

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский горный университет»

*На правах рукописи*

**МАЛЮХИНА Елена Михайловна**



**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ВОДОПРОВОДЯЩИХ  
ТРЕЩИН ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

25.00.16 –Горнопромышленная и нефтегазопромысловая  
геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр

**ДИССЕРТАЦИЯ**

**на соискание ученой степени**

**кандидата технических наук**

**НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ**

**доктор технических наук,**

**профессор В.Н. Гусев**

Санкт-Петербург – 2020

## Оглавление

Введение.....	4
Глава 1 Состояние изученности подработки водных объектов .....	9
1.1 Общая характеристика задач безопасного извлечения полезных ископаемых под водными объектами .....	9
1.2 Геомеханические процессы формирования зоны водопрводящих трещин.	10
1.3 Способы определения высот зоны техногенных водопрводящих трещин..	11
1.4 Методы прогноза развития техногенных трещин .....	13
1.5 Безопасное ведение горных работ под водными объектами .....	17
1.6 Опыт подработки водных объектов .....	18
1.7 Исследование процессов сдвижения и деформаций в первично и повторно подработанном массиве.....	20
1.8 Прогнозные методики распространения зоны водопрводящих трещин при повторной подработке при различном взаимном положении границ остановки очистных работ.....	21
1.9 Выводы по главе 1.....	23
Глава 2 Определение особенностей процессов сдвижений и деформаций горных пород на Яковлевском руднике .....	24
2.1 Геологические особенности строения Яковлевского месторождения .....	24
2.2 Определение относительного максимального оседания на Яковлевском руднике.....	29
2.3 Сдвигения и деформации на контакте перекрывающей и рудовмещающей толщ .....	30
2.4 Выводы по главе 2.....	37
Глава 3 Определение типовых кривых вертикальных сдвижений и деформаций для горно-геологических условий Яковлевского рудника .....	38
3.1 Дисперсионный однофакторный анализ .....	44

3.2 Определение типовых кривых по данным натуральных измерений вертикальных сдвижений и деформаций на профильных линиях.....	46
3.3 Получение типовых кривых распределения наклонов и кривизны на основании типовой кривой распределения оседаний, выраженной аналитически .....	50
3.4 Оценка достоверности аналитически заданной типовой кривой. ....	51
3.5 Выводы по главе 3.....	54
Глава 4 Влияние взаимного положения границ остановки очистных работ на высоту распространения зоны водопродящих трещин .....	56
4.1 Результаты сравнения значений высоты зоны водопродящих трещин,.....	63
полученной по различным методикам.....	63
4.2 Оценка накопления деформаций на Яковлевском руднике .....	64
4.3 Выводы по главе 4.....	67
Заключение .....	68
Список литературы .....	70
Приложение А. Код программы для ЭВМ .....	94
Приложение Б. Код программы для ЭВМ с исходными данными .....	97
Приложение В. Графики накопления кривизны .....	100

## Введение

### Актуальность темы исследования

Крупнейшие месторождения железных руд относятся к древним корам химического выветривания джеспилитов, где содержание полезного компонента составляет 60 % и более. Большинство из них отрабатывается открытым способом, только на месторождениях Курской и Кременчугской магнитных аномалий применяется подземный способ. Этот процесс характеризуется сложными гидрогеологическими условиями. Предупреждение прорывов воды необходимо как для безопасного ведения горных работ, так и для сохранения экологического состояния регионов. В таких условиях необходим надежный прогноз развития систем техногенных трещин, гидравлически связывающих очистное пространство и водный объект. Прогноз развития зоны водопроводящих трещин (ЗВТ) напрямую связан с распределением сдвижений и деформаций в массиве горных пород. Степень нарушенности массива контролируется через развитие ЗВТ, а точнее, по прогнозу местоположения ее верхней границы, приуроченной к слою с граничной кривизной. На данный момент разработаны методики распространения техногенных водопроводящих трещин для угольных месторождений при первичной и повторных подработках, а для условий Яковлевского рудного месторождения, которое отрабатывается под неосушенными высоконапорными водоносными горизонтами, оценки развития техногенных водопроводящих трещин при повторных подработках отсутствуют. Проходка горных выработок по рудному телу ведется без предварительного водопонижения под нижнекаменноугольным горизонтом. В этой связи необходим контроль распространения водопроводящих трещин во избежание водоприток в рудник.

Существенный вклад в развитие представлений о процессах сдвижений и деформаций горных пород внесли: С.Г. Авершин, Г.Л. Фисенко, Д.А. Казаковский, И.А. Петухов, В.Н. Земисев, А.Г. Акимов, А.Б. Макаров, А.Н. Медянец, А.С. Ягунов, Г. Кратч и многие другие. Большой вклад в разработку геомеханических методов прогноза развития ЗВТ внесли: Б.Я. Гвирцман, В.Н.

Гусев, В.Н. Дешковский, Е.В. Бошенятов, Ю.А. Норватов, А.С. Миронов, А.С. Ягунов, Г. Кратч, Х.Ф. Уотсон и другие.

**Цель диссертационной работы:** выявление закономерностей распределения сдвижений и деформаций для оценки безопасных условий ведения горных работ под неосушенными водоносными горизонтами.

**Идея работы:** повышение точности прогноза развития техногенных водопроводящих трещин на основе закономерности распределения и накопления деформаций в подрабатываемом массиве.

**Задачи исследований:**

1. Обобщить существующий опыт подработки водных объектов на пластовых и рудных месторождениях.
2. Проанализировать параметры, влияющие на развитие зоны водопроводящих трещин при ведении горных работ.
3. Обосновать параметры развития геомеханических процессов в рудовмещающей и перекрывающей толщах Яковлевского месторождения.
4. На основе натуральных данных обосновать использование типовых кривых оседаний, наклонов и кривизны для прогноза сдвижений и деформаций на месторождении богатых железных руд.
5. Выявить зависимость накопления кривизны на верхней границе зоны водопроводящих трещин при слоевой отработке богатых железных руд Яковлевского месторождения.

**Методология и методы исследования:**

1. Методы наблюдений за сдвижением и деформациями земной поверхности и массива горных пород.
2. Анализ результатов наблюдений за сдвижением реперов наблюдательных станций, заложенных на поверхности и в горных выработках.
3. Метод аналогий для установления подобия геомеханических процессов между месторождениями.

4. Методы математической статистики факторного и дисперсионного анализа для оценки результатов наблюдений за сдвижением и деформациями горных пород.

5. Методы математического моделирования накопления деформаций в горных породах.

### **Научная новизна работы:**

1. На основе полученного различия в закономерностях распределения сдвижения горных пород перекрывающей (осадочной) и рудовмещающей толщ выявлен механизм образования полостей отслоения| на контакте толщ и произведена оценка процессов их образования.

2. Определены аналитические выражения функций типовых кривых оседаний ( $S(z) = e^{-3z^2}$ ,  $z$  – координаты распределения точек полумульды), наклонов ( $Sa'(z) = -6ze^{-3z^2}$ ) и кривизны ( $Sa''(z) = 6(6z^2 - 1)e^{-3z^2}$ ).

3. Установлено, что накопление кривизны от взаимного положения границ очистных работ по различным слоям происходит по нелинейному закону, имеющему вид полиномиальной зависимости 2-го порядка.

### **Защищаемые положения:**

1. Механизм протекания процесса сдвижения горных пород в перекрывающей и рудовмещающей толщах определяется пространственным сдвижением массива пород в зоне сдвижения к центру тяжести с образованием полостей отслоения на контакте этих толщ.
2. Прогноз ожидаемых вертикальных сдвижений и деформаций в условиях недостаточности натуральных данных следует выполнять с использованием типовой кривой оседания определяемой на основе дисперсионного анализа натуральных данных и представляемой аналитической функцией, а кривые наклона и кривизны определять как 1-ю и 2-ю производные от нее.
3. Накопление деформаций в массиве горных пород в зависимости от взаимовлияния границ очистных работ по различным слоям происходит по полиномиальному закону 2-го порядка, характер распределения которого зависит от конкретных горно-геологических условий.

**Достоверность и обоснованность** научных положений и результатов работы подтверждается согласованностью теоретических представлений о геомеханических процессов с наблюдаемыми на подземных и наземных профильных линиях, проведенном дисперсионном и корреляционном анализами полученных данных наблюдений за сдвигениями и деформациями горных пород.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы:**

На основе определения угловых параметров процессов сдвижения, функций типовых кривых оседаний, наклонов и кривизны и выведенной формулы расчета максимального оседания разработана методика прогноза вертикальных сдвижений и деформаций. Использование этой методики дает возможность прогнозировать с учетом накопления деформаций от подработок местоположение слоя, приуроченного к верхней границе зоны водопроводящих трещин, что позволяет осуществлять безопасное ведение горных работ под нижнекаменноугольным водоносным горизонтом перекрывающей толщи.

**Достоверность и обоснованность научных положений и рекомендаций** подтверждается согласованностью теоретических представлений о геомеханических процессов с наблюдаемыми на подземных и наземных профильных линиях, проведенном дисперсионном и корреляционном анализами полученных данных наблюдений за сдвигениями и деформациями горных пород.

#### **Апробация результатов**

Основные положения и результаты исследований были представлены на научных конкурсах и конференциях: Международный форум-конкурс молодых учёных «Проблемы недропользования», 2014 г.; 55-я научная конференция на базе Краковской горно-металлургической академии (Польша), 2014 г.; Международная научно-практическая конференция «Естественные науки: современное состояние и приоритеты развития», 2015 г.; XI Общероссийская конференция изыскательных организаций, 2015 г., VIII международный научно-практический конкурс «Лучшая исследовательская работа 2017», 2017 г.; Международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию кафедры Строительства горных предприятий и подземных сооружений, 2018 г.;

Международный научно-исследовательский конкурс «Research Leader 2020», 2020г.; Международный форум-конкурс молодых учёных «Проблемы недропользования», 2020 г.

**Личный вклад автора** заключается в постановке цели и задач исследований, анализе существующей научно-технической и методической литературы, обработке и анализе опубликованных данных геомеханического мониторинга, проводимого на Яковлевском месторождении, определении граничных углов, выявлении отслоений на контакте рудовмещающей и перекрывающей толщ, получении типовых кривых сдвижений и деформаций, математическом моделировании накопления деформаций при различном взаимном положении границ остановки очистных работ, на основе которого сделана оценка накопления кривизны на контакте толщ Яковлевского месторождения при отработке второго слоя.

**Результаты диссертационной работы** в достаточной степени освещены в 12 печатных работах, в том числе 4 статьи 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), 3 статьи в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus и Web of Science.

#### **Объем и структура работы.**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 175 наименований, изложена на 102 страницах машинописного текста и содержит 27 рисунков, 16 таблиц и 3 приложения.



## **Глава 1 Состояние изученности подработки водных объектов**

### **1.1 Общая характеристика задач безопасного извлечения полезных ископаемых под водными объектами**

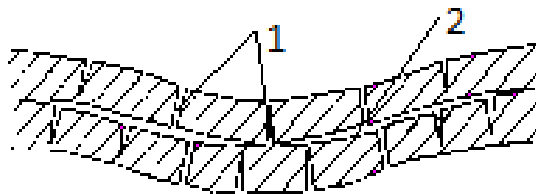
Ведение горных работ оказывает влияние на состояние массива пород, что приводит к развитию сдвижений и деформаций. Уменьшение прочностных характеристик, увеличение трещиноватости и водопроницаемости горных пород вызывают изменения геомеханического состояния массива. Помимо обрушений и горных ударов, особую опасность представляет собой появление недопустимо больших водопритоков в выработки. Если образовавшаяся система трещин, гидравлически связанных между собой, пересекает нижнюю границу водного объекта, то может вызвать недопустимые водопритоки в шахтное пространство. Также это недопустимо с экологической точки зрения, так и с точки зрения безопасности ведения горных работ: нарушение правил охраны водных объектов и безопасности труда.

