабораторных испытаний образцов керна Нивенского месторождения и лабораторные данные испытания материалов крепи, а также данные наблюдений за смещением контура соляных пород на больших глубинах. На основании полученных результатов соискателем определены переходные коэффициенты для каждого конструктивного элемента тюбинговой крепи, учитывающим геометрическую конфигурацию и пластическое поведение чугуна при развитии напряженно-деформированного состояния крепи.

На основе выполненного анализа реологических моделей соляных пород сформировано первое научное положение, в котором утверждается, что для корректного расчета смещений соляного массива необходимо учитывать различные стадии ползучести соляных пород, обоснованные развитием горно-геотехнических условий, а размер численной модели не должен быть меньше 17 эквивалентных радиусов рассматриваемого сечения вертикального ствола в черне (вторая глава).

Второе научное положение, обосновывающие основные положения разработанной методики расчета напряженно-деформированного состояния крепи вертикального ствола

заключается в повышении точности расчета за счет решения объемной задачи, учитывающей развитие деформаций соляного массива во времени и представлении тюбинговой крепи с учетом ее геометрической конфигурации и пластического поведения чугуна (третья глава). На основе сравнения результатов разработанной методики с существующей получены переводные коэффициенты и усовершенствована методика определения параметров крепи вертикальных стволов (четвертая глава).

В третьем научном положении, изложенном в третьей и четвертой главе, рассмотрено развитие напряженно-деформированного состояния крепи вертикального ствола, расположенной на контакте двух породных слоев, представленных прочными ангидрит-доломитовыми породами и соляным массивом, обладающим ярко выраженным развитием реологических процессов. Рассмотрение данного участка позволяет выделить размер зоны, требующей детального подбора параметров крепи.

Следует отметить, что три научных положения, а также вытекающие из них выводы и рекомендации, следует считать полностью раскрытыми и обоснованными.

#### **4. Научные результаты, их ценность**

Среди результатов работы, обладающих новизной и научной значимостью, можно выделить следующее:

1. Разработана методика построения численной модели расчета нагрузок на крепь и развития ее напряженно-деформированного состояния для глубоких стволов, пройденных на калийных месторождениях в соляных породах.
2. В рамках исследования обоснована величина зоны влияния двух породных слоев на развитие нагрузок на крепь вертикального ствола и ее напряженное состояние.
3. Определены величины коэффициентов, позволяющих учесть геометрическую конфигурацию тюбинговой крепи и нелинейное поведение чугуна.

Тематика и содержание публикаций Катерова А.М. отражают научные результаты и содержание диссертационной работы. Результаты диссертационного исследования освещены в 6 печатных работах, в том числе в 1 статье - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 3 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Scopus); получен 1 патент.

#### **5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации**

Теоретическая значимость заключается в совершенствовании существующих подходов к расчету параметров крепи вертикальных стволов, пройденных на больших глубинах. Развитие численных методов расчета и применение современных моделей деформирования сред, для повышения достоверности расчета.

Практическая значимость диссертационной работы Катерова А.М. заключается в разработке численной модели, позволяющей обосновать параметры крепи вертикального ствола, обеспечивающие устойчивость в течении всего срока эксплуатации.

## **6. Рекомендации по использованию результатов работы**

Результаты диссертационной работы могут быть применены в проектной деятельности при обосновании параметров чугунной тубинговой крепи вертикальных стволов. Также результаты могут быть использованы для учебного процесса при изложении вопросов связанных с решением задач численными методами.

## **7. Замечания и вопросы по работе**

1. Предметом исследований является конструкция крепи вертикальных стволов, пройденных в соляном массиве на больших глубинах (свыше 1000 метров). На странице 26 диссертационной работы говорится, что объектом исследований является крепь стволов более 900 метров. При определении размеров численной модели рассматривалась глубина заложения ствола 500 метров (стр.47). В главе 3 выполняется моделирование напряженно-деформированного состояния многослойной крепи ствола на глубине 950-1100 метров. В результате расчета нагрузка на чугунную крепь составила 16,6 МПа при паспортной нагрузке 16,436 МПа и делается вывод о необходимости использования податливого слоя. При этом при моделировании не учитывались технологические особенности проходки ствола, а при верификации модели массива для горизонтальной выработки погрешность составляла более 10%. Подобный разброс в цифрах и исходных данных приводит к сомнению приводимых рекомендаций.

2. Для подбора реологических параметров математических моделей массива рассматривались натурные данные для горизонтальной выработки на глубине 950 метров. Затем "верифицированная" модель массива применена для расчета крепи ствола и сравнением результатов с натурными данными на руднике в Закарпатье на неизвестной глубине. Результаты такого сравнения видятся сомнительными.

3. В описанных методах исследований говорится о комплексном подходе, с верификацией результатов исследований на основании натуральных данных. Только по тексту работы натурные данные показаны для горизонтальных выработок, хотя упомянуто наличие результатов натуральных исследований и для вертикальных стволов. Например, у Казикаева Д.М. и Сергеева С.В. имеется большое количество опубликованных результатов натуральных исследований по напряженно-деформированному состоянию крепей стволов. Учет таких исследований возможно внес бы поправки в результаты исследований представленной работы.

## **8. Заключение по диссертации**

Диссертация Катерова Андрея Максимовича на тему: «Геомеханическое обоснование параметров крепи глубоких стволов при освоении калийных месторождений в сложных горно-геологических условиях», представленная к защите на соискание ученой степени кандидата

технических наук по специальности 2.8.6. «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика», представляет законченную научную работу, имеющую научную новизну, теоретическую и прикладную значимость.

Диссертация «Геомеханическое обоснование параметров крепи глубоких стволов при освоении калийных месторождений в сложных горно-геологических условиях», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор Катеров Андрей Максимович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Заместитель генерального директора по научно-исследовательской работе ОАО НИПИИ  
«Ленметрогипротранс»  
к.т.н, доцент



Лебедев Михаил Олегович  
31.08.2023



Подпись Лебедева Михаила Олеговича заверяю

М.П.

Лебедев М.О. подготовлено  
следующим ИИ / Скакуновс/

**Сведения об официальном оппоненте:**

Открытое акционерное общество Научно-исследовательский, проектно-изыскательский институт «Ленметрогипротранс»

Почтовый адрес: 191002, г. Санкт-Петербург, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Московская, д.2.

Официальный сайт в сети Интернет: WWW.LMGT.RU

эл. почта: MLebedev@lmgmt.ru

телефон:+7 (812) 316-20-22