Для исключения образования гидравлических связей между очистным пространством и водными объектами необходима разработка геомеханического и гидрогеологического прогноза развития систем трещин под водными объектами необходима разработка геомеханического и гидрогеологического прогноза развития систем трещин. В связи с исчерпаемостью ресурсов, разработка месторождений под водными объектами является актуальной, в особенности потребность освоения месторождений под дном морей и океанов. Кроме того, «под термином водные объекты понимают также реки, водоносные горизонты, пруды, водохранилища, хранилища промышленных стоков, ручьи, каналы, крупные обводненные тектонические нарушения, затопленные горные выработки, незатомпированные геологоразведочные, гидрогеологические, водопонижающие и другие технические скважины т.д. К ним также относят болота, плавунные пески и глины. Резюмируя, под водным объектом понимают природные или искусственно созданные сосредоточения воды, водонасыщенных или увлажненных песчано-глинистых пород, которые являются или могут являться источником их прорывов в горные выработки[84].

Для установления условий, при которых возможны работы под водными объектами, необходимо иметь представление о механизме процесса сдвижения пород.

## 1.2 Геомеханические процессы формирования зоны водопрводящих трещин

«Зона техногенных водопрводящих трещин – это система двух взаимно перпендикулярных трещин: трещин расслоения и нормальносекущих трещин» (рисунок 1.1) Трещины расслоения вследствие сдвига слоев по контактам при их изгибе. В местах максимальных значений кривизны образуются нормальносекущие трещины. Первый слой, в котором не образуются эти сквозные трещины, является верхней границей зоны водопрводящих трещин, а его кривизна носит название граничной кривизны. Кривизна слоев выше верхней границы зоны водопрводящих трещин меньше граничной кривизны, следовательно, проникновение нормальносекущих трещин происходит не на всю мощность слоев. В результате не образуется гидравлической связи с трещинами расслоения и они сохраняют свои водоупорные свойства.



1- нормальносекущие трещины,  
2- трещины расслоения

Рисунок 1.1 - Нормальносекущие трещины и трещины расслоения

«Две системы техногенных трещин в слоях, расположенных ниже верхней границы зоны водопрводящих трещин, гидравлически связанных между собой и образуют собственно зону водопрводящих трещин. Если эта зона пересекает нижний контур водного объекта, то по водопрводящим трещинам вода проникает в горные выработки в виде недопустимо больших водопротоков» [39]. Их формирование и распространение происходит главным образом над

очистными выработками, над которыми наиболее полно реализуется сдвигание слоев массива.

Источником сведений о зоне водопродящих трещин служат как натурные методы, так и расчетные методы, так же проводятся исследования на моделях эквивалентных материалах.

### **1.3 Способы определения высот зоны техногенных водопродящих трещин.**

Основным параметром в вопросах исследования техногенных водопродящих трещин является ее высота, которая зависит от многих факторов:

- вынимаемой мощности пласта, глубины разработки и угла падения пород,
- физико-механических свойств и строения толщи пород,
- размеров очистных выработок и скорости подвигания очистного забоя,
- природного напряженного состояния массива горных пород и его обводнённости,
- естественной трещиноватости пород, наличия разрывных тектонических нарушений и др.

Существуют методы прогноза пределов зоны трещиноватости, которые необходимы при проектных и расчетных работах. Также существуют и натурные методы, которые дают фактическое значение высоты зоны водопродящих трещин, но требуют значительных затрат и нет возможности прогноза ее развития. Совокупность данных, полученных из каждого метода позволяет находить методики расчета, которые в последствие используются для месторождений с похожими горно-геологическими условиями.

Прямой способы определения высоты зоны водопродящих трещин: метод глубинных реперов с проволочной связью [39]. Данным способ является достаточно дорогостоящим и трудоемким.

Также существует ряд методов, основанных на гидрогеологических параметрах, благодаря которым можно посчитать высоту зоны водопродящих трещин. Например, пьезометрический способ основан на контроле

гидростатического давления на различных участках подработанной толщи [39]. Способ, в основе которого лежит измерение параметров воздушного потока в скважине, пробуренной с дневной поверхности в подработанном массиве, с помощью анализа разности между атмосферным давлением и давлением воздуха в контролируемых интервалах скважин, поочередно изолируемых двойным пакетом, высоту зоны водопродящих трещин определяют как расстояние от кровли выработанного пространства до середины участка скважины между ближайшими точками измерений, в верхней из которых измеренная разность давлений равна нулю, а в нижней отлична от нуля [10]. Существует способ определения высоты ЗВТ, включающий измерение скорости воздушного потока в скважине, пробуренной с дневной поверхности и не пересекающей выработки, отличающийся тем, что, с целью повышения оперативности измерений, периодически заполняют сыпучим материалом скважину и после каждого заполнения измеряют скорость воздушного потока у устья, после обнаружения отсутствия движения воздушного потока прекращают заполнение скважин и измеряют уровень засыпки, по которому судят о высоте зоны водопродящих трещин [9]. Метод наблюдений за изменением порового давления основан на существенной разнице в скорости падения порового давления ниже и выше верхней границы зоны водопродящих трещин, которая проявляется резче там, где сильнее анизотропия проницаемости пород [39]. Метод с использованием датчиков влажности, которые стоят в пробуренных скважинах. По мере развития зоны водопродящих трещин происходит последовательное разрушение изменение показателей датчиков, что позволяет определить высоту зоны водопродящих трещин в ее развитии [39]. Согласно методу сравнения удельных водопоглощений, проведение и анализу результатов опытных нагнетаний воды в одни и те же слои или пачки слоев до и после их подработки помогает рассчитать высоту зоны водопродящих трещин [39]. Метод расходометрического каротажа основан на измерениях водопоглощения на различной глубине подрабатываемого массива [39]. И один из самых применяемых методов - резистивиметрия или резистивиметрического каротажа скважины, пробуренной

на участк. Этот метод основан на измерении скважинным резистивиметром удельного сопротивления жидкости (рассоленной NaCl воды и поступившей пластовой воды), заполняющей ствол скважины[39].

Для определения высоты распространения зоны водопродводящих трещин используют модели на эквивалентных материалах [11]. Такой способ позволяет наблюдать различные зоны развития трещиноватостей горных пород (зону обрушения, зону упорядоченного трещинообразования), но не позволяет установить наличие или отсутствие микротрещин.

#### 1.4 Методы прогноза развития техногенных трещин

Высота зоны водопродводящих трещин определяется исходя из его литологического состава подрабатываемой толщи, данный метод основан на обработке натуральных данных определения высоты зоны водопродводящих трещин с одинаковой мощностью подработанных пластов. Чем меньше в толще глинистых пород (алевролитов, аргиллитов и глинистых сланцев), тем больше геометрические параметры зоны водопродводящих, это определяется как зависимость граничной кривизны  $K_r$ , под которой понимается «максимальная кривизна на верхней границе зоны водопродводящих трещин от литологического состава подрабатываемой толщи пород». Кроме того, на распределение  $K_r$  существенный вес играют физико-механические свойства горных пород (породы одной литологической разности), и различное положение слоев рассматриваемых пород относительно разрабатываемого пласта. Статистической обработкой натуральных данных была получена зависимость (1.1) [39]:

$$H_T = 2 \sqrt{\frac{m}{K_r}}, \quad (1.1)$$

где  $H_T$  – высота ЗВТ;  $m$  – вынимаемая мощность пласта;  $K_r$  – граничная кривизна. На основе обработки натуральных данных с месторождений пластового типа была установлена функциональная зависимость экспоненциального типа от содержания пород глинистого состава (алевролитов, аргиллитов, глинистых сланцев и др.) в подрабатываемой толще (1.2) [39]:

$$K_r = f(A), \quad (1.2)$$

где  $A$  - содержание пород глинистого состава (алевролитов, аргиллитов, глинистых сланцев и др.) в подрабатываемой толще, определяемое как отношение суммарной мощности пород глинистого состава к мощности подрабатываемой толщи [39]. Величина содержания пород глинистого состава определяется по формуле (1.3) [39]:

$$A = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{H} = \frac{\sum_{i=1}^k a_i}{H} \quad (1.3)$$

«где  $a_1, a_2, \dots, a_k$  – значения вертикальных мощностей слоев соответствующих пород,  $H$  – глубина залегания разрабатываемого пласта.

Вид экспоненциальной зависимости был получен на основе анализа натуральных данных.»

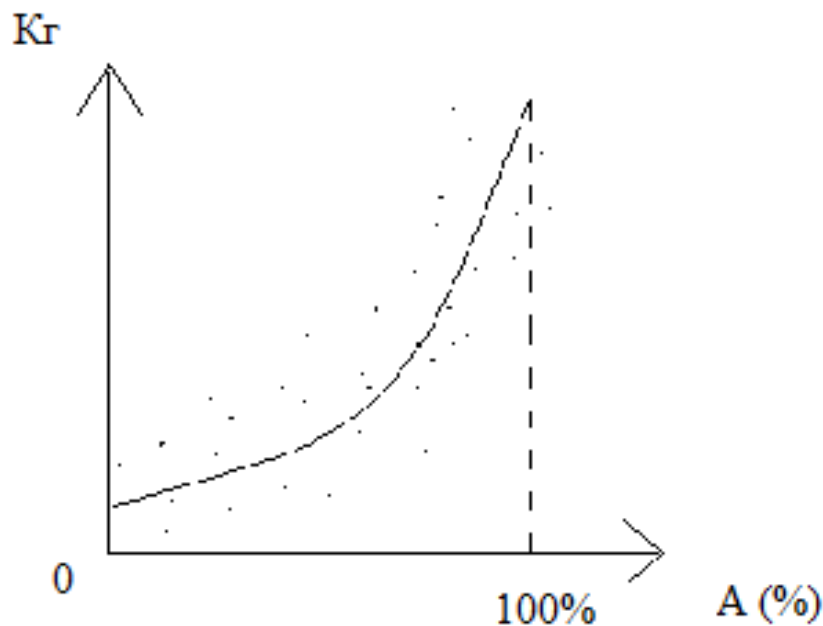


Рисунок 1.2 - Зависимость граничной кривизны  $K_r$  от содержания в толще глинистых пород в долях от мощности пород  $A$ , полученная на основе натуральных данных

В общем виде зависимость граничной кривизны от литологического состава подрабатываемой толщи представлена выражением (1.4):

$$K_r = a e^{6A} * 10^{-3}, \text{ 1/м} \quad (1.4)$$

где  $K_{\Gamma}$  – граничная кривизна;  $A$  – содержание алевролитов, аргиллитов в долях от подрабатываемой толщи;  $e$  – основание натуральных логарифмов;  $a$  и  $b$  – параметры уравнения связи, получаемые методами математической статистики [39].

Итоговое аналитическое выражение зависимости граничной кривизны (максимальной кривизны слоя на верхней границе ЗВТ) от содержания пород глинистого состава получено на основе натуральных наблюдений высоты ЗВТ и имеет вид» (1.5) [39]:

$$K_{\Gamma} = 0.8e^A \cdot 10^{-3} \quad (1.5)$$

Данная методика является основной для прогноза расчетов высоты зоны водопродящих трещин. Ее преимуществом является возможность его применения при прогнозировании параметров зоны на основе имеющихся геологических данных, для поиска которых нет необходимости в дополнительных натуральных исследований. Значение кривизны в вышеуказанном способе определяется основано на ее корреляции с литологическим строением подработанного массива.

Недостаток данной методики состоит в том, что содержание глинистых пород в долях от подработанной толщи не является единственным фактором, влияющим на распространение деформаций в массиве.

Существующая методика в основном адаптирована для применения на пластовых месторождениях. Однако, в случаях, на месторождениях со сложной структурой подрабатываемой толщи и неявно выраженной слоистостью, данная методика не дает положительного результата.

Опираясь на гипотезу В.Д. Слесарева [137] в работе [39] В.Н. Гусев рассматривал методику расчета высоты водопродящих трещин с учетом относительного положения центров изгибающихся слоев (1.6):

$$H_{\Gamma} = 2 \sqrt{\frac{m}{K_{\Gamma}c}}, \quad (1.6)$$

где  $H_{\Gamma}$  – высота ЗВТ;  $m$  – вынимаемая мощность пласта;  $K_{\Gamma}$  – граничная кривизна,  $c$  – относительный центр распределения пород подработанной толщи [39].

Относительный центр распределения пород подработанной толщи рассчитывается по формуле (1.7):

$$c = \frac{L_{\phi}}{L}, \quad (1.7)$$

где  $L_{\phi}$  – расстояние от пласта до фактического положения центра распределения масс (мощностей) слоев (1.8), м;  $L$  – расстояние до центра масс (мощностей) слоев в случае их равномерного распределения в пределах рассматриваемой толщи, м (рисунок 1.3);

$$L_{\phi} = \sum_1^n l_i / n, \quad (1.8)$$

где  $n$  – количество слоев в толще пород над пластом;  $l_1, l_2, \dots, l_n$  – расстояние до почвы отдельных породных слоев, слагающих толщу, м;

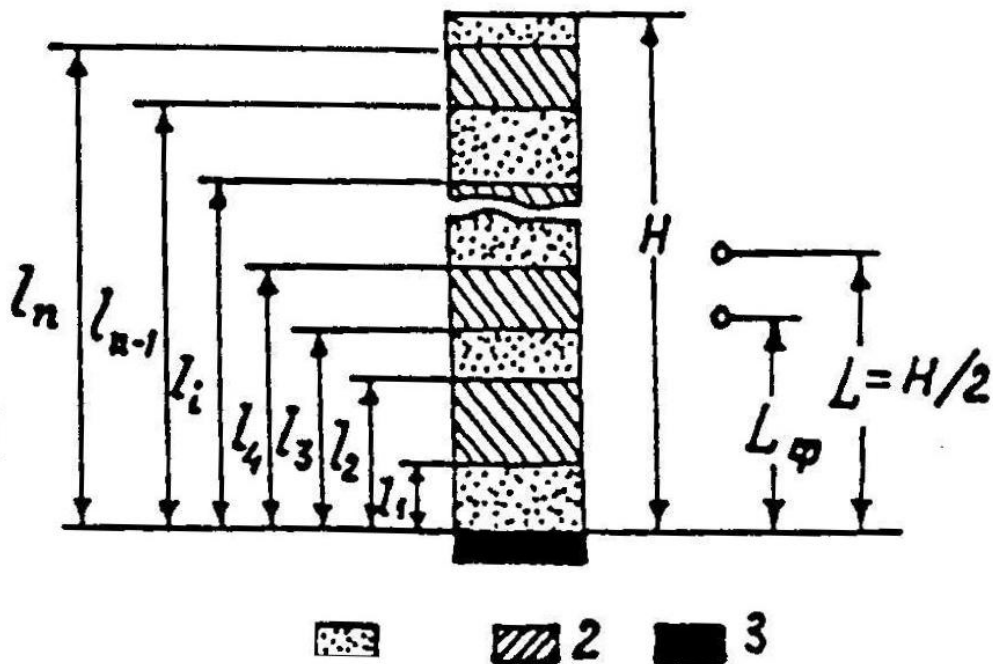


Рисунок 1.3 - Схема определения относительного центра масс (мощностей) породных слоев.

$l_1, l_2, \dots, l_n$  – расстояние до почвы отдельных породных слоев, слагающих толщу;  $L_{\phi}$  – расстояние от пласта до фактического положения центра распределения масс (мощностей) слоев;  $L$  – расстояние до центра масс (мощностей) слоев в случае их равномерного распределения в пределах рассматриваемой толщи;  $H$  – глубина пласта



1 – песчаник; 2 – алевролит, аргиллит; 3 – пласт.

Данная методика показала высокую точность и достоверность расчётов высоты зоны водопродящих трещин, применимую для месторождений со слоистой структурой пород глинистого состава. В связи с свойствами перекрывающей толщи Яковлевского месторождения, методика применима для прогноза распространения гидропроводимых трещин [39].

### 1.5 Безопасное ведение горных работ под водными объектами

Мерой предупреждения больших водопритоков в горные выработки является отвод водотока с подрабатываемой площади, откачка или спуск воды из водоемов, затопленных выработок и обводненных пород. Однако, эта мера не всегда экономически целесообразна, а для водных объектов, подлежащих охране, она не приемлема. В большинстве случаев, для предотвращения водопритоков под водным объектом оставляется предохранительный целик, нижней границей которого является горизонт безопасной глубины.

Согласно [112] «безопасная глубина разработки под наземными водотоками  $H_6$  определяется по формуле» (1.9):

$$H_6 = K_6 m, \quad (1.9)$$

где « $m$  – вынимаемая мощность пласта,  $K_6$  – коэффициент безопасности. Значения  $K_6$  приняты на основе данных о результатах подработки водных объектов в различных бассейнах в зависимости от размеров водного объекта, угла падения пласта, а в некоторых случаях, от мощности глинистых наносов» [21].

При отработке нескольких пластов формула (1.9) приобретает следующий вид (1.10):

$$H_6 = K_6 \sum m, \quad (1.10)$$

«где  $K_6$  – коэффициент безопасности,  $\sum m$  – суммарная мощность отработанных пластов».

Рассчитывая безопасную глубину по формуле (1.10) приходится оставлять большие запасы полезного ископаемого в предохранительных целиках. Если же не учитывать ранее подработанные пласты, то возможны прорывы воды в

выработки вышележащего пласта. В мировой практике, значения предохранительных целиков стараются завысить, чтобы избежать водопритокков [39].

### 1.6 Опыт подработки водных объектов

С вопросами разработки месторождений полезных ископаемых под реками, озерами и водоносными горизонтами сталкивается достаточно большое количество предприятий. В Криворожском бассейне рудники им. Ф.Э. Дзержинского, им. С.М. Кирова, им. К. Либкнехта, им. Коминтерна и им. М.В. Фрунзе разрабатываются под мощным водоносным комплексом, часть запасов железных руд шахты «Центральная» рудника Ингулец отрабатывается под рекой [84]. В сложных горно-геологических условиях разрабатываются месторождение Миргалимсайское, Талнахское и Северо-Уральского бокситового рудника [84].

Безопасная глубина в Великобритании рассчитывается следующим образом (1.11):

$$H_6 = C \frac{\eta}{E}, \quad (1.11)$$

$C$ -коэффициент, который берется с графика в Справочнике инженера по оседанию поверхности,  $\eta$  – максимальное оседание кровли над выработками,  $E$  – критическая горизонтальная деформация морского дна, которая не должна превышать 10мм/м [151].

В 20 веке в Японии была развита угольная промышленность. Часть подземных выработок располагались под морским дном. При отсутствии осадочных пород на поверхности третичных отложений безопасная глубина принимается равно 100м, при мощности осадочных пород не менее 30м за величину безопасную глубины принимают 50м. В связи с аварией на атомной станции Фукусима-1 и введением жестких правил безопасности на объектах данного типа, в стране вырос спрос на каменный уголь.

Отдельное внимание уделяется разработке месторождений калийных солей под водными объектами, поскольку вопросы гипроводимости являются очень важными, даже незначительные трещины, связывающие горный массив и водный объект недопустимы. Главной проблемой аварийности на соляных рудниках

является их затопляемость, с ней сталкивались до 50% подобных предприятий [104].

Рассмотрение аварийных ситуаций, возникавших в различное время в основных калийных бассейнах Германии, показало, что в начальный период существования предприятий по добыче калийных руд главной причиной прорывов рассолов и воды в выработке являлась поверхностная информация о геологии и гидрогеологии подрабатываемых участков месторождений [104]. Работы велись практически при отсутствии водозащитной толщи пород. Рудники Иессенитц и Фридрих-Франц были затоплены через 10 лет после начала эксплуатации. Рудники Вильгельмсгалль, Карлсфунде I и II, Гельдрунген эксплуатировались более 20 лет при продолжавшихся притоках. В бассейнах Южного Гарца разработка велась камерной системой с закладкой камер, поскольку опасность водоприток в большей степени связана с породами лежащего бока, но, несмотря на это, на пяти рудниках были отмечены поступления рассолов в горные выработки [104]. Принятая система разработки на рудниках Бернтероде, Зольштадт, Бисмарк – галль - Бишоффероде, Нейе - Блейхероде предотвращала интенсивность развития водопроводящих систем трещин [104].

Имеющийся фактический материал о водопроявлениях на калийных рудниках Канады позволяет разделить водопроявления на две группы: случаи, происшедшие при вскрытии одиночными выработками зон нарушений, связанных с водоносными породами, и случаи, когда проникновение вод являлось следствием нарушения целостности пород, вмещающих разрабатываемый пласт. К первой группе относятся затопленные рудники "Пеншнс Лейк" и авария на руднике "Роканвилль", ко второй - небольшие рассолопроявления на руднике "Кори", водопритоки на рудниках "Колонсей", "Ванской", "Джеральд (K2)" [104].

В СССР также столкнулись с такой проблемой. Аварийные водопритоки на рудниках, разрабатывавших пласты Солотвинского и Соль-Илецкого месторождений солей, объясняются отсутствием обоснованных прогнозов изменения устойчивости целиков и потолочин с течением времени. Авария на

Березниковском калийном руднике III также явилась следствием недостаточной изученности характера изменений, происходящих в толще пород между водоносным горизонтом и горными выработками, в результате применения параметров камерной системы, приводящих к интенсификации сдвижения толщи над отработывавшимися участками [104].

### **1.7 Исследование процессов сдвижения и деформаций в первично и повторно подработанном массиве**

В общем случае, процесс сдвижения по качественным и количественным признакам делится на сдвижение горных пород в первично и повторно подрабатываемом массиве.

Сдвигения первичноподработанного массива горных рассматривают в зависимости от деформирования и состояния пород в различных зонах, а сами деформации изгибов слоев в сторону выработанного пространства представляют, как изгиб плит или балок [2, 72, 85, 91]. Естественное состояние массива пород меняется при ведении горных пород - отработки первого пласта, он становится механически ослабленным и разуплотненным. Сдвигения и деформации в массиве и на поверхности в мульде меняются с введением в эксплуатацию каждого последующего слоя: увеличиваются размеры мульды сдвижения на земной поверхности

Вопрос повторной подработки изучен мало, но все же есть исследования, прямо или косвенно касающиеся процессов сдвижения в этих условиях [21, 22, 79, 91, 106, 113, 126, 103, 153]. Г.Л.Фисенко и В.Н.Земисев рассматривают первичную подработку как необратимое расширение (разуплотнение). Если такой массив подработать еще раз, то его повторное разуплотнение в вертикальном направлении будет меньше, чем первичное [153]. Эта модель была подтверждена в натуральных условиях при исследовании процессов активизации от повторной подработки С.А.Медянцевым [103]. Кроме того, структурных нарушений (пустот, отслоений), способных повлиять на распределение деформаций в массиве в зоне

полных сдвижений не обнаружено. Однако, прямого определения деформаций слоев массива и, в частности, кривизны слоев не проводилось.

При последовательной повторной подработке выделяют три варианта накопления деформации по [72]:

1) выработки являются взаимовлияющими – суммарная деформация получается путем сложения максимальных деформаций, полученных от каждой выработки;

2) выработки не являются взаимовлияющими и над границами очистной выработки второго пласта имеет место полная подработка (плоское дно) в первом пласте, в этом случае суммарная деформация складывается и максимальной деформации второго пласта с остаточными деформациями в плоском дне первого пласта, которые зависят от горно-геологических условия месторождения и могут составлять от 0,35 до 0,50 [118] от максимальных деформаций в мульде сдвижения.

3) выработки не являются взаимовлияющими и над границами очистной выработки второго пласта расположен целик, в этом случае деформации не суммируются, и каждая выработка рассматривается как одиночная.

В работе [72] были рассмотрены случаи определения высоты зоны водопродящих трещин при выемке свит из двух или трех пластов по натурным данным. Анализ данных показал, что при выемке второго и третьего пласта свиты высота зоны водопродящих трещин практически не увеличивается, а если увеличивается, то на незначительную величину, оставаясь меньше регламентируемой в 1,3-3,8 раза.

### **1.8 Прогнозные методики распространения зоны водопродящих трещин при повторной подработке при различном взаимном положении границ остановки очистных работ.**

Согласно ранее действовавшим Правилам охраны 1981 г. [118] безопасная глубина, определяемая через высоту зоны водопродящих трещин, определялась для самого неблагоприятного случая – полного совпадения границ очистных выработок по пластам (слоям), когда сложение деформаций будет максимальным

и увеличение высоты зоны водопродящих трещин вследствие этого будет тоже максимальным.

Согласно Правилам охраны 1998 г. [118] пласты (слои) разделялись на группы совместно разрабатываемых пластов (слоев) (под совместно разрабатываемыми пластами понимают такие, выработки в которых вызывают сложение однозначных деформаций в зоне влияния). При совместной отработке безопасная глубина определяется по аналогии с Правилами 1981 г. При последовательной отработке нескольких пластов под водными объектами косвенно, учитывается степень совпадения границ выработок по различным пластам, влияющая через сложение деформаций на величину развития высоты зоны водопродящих трещин.

В.Н. Дешковский рассматривал вопрос о влиянии взаимного положения границ очистных выработок для пологих пластов месторождений калийных солей [70]. Теория основана на принципе расчета высоты зоны водопродящих трещин через граничные деформации, определяемые в зависимости от системы разработки и глубины ведения работ. Такой подход в общем соответствует нашим представлениям о распространении зоны водопродящих трещин в условиях повторно подрабатываемого массива горных пород.

В работе [39] закон накопления деформаций взаимного положения границ остановки очистного пространства по различным пластам принимается линейным, а за максимально возможное значение кривизны принимается значение при полном совпадении границ выработок по пластам. За полное совпадение принято условие, когда границы выработок по различным пластам располагаются друг под другом по нормали к напластованию.

Исходя из вышесказанного, для изучения накопления деформаций при повторной подработке массива необходимо работать с функциями типовых кривых, выведенных для конкретного месторождения. При этом необходимо выявить характер сдвижений и накоплений деформаций при работе с месторождениями со сложной геологией.

### 1.9 Выводы по главе 1

1. Анализ состояния изученности проблемы показал, что при отработке слоев (пластов) происходит сдвиг и деформации слоев массива горных пород, вследствие чего в последнем развиваются техногенные водопроницаемые трещины по напластованию и по нормали к пластам. Это приводит к изменению проницаемости массива горных пород относительно естественной и снижению уровня подземных вод в слоях, расположенных под водоупором. Важным показателем нарушенности массива является высота распространения зоны водопроницаемых трещин, которая напрямую зависит от деформаций кривизны в массиве.
2. Если распределения кривизны в первично подработанном массиве изучено достаточно полно, то в повторно подрабатываемом массиве непосредственные измерения носят эпизодический характер.
3. Действующие нормы по определению безопасных условий выемки слоев (пластов) под водными объектами недостаточно учитывают особенности развития зоны водопроницаемых трещин в повторно подрабатываемом массиве, что приводит, как показали исследования, к завышению высоты зоны водопроницаемых трещин до 1.5 раз.

## Глава 2 Определение особенностей процессов сдвижений и деформаций горных пород на Яковлевском руднике

### 2.1 Геологические особенности строения Яковлевского месторождения

Яковлевское месторождение Белгородского железорудного района Курской магнитной аномалии с исключительным содержанием железа в рудах, а также по сложности инженерно-геологических условий. Данные запасы оцениваются более 7 млрд. т., содержание железа в руде более 60%. В 1957 году предпринималась попытка добычи богатых железных руд, однако, она привела к затоплению рудника. Возобновились горные работы только в 1997 года, начато осушение рудной толщи подземными дренажными скважинами, а в 2005 году началась добыча железной руды [20].

Административное расположение Яковлевский район Белгородской области (40 км к СЗ от г. Белгород). Месторождение представляет собой синклиналиную складку, протяженность более 70 км, ширина от 0,8-2,0 км. К западному крылу складки приурочена Яковлевская полоса железистых кварцитов. Падение пород, слагающих месторождение, северо-восточное, угол падения 60-70<sup>0</sup>, простирание северо-западное при азимуте 320<sup>0</sup> [20].

Из-за тяжелых горнотехнических условий применяется «система разработки с нисходящей послойной выемкой и закладкой выработанного пространства.» В первую очередь возводится железобетонная потолочина. После её возведения нисходящими слоями 5 х 5 м производится очистная выемка. Слои нарезаются слоевыми выработками тех же размеров, пройденных по лежащему и висячему бокам. Каждая выработка после проходки закладывается смесью с пределом прочности на сжатие  $\sigma_{сж} = 4,0-4,5$  МПа [20].

Для прогноза зоны сдвижения вследствие разработки месторождения, подрабатываемый массив горных пород по своим структурным и физико-механическим свойствам разделен на две составные части (рисунок 2.1):

- Осадочная (перекрывающая толща);



- Породы кристаллического фундамента (рудовмещающая толща)

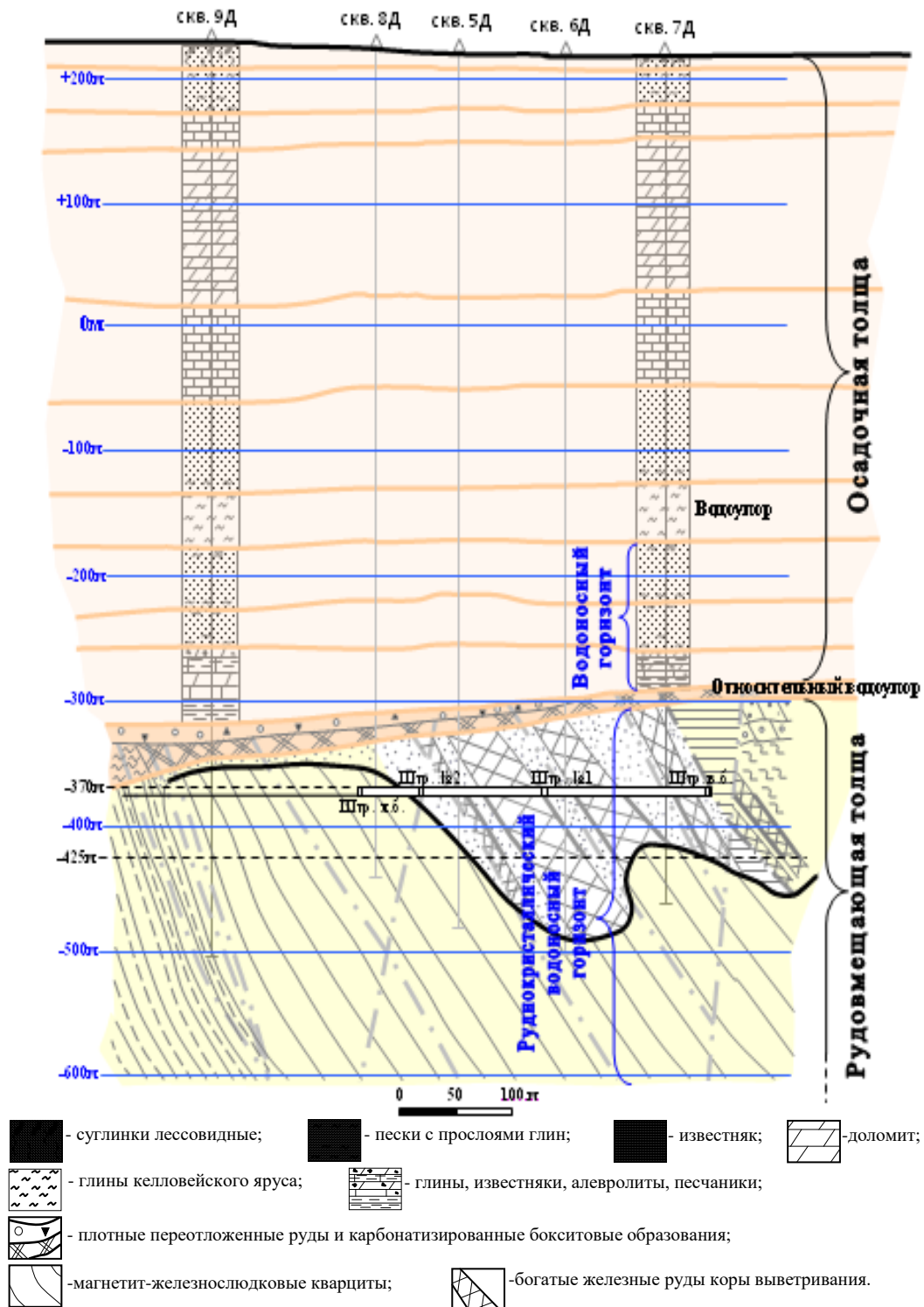


Рисунок 2.1 - Геологическое строение Яковлевского месторождения богатых

Осадочная толща включает в себя четвертичные, палеогеновые и меловые отложения, а также 6 водоносных горизонтах (рисунок 2.2). Опасность по порывам воды представляет только нижнекаменноугольный водоносный

горизонт. Остальные водоносные горизонты не представляют опасности, поскольку ограничены водоупором, состоящим из глин келловейского яруса.

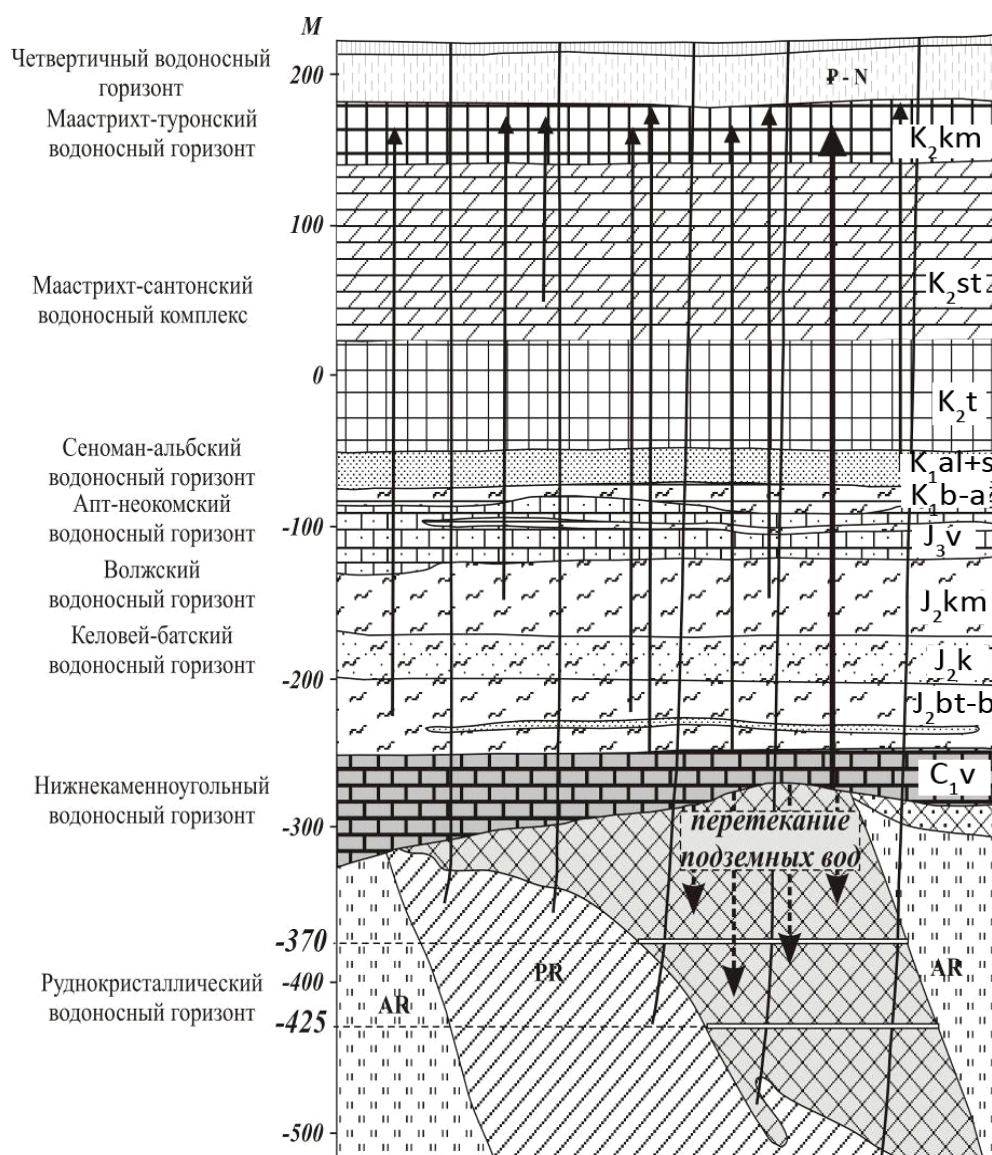


Рисунок 2.2 - Разрез Яковлевского рудника

Четвертичные отложения (Q) представлены элювиально-делювиальными суглинками, покрывающими водораздельные пространства и склоны долин, песчано-глинистыми и галечниковыми аллювиальными отложениям. Общая мощность отложений достигает 25 м.

Палеогеновые отложения (P) представляют собой «водоразделы», представлены разнозернистыми песками каневских и бучакских слоев, тонко-горизонтально-слоистыми глинами киевской свиты, перекрытыми песчано-

глинистыми породами харьковских и полтавских слоев. Мощность составляет от 3 до 55 м.»

Меловые отложения (К) на месторождении развиты повсеместно и представлены терригенной толщей неоком-апта (песчаные глины, чередующиеся с прослоями песков) и альб-сеномана (мелкозернистые кварцевые пески) и карбонатной толщей (мела и мергели) туронского, коньякского, сантонского, кампанского и маастрихтского ярусов. «Общая мощность меловых отложений составляет 210-260 м.

Каменноугольный водоносный горизонт (С) состоит из известняков с включениями в нижней части толщи линз углистых глин. Мощность водоносного горизонта составляет 20-80 метров.

Руднокристаллическая толща включает в себя самое месторождение, а также карбонатизированные породы разной степени твердости (рисунок 2.3).

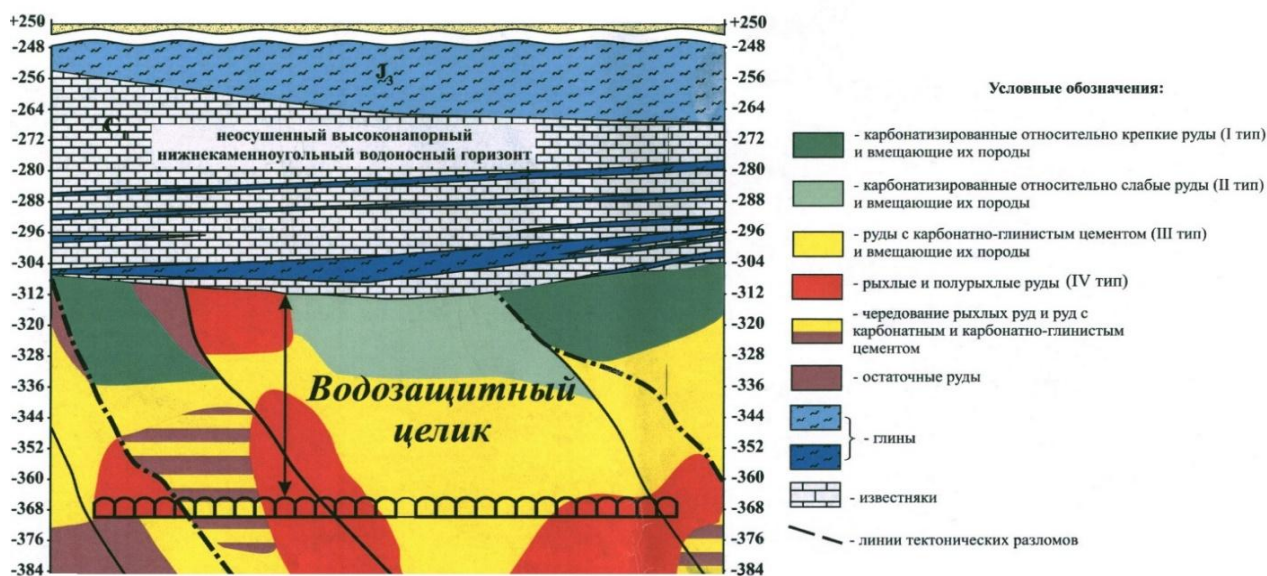


Рисунок 2.3 - Строение водооградительного щелика и вышележащей нижнекаменноугольной толщи.

«Рудная залежь имеет изменчивую форму. Слабые железные руды залегают под покровом осадочной толщи на глубине 470-550м, при этом карбонатизированные руды выступают в роли жесткого каркаса. Нижняя граница богатых руд очень неровная. Руды в виде языков и карманов уходят на значительную глубину, достигающую 200-500 м от поверхности докембрия.

Характер контактов руд с подстилающими кварцитами неодинаков – от резких контактов до постепенных переходов. Мощность переходной зоны непостоянна и изменяется от 1-2 м до 20-25 м.

Таким образом, природная геологическая среда освоения месторождения требует разработки специальных мер защиты горных работ от подземных вод.

В НТЦ «НОВОТЭК» [20] при проведении научно-исследовательских работ выявили слабую гидравлическую связь камноугольного водоносного горизонта и рудовмещающей толщи. Была установлена безопасная глубина ведения горных работ и определена высота водозащитного целика, которая составила 65м.

Анализ геологического строения показывает, что породы подрабатываемого массива железных руд и породы осадочной толщи сильно отличаются друг от друга. Породы перекрывающей толщи имеют рыхлую структуру, низкую крепость ( $f \leq 0.3$ ), большой угол падения  $60-70^{\circ}$ , предел прочности на сжатие 0.62-1.70 МПа. Осадочная тоща, в свою очередь, подставлена твердыми породами, с крепостью от 3 до 5, пологим залеганием  $3-4^{\circ}$ , предел прочности на сжатие от 4, 36 до 58 Мпа [20].

Процессы сдвижения в каждой толще обусловлены физико-механическими свойствами, очевидно, что представленные породы имеют разный механизм сдвижения. Породы с низкой крепостью оседают быстрее, чем породы с высокой крепостью. Что ведет к образованию отслоений и пустот в массиве горных пород. Сначала образуются микромульды, опережающие сдвижения крепких пород. По мере развития горных работ полости увеличиваются, с течением времени, опускаются и твердые породы, которые за счет своего веса продавливают мягкие породы.

Степень нарушенности рудной и осадочной толщ контролируется посредством которого развитие зоны водопродящих трещин, с помощью прогноза местоположения верхней границы ЗВТ, приуроченной к слою с граничной кривизной ( $K_r$ ).

С целью изучения сдвижения горных пород, а также прогнозов водопритоков в шахту период с 2007 по 2014 год на Яковлевском руднике

проводился геомеханический мониторинг с помощью сети подземных и наземных реперов [49, 57, 55, 56, 73, 74, 76, 121, 122, 144, 141, 146, 148]. Сеть глубинных реперов закладывалась в 2007 году на горизонте -370 м сотрудниками кафедры маркшейдерского дела Горного института совместно с сотрудниками маркшейдерского отдела Яковлевского рудника. Для закрепления репера бурилась скважина на 9 метров, это расстояние было выбрано в связи с отслоением пород.

К настоящему времени накоплен большой объем наблюдений за сдвижением и деформациями горных пород в период отработки гор. -370 м, что позволило выявить, после его обобщения, характерные особенности протекания процессов сдвижения горных пород.

## 2.2 Определение относительного максимального оседания на Яковлевском руднике

Согласно [118] максимальное оседание  $\eta_m$  в общем виде определяется из выражения (2.1):

$$\eta_m = q_0 m_3 N_1 N_2 \cos \alpha, \quad (2.1)$$

«где  $q_0$  – относительное максимальное оседание;  $m_3$  – эффективная мощность выемки, в данном случае она принимается равной величине недозакладки первого слоя;  $N_1$ ,  $N_2$  – коэффициенты, учитывающие степень подработанности, соответственно, вкрест и по простиранию извлекаемого слоя;  $\alpha$  – угол падения слоя.»

Отсюда относительного максимального оседание составляет (2.2)

$$q_0 = \frac{\eta_m}{m_3 N_1 N_2 \cos \alpha}, \quad (2.2)$$

Величина недозакладки первого слоя согласно ранее проведенных исследованиям [76] составляет величину  $m_3=0,4$  м. Поскольку отрабатываемый 1-ый слой имеет горизонтальные залегания, то в формуле (2.2)  $\cos \alpha = 1$ . К настоящему моменту первый слой практически полностью отработан, поэтому в формуле (2.2) можно принять, что  $N_1=N_2=1$ . Максимальное оседание по данным

натурных наблюдений на профильных линиях поверхности (Rp 34 профильной линии II-II на рисунке 3.1) составило  $\eta_m=0.272\text{м}$ . Отсюда относительное максимальное оседание получится равным  $q_0 = 0,227\text{м}/0,4\text{м} = 0,57$ , а формула для определения максимального оседания для условий полной подработки (т.е. для максимально возможного развития оседаний) будет иметь следующий вид (2.3):

$$\eta_m = q_0 m_3, \quad (2.3)$$

где  $m_3$  – см. формулу (2.1).

При известной степени подработанности вынимаемого слоя формула (2.3) примет следующий вид (2.4):

$$\eta_m = q_0 m_3 N_1 N_2, \quad (2.4)$$

где  $q_0$ ,  $m_3$ ,  $N_1$ ,  $N_2$  – см. формулу (1).

Адаптированное к рассматриваемым условиям максимальное оседание в дальнейшем использовано при разработке инженерного метода прогноза сдвижений и деформаций, на основе функций типовых кривых оседаний, наклонов и кривизны.

### **2.3 Сдвигения и деформации на контакте перекрывающей и рудовмещающей толщ**

Анализ данных геомеханического мониторинга показал, что в таких горно-геологических условиях процессы протекания сдвижений в рудной толще будут отличаться от процессов сдвижения в перекрывающей осадочной толще. Это различие выявилось через расчеты оседаний отдельно для осадочной и рудовмещающей толщ по данным соответствующих наблюдений за сдвижением горных пород станций на поверхности и под землей. Оценка сдвижений была произведена на контакте относительного водоупора с рудным телом (рисунок 2.1). Для корректного сопоставления отдельно полученных оседаний на контакте осадочной и рудовмещающей толщ было соблюдено условие расположения в одной вертикальной плоскости глубинных реперов подземной станции и реперов профильной линии на поверхности.

Оседание на контакте определялось сначала исходя из закономерностей протекания процессов сдвижения по данным геомеханического мониторинга



подземной наблюдательной станции [49, 57, 55, 56, 73, 74, 76, 121, 122, 144, 141, 146, 148]. Для этого использовалась, применительно к рассматриваемым условиям, закономерность распределения оседаний в подрабатываемой толще, установленная профессором С.Г. Авершиным (2.5) [11]:

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \sqrt{\frac{H_2}{H_1}}, \quad (2.5)$$

где  $\eta_1$  – оседание глубинного репера (Рр 22) подземной наблюдательной станции, заложенного в кровлю горной выработки гор. -370 м в скважину на глубину 9.0 м;  $\eta_2$  – искомое оседание на контакте осадочной толщи и рудного тела;  $H_1$  – глубина заложения репера Рр 22 ( $H_1 = 9.0$  м);  $H_2$  – расстояние по вертикали от горной выработки гор. -370 м до контакта между осадочной и рудовмещающей толщами. Отсюда оседание на рассматриваемом контакте определится как (2.6) [95]:

$$\eta_2 = \eta_1 \sqrt{\frac{H_1}{H_2}}. \quad (2.6)$$

Затем оседание того же контакта определялось, исходя из закономерностей протекания процесса сдвижения по данным геомеханического мониторинга наблюдательной станции на поверхности. Оседания определялись по аналогии с приведенной выше схемой, т.е. с использованием выражений (2.5) и (2.6). Только в качестве оседания  $\eta_1$  принималось оседание участка профильной линии на поверхности, местоположение которого было определено через взаимовлияние на него сдвижения глубинного репера Рр 22 подземной наблюдательной станции гор. -370 м. В качестве  $H_1$  бралось расстояние по вертикали от горной выработки гор. -370 м до поверхностной наблюдательной станции. В качестве  $H_2$  бралось расстояние по вертикали от горной выработки гор. -370 м до контакта между осадочной и рудовмещающей толщами [95].

Взаимовлияние сдвижений гор. -370 м на поверхность определялось из принятого положения о том, что пространственные сдвижения точек происходят по направлению к центру тяжести (ц.т.) подрабатываемых слоев, который лежит в точке пересечения линий, являющихся продолжениями построенных у контура выработки граничных углов (рисунок 2.4) получены с запасом [91]. Углы сдвижения по данным мониторинговых наблюдений за сдвижением реперов профильной линии для этих условий составили:  $\beta = 80^\circ$ ,  $\gamma = 81^\circ$  (рисунок 2.4). Для решения инженерных задач, связанных с определением зон влияния сдвижений и деформаций вследствие ведения горных работ, рекомендуется использовать граничные углы сдвижения, полученные углы и по результатам мониторинговых наблюдений за сдвижением реперов профильных линий для рассматриваемых горно-геологических условий [95]. Граничные углы определялись по данным мониторинговых наблюдений за сдвижением реперов профильной линии на поверхности по граничному наклону ( $i_{гр} = 0.5 \cdot 10^{-3}$ ) и оседанию ( $\eta_{гр} = 10$  мм) [78]. В результате граничные углы составили:  $\beta_0 = 69^\circ$ ,  $\gamma_0 = 73^\circ$ . Значения этих углов практически совпали с углами сдвижения  $\beta = 70^\circ$ ,  $\gamma = 70^\circ$ , которые определялись отдельно для рудовмещающей [126] и осадочной [118] (толщ с последующей заменой на углы линий, соединяющих полученную границу мульды сдвижения с границей выработанного пространства (рисунок 2.4). Отсюда, используя граничные углы и максимальное оседание, полученное по натурным данным, длина полу мульды в крест простирания пласта к рудной залежи составила  $L_1=332$  м [95].



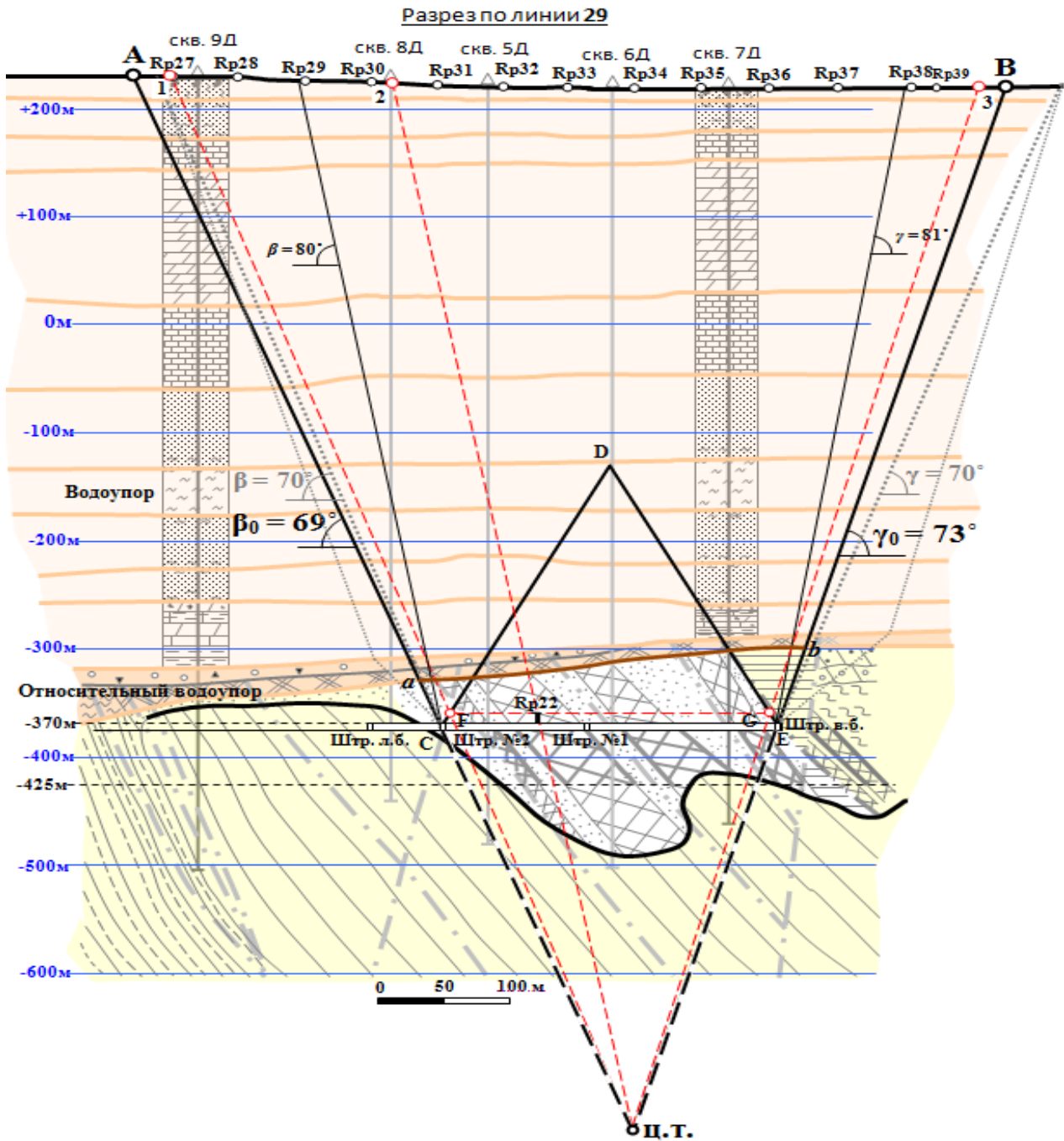


Рисунок 2.4- Схема к определению влияния сдвижений репера  $Rp22$  подземной наблюдательной станции на сдвигение поверхности: ц.т. – центр тяжести подрабатываемых слоев; 1-ц.т., 2-ц.т., 3-ц.т. – соответственно направления сдвижения точек 1, 2, 3;  $CDE$  – зона полных сдвижений;  $FG$  – слой, в котором заложен  $Rp22$ ;  $ab$  – контакт осадочной и рудовмещающей толщ.

Таким образом, ранее используемые при прогнозах эти углы сдвига были получены с запасом. Используя полученные из натуральных наблюдений за сдвижением горных пород граничные углы ( $\beta_0 = 69^\circ$ ,  $\gamma_0 = 73^\circ$ ), был определен центр тяжести сдвигающихся подработанных слоев массива горных пород. Местоположение скважины с глубинным репером *Rp22* подземной наблюдательной станции гор. -370 м показано на рисунке 2.4, из которого следует, что этот репер находится в зоне полных сдвижений (*CDE* на рисунке 2.4). Влияние по контуру зоны полных сдвижений на сдвижения пород за пределами этой зоны будет, во-первых, через слой, в котором заложен *Rp22*, в точках *F* и *G*, во-вторых, через сдвижение в точке расположения глубинного репера *Rp22* (рисунке 2.4). Сдвижение участков на поверхности, а точнее в отдельных её точках, вызванное влиянием сдвига в точках массива горных пород, происходит по направлению к центру тяжести (ц.т.). Поэтому, проведя линии через ц.т. и точки *F*, *G* и *Rp22* до пересечения с поверхностью, получим точки 1, 2, 3, сдвижение в которых вызвано сдвижением в указанных точках массива горных пород (рисунке 2.4). Далее в этих точках, используя результаты наблюдений за сдвижением горных пород на поверхности и в горных выработках, были определены оседания на различные даты наблюдений [95].

Таким образом, все исходные данные для изучения процессов сдвига по изложенному выше принципу отдельного учета особенностей сдвига пород перекрывающей и рудовмещающей толщ, непосредственно связаны с геомеханическими процессами, протекающими в натуральных условиях конкретного участка месторождения. Результаты расчетов оседания на рассматриваемом контакте по формулам (2.3), (2.4) отдельно через оседания перекрывающей осадочной толщи (в точках 1, 2, 3 на рисунке 2.4) и оседания рудовмещающей толщи (в точке *Rp22* на рисунке 2.4) приведены на графике (рисунке 2.5).

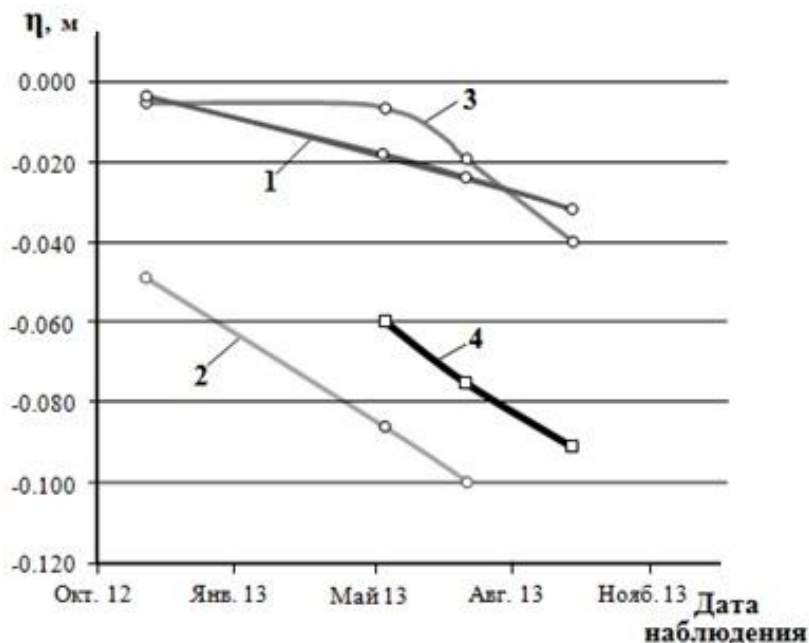


Рисунок 2.5 - Графики оседаний на контакте *ab* осадочной и рудовмещающей толщ (рисунок 2.4):

1, 3 – оседание пород осадочной толщи на контакте *ab* соответственно на линиях влияния, проходящих через точки 1 и 3 (рисунок 2.4); 2 - оседание пород осадочной толщи на контакте *ab* на линии влияния, проходящей через точку 2 (рисунок 2.4); 4 – оседание пород рудовмещающей толщи на контакте *ab* на линии влияния глубинного репера *Rp 22*.

Как следует из графиков (рисунок 2.5) со стороны лежачего бока на контакте *ab* (в районе *F* на рисунке 2.4) образуется полость отслоения с раскрытием 43 – 60 мм (кривая 4 опережает по оседаниям кривую 1 на рисунке 2.5). В центральной части мульды сдвижения на контакте *ab* (в районе *Rp22* на рисунке 2.4) слои, опускаясь на слабые рудовмещающие породы, вдавливаются в них на величину 25 – 27 мм (кривая оседаний 4 отстает по оседаниям от кривого оседания 2 на рисунок 2.5). Со стороны висячего бока на контакте *ab* (в районе т. *G* на рисунке 2.4) также образуется полость отслоения с раскрытием 51 – 54 мм (кривая 4 опережает по оседаниям кривую 3 на рисунке 2.5). Отсюда получается, что слабые породы рудного тела, имеющие крутой угол падения (65-70°), при

сдвигении разрыхляются и опускаются в выработанное (в данном случае недозаложенное) пространство без образования в приконтактной зоне явно выраженной мульды сдвигения [95]. На разрыхленные слабые породы рудной толщи в приконтактной зоне (*ab* на рисунке 2.4) опускаются горизонтально залегающие породы осадочной толщи с образованием характерной для слоистой толщи мульды сдвигения [95]. При этом в районах лежачего и в висячего боках рудного тела, находящегося в «каменном мешке», за счет изгибов пород осадочной толщи в приконтактной зоне с положительной кривизной и их отстаивания по оседаниям от пород рудовмещающей толщи (рисунок 2.5) образуются полости со средним раскрытием 52 мм [95]. Далее, в центральной части этой мульды, кривизна изгиба пород осадочной толщи на контакте *ab* (рисунок 2.4) меняет знак на противоположный (на минус), переходит в плоское дно, опережая по оседаниям породы рудовмещающей толщи (рисунок 2.5) [95]. В результате происходит вдавливание крепких пород осадочной толщи в разрыхленные процессами сдвигения слабые породы рудного тела в среднем на величину 26 мм [95]. С механической точки зрения этот процесс указывает на то, что происходит отжим разрыхленных процессами сдвигения пород рудной толщи в образовавшиеся полости отслоений, частично уменьшая их размеры раскрытия и объем примерно в два раза [95]. Возможно, заполнение полостей отслоения происходит на большую величину, так как выдавливается увеличенная в объеме разрыхленная масса слабых пород рудной толщи [95].

Оставшиеся не заполненными разрыхленными породами части полостей отслоения могут аккумулировать в себе воду. Это может приводить к временному увеличению водопритоков в горные выработки при попадании в полость отслоения скважиной или пересечении ее (полости) тектонической трещиной [95].

Таким образом, для прогноза сдвижений и деформаций на поверхности Яковлевского рудника необходимо преимущественно использовать данные мониторинга поверхностных реперов. Поскольку вышележащая толща будет играть определяющую роль в сдвигении.

## 2.4 Выводы по главе 2

1. Горно-геологические условия Яковлевского месторождения характеризуются большой сложностью, обуславливая повышенную степень опасности подземных горных работ на одноименном горнодобывающем предприятии.
2. На основе анализа данных мониторинговых наблюдений за сдвижением реперов поверхности получены граничные углы и углы сдвижения для определения границ мульды зоны опасного влияния горных работ.
3. Для прогноза максимального оседания с учетом горно-геологических условий Яковлевского рудника выведена формула относительного максимального оседания.
4. Выявлен механизм образования полостей отслоения на контакте толщ на основе полученного различия в закономерностях распределения сдвижения горных пород перекрывающей и рудовмещающей толщ.

### Глава 3 Определение типовых кривых вертикальных сдвижений и деформаций для горно-геологических условий Яковлевского рудника

Образование зоны водопрводящих трещин (ЗВТ) связано с распределением вертикальных сдвижений и деформаций подрабатываемого массива горных пород, поэтому прогноз ее развития может быть осуществлен на основе предрасчета сдвижений и деформаций методом типовых кривых [96]. При этом, метод позволяет прогнозировать распределение сдвижений и деформаций на поверхности и в слоях массива горных пород при определенных допущениях. В основе метода лежит использование типовых кривых, представляющих собой функции распределения в мульде сдвижения вертикальных и горизонтальных деформаций, отражающие специфику геомеханических процессов месторождений [96]. Поэтому для получения типовых кривых, отражающих закономерности сдвижения горных пород Яковлевского месторождения богатых железных руд (БЖР), были использованы данные периодических наблюдений за сдвижением реперов профильных линий, расположенных на участках ведения горных работ по выемке первого горизонтального рудного слоя [49, 57, 55, 56, 73, 74, 76, 121, 122, 144, 141, 146, 148]. Для анализа брались оседания реперов профильных линий в пределах от репера с максимальным оседанием до репера с граничным значением деформаций, то есть в пределах полумульды [96].

По данным геомеханического мониторинга, проведенного с 2007 по 2014 год, были рассмотрены поверхностные реперы  $Rp16$ ,  $Rp17$ ,  $Rp56-59$  и  $Rp28-34$  из сформировавшихся линий вкрест простирания пласта (рисунок 3.1). Рассмотрена закономерность изменения величин оседания от точки с максимальным оседанием до края мульды сдвижения для I-I и II-II линии реперов [96].

Рассматривались оседания на момент ноября 2013 года поскольку, только в этот период есть наибольшее количество данных съемки маркшейдерского отдела с максимальным охватом области сдвижений [96].

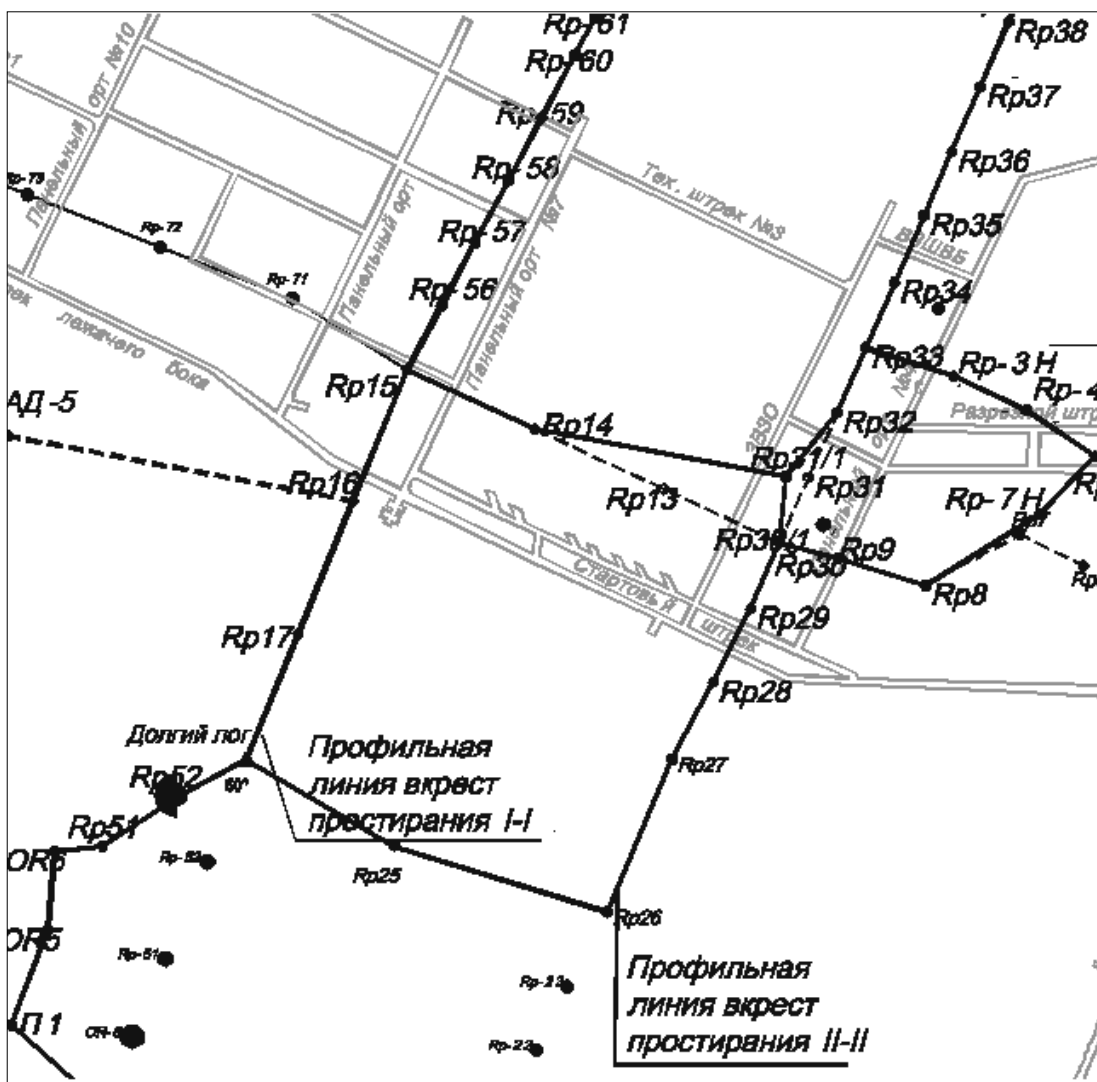


Рисунок 3.1. - Схема расположения поверхностных реперов относительно выработок

В таблицах 3.1 и 3.2 приведены данные оседаний для рассматриваемых реперов.

Таблица 3.1 - Данные оседаний по I-I линии вкрест простирания пласта

№ репера	$\eta$ , м
Rp16	-0,004
Rp15	-0,012
Rp56	-0,023
Rp57	-0,024
Rp58	-0,024
Rp59	-0,027

Таблица 3.2 - Данные оседаний по II-II линии вкрест простирания пласта

№ репера	$\eta$ , м
Rp28	-0,076
Rp29	-0,112
Rp30/1	-0,142
Rp32	-0,209
Rp33	-0,222
Rp34	-0,227
Rp35	-0,212

Значения функции распределения оседаний в рассматриваемой точке с относительной координатой (3.1):

$$z = \frac{x}{L}, \quad (3.1)$$

на каждой их рассматриваемых линий определялось по формуле (3.2):

$$S(z) = \eta_z / \eta_{\max}, \quad (3.2)$$

«где  $\eta_{\max}$  - величина максимального оседания, м;  $\eta_z$  - оседания в точке с абсциссой  $z$ , м;  $x$  – расстояние от точки с максимальным оседанием земной поверхности до рассматриваемой точки полумульды;  $L$  - длина полумульды.»

Значение максимального оседания бралось из натуральных данных, так по таблице 3.1. и таблице 3.2.  $\eta_{\max 1} = 0,027\text{м}$  – для I-I линии,  $\eta_{\max 2} = 0,227\text{м}$  – для II-II линии.

Значения функции распределения оседаний для I-I линии представлены в таблице 3.3, для II-II линии в таблице 3.4.

Таблица 3.3 - Функции распределения оседаний для I-I линии в крестр простирания пласта

№ репера	$\eta/\eta_{\max}$
Rp16	-0,140
Rp15	-0,424



Продолжение таблицы 3.3

Rp56	-0,858
Rp57	-0,893
Rp58	-0,899
Rp59	-1,000

Таблица 3.4 - Функции распределения оседаний для II-II линии вкрест простирания пласта

№ репера	$\eta/\eta_{max}$
Rp28	-0,33
Rp29	-0,49
Rp30/1	-0,63
Rp32	-0,92
Rp33	-0,98
Rp34	-1,00

Для того чтобы полученные кривые приняли вид типовых кривых, используемых, для расчетов в геомеханике, а именно в матричной форме с относительной координатой  $z$  с шагом 0,1, в программе *AutoCAD* полученные кривые проинтерполированы (рисунок 3.2 и рисунок 3.3) и получены функции распределения оседаний для I-I и II-II линии вкрест простирания пласта в виде таблицы 3.4 и таблице 3.5.

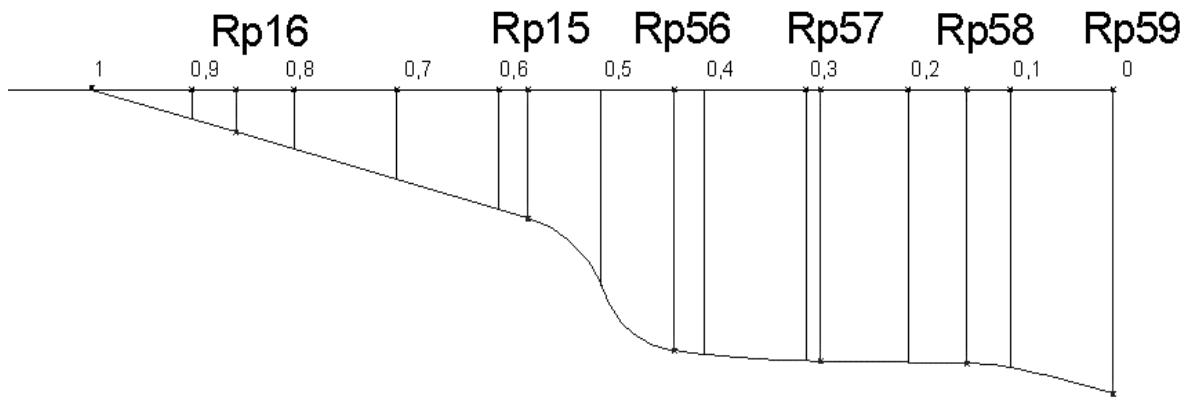


Рисунок 3.2 - Оседания на I-I линии в крест простирания пласта

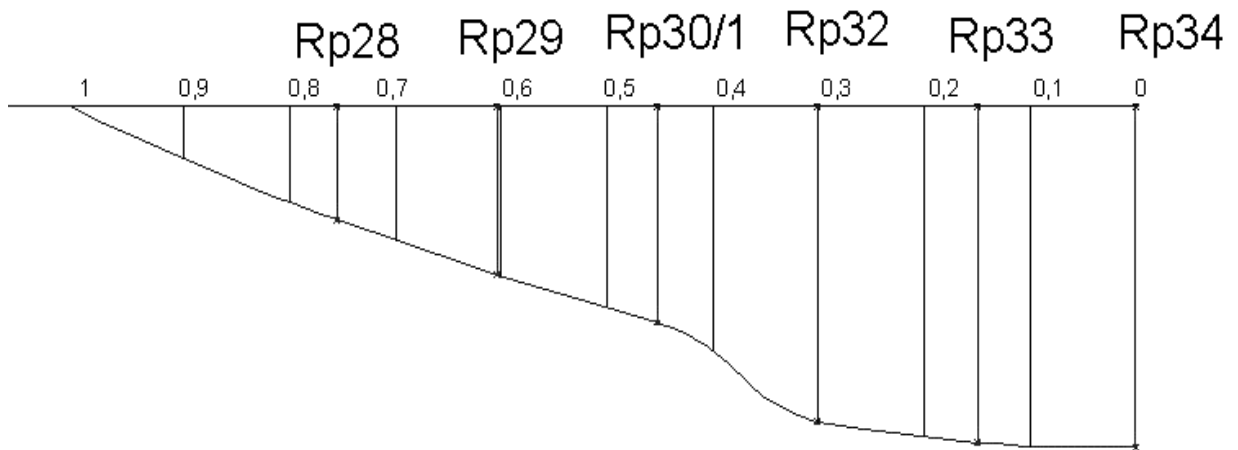


Рисунок 3.3 - Оседания на II-II линии в крест простирания пласта

Таблица 3.5 - Функция типовой кривой распределения оседаний для I-I линии в крест простирания пласта.

$z$	$S_H(z)1$
0	0
0,1	0,1
0,2	0,2
0,3	0,3
0,4	0,4
0,5	0,64
0,6	0,87
0,7	0,89
0,8	0,9
0,9	0,91
1	1

Таблица 3.6. - Функция типовой кривой распределения оседаний для II-II линии в крест простирания пласта.

$z$	$S_H(z)2$
0	0
0,1	0,15
0,2	0,28
0,3	0,39
0,4	0,49
0,5	0,58
0,6	0,71
0,7	0,92
0,8	0,96
0,9	0,99
1	1

### 3.1 Дисперсионный однофакторный анализ

Для получения функций типовых кривых оседаний разных профильных линий необходимо доказать, что обе выборки относятся одной генеральной совокупности с помощью дисперсионного факторного анализа. Рассмотрим однофакторный анализ.

Общее среднее значение показателя для каждой выборки (3.3) и общее среднее двух выборок (3.4) находится по формулам.

$$\overline{S_{H(z)l}} = \sum_1^p S_{H(z)l} / p, \quad (3.3)$$

$$\overline{S_{H(z)}} = \sum_1^q \sum_1^p S_{H(z)ij} / (pq) \quad (3.4),$$

где  $q$  ( $j=1,2,\dots,q$ ) - число уровней фактора, в нашем случае  $q=2$ ,  $p$  ( $i=1,2,\dots,p$ ) - число определений фактора  $p=11$ .

$$\overline{S_{H(z)1}} = 0,5645, \overline{S_{H(z)2}} = 0,5881 \text{ и общее } \overline{S_{H(z)}} = 0,5763 \quad (3.5)$$

Степень рассеивания значений показателей (3.6, 3.7):

$$S_{\text{общ}} = \sum_1^{pq} (\overline{S_{H(z)l}} - \overline{S_{H(z)}})^2, \quad (3.6)$$

$$S_{\text{общ}} = 0,2614. \quad (3.7)$$

Факторная сумма квадратов отклонения равна (3.8, 3.9):

$$S_{\text{факт}} = \sum_1^{pq} (\overline{S_{H(z)j}} - \overline{S_{H(z)}})^2, \quad (3.8)$$

$$S_{\text{факт}} = 0,0003, \quad (3.9)$$

Остаточная сумма отклонений (3.10, 3.11):

$$S_{\text{ост}} = \sum_1^{pq} (\overline{S_{H(z)l}} - \overline{S_{H(z)}})^2, \quad (3.10)$$

$$S_{\text{ост}} = 0,2607, \quad (3.11)$$

Остаточная и факторная дисперсия равны соответственно (3.12), (3.13) и (3.14), (3.15)

$$\sigma_{\text{ост}}^2 = \frac{S_{\text{ост}}}{pq-1}, \quad (3.12)$$

$$\sigma_{\text{ост}}^2 = 0,0131, \quad (3.13)$$

$$\sigma_{\text{факт}}^2 = \frac{S_{\text{факт}}}{q-1}, \quad (3.14)$$

$$\sigma_{\text{факт}}^2 = 0,0003, \quad (3.15)$$

Степень рассеивания групповых средних относительно общего среднего не больше чем отдельные значения относительно групповых средних так как  $\sigma_{\text{факт}}^2 \leq \sigma_{\text{ост}}^2$ . В качестве показателя существенности различия дисперсий используется безразмерная величина (3.16), (3.17):

$$F_{\phi} = \frac{\sigma_{\text{факт}}^2}{\sigma_{\text{ост}}^2}, \quad (3.16)$$

$$F_{\phi} = 0,0005 \quad (3.17)$$

Число степеней свободы  $r_1=1$ ,  $r_2=20$  при уровне значимости  $q=5\%$  для  $F_q=4,35[88]$ .

Поскольку,  $F_{\phi} < F_q$ , то это позволяет утверждать, что данные выборки относятся к одной генеральной совокупности, другими словами, рассматриваемые типовые функции, полученные по натурным данным, имеют одинаковую закономерность, отражающую распределение оседаний в мульде сдвижения.

Положительный результат однофакторного дисперсионного анализа позволяет использовать полученную осредненную функцию фактических кривых  $S_H(z)1$  и  $S_H(z)2$  как типовую кривую распределения полученную по натурным данным в крест простирания пласта для Яковлевского месторождения. (Таблица 3.7).

Таблица 3.7 - Типовая кривая распределения оседаний в крест простирания пласта, полученная по натурным данным.

z	$S_H(z) 1$	$S_H(z) 2$	$S_H(z)$
0	1	1	1
0,1	0,91	0,99	0,95
0,2	0,9	0,96	0,93
0,3	0,89	0,92	0,91
0,4	0,87	0,71	0,79
0,5	0,64	0,58	0,61
0,6	0,4	0,49	0,45
0,7	0,3	0,39	0,35
0,8	0,2	0,28	0,24
0,9	0,1	0,15	0,13
1	0	0	0

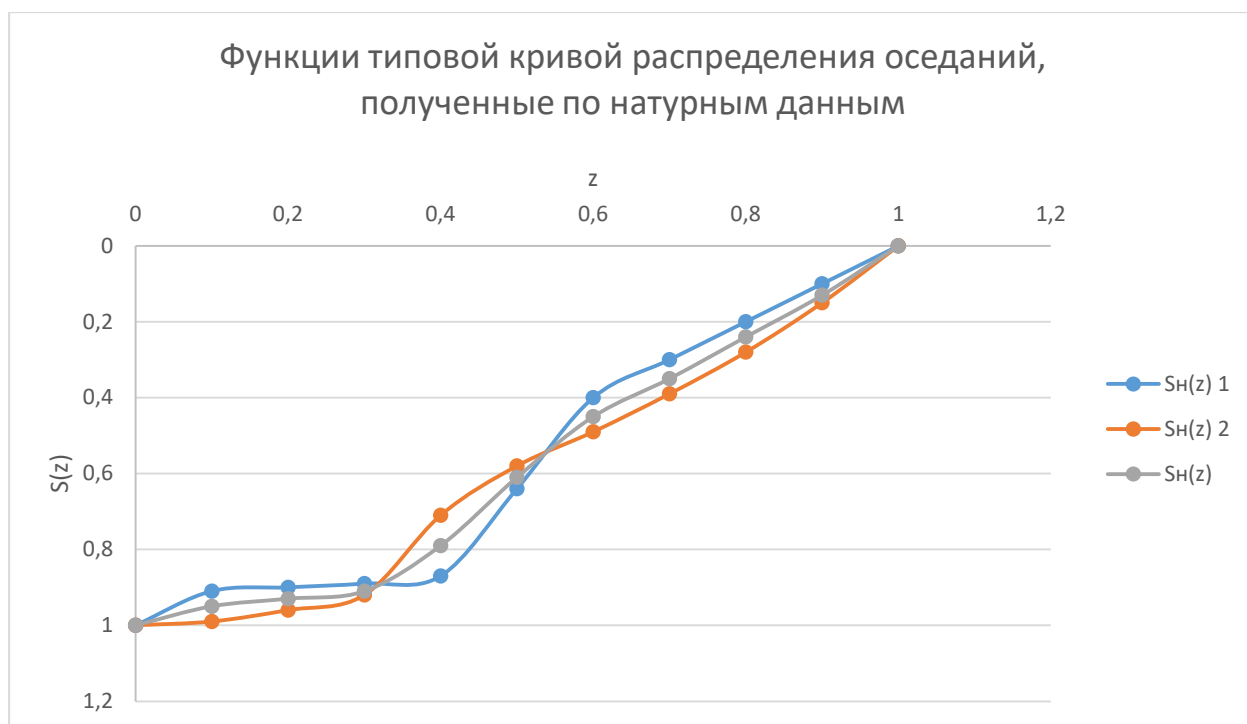


Рисунок 3.4 - Функции типовой кривой распределения оседаний, полученная по натурным данным

### 3.2 Определение типовых кривых по данным натурных измерений вертикальных смещений и деформаций на профильных линиях

По формулам исследования смещения горных пород наклон интервала земной поверхности между реперами (рисунок 3.5) рассчитывается по формуле (3.18):

$$i_m = \frac{\eta_m - \eta_{m-1}}{l_{0m, m-1}}, \quad (3.18)$$

«Где  $\eta_m$  оседание  $m$ -го репера;  $\eta_{m-1}$  – оседание  $(m-1)$ -го репера;  $l_{0m, m-1}$  – горизонтальное расстояние между реперами  $m$  и  $m-1$ . Значение интервала относят к его середине (для построения графика  $i$ ).»

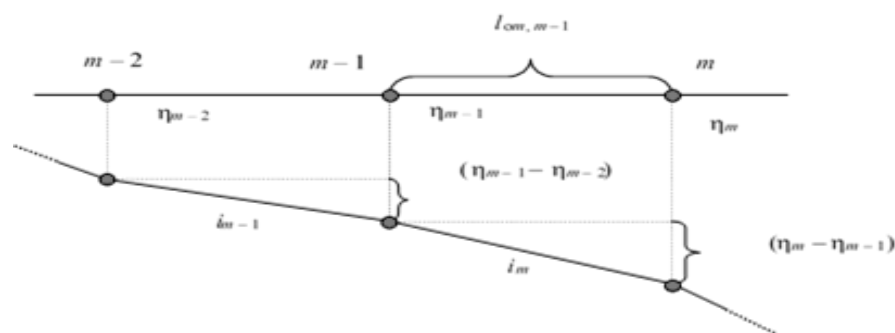


Рисунок 3.5. – «Схема к вычислению наклонов интервалов профильной линии»

Кривизна в точках мульды сдвижения (рисунок 3.6) рассчитывается по (3.19):

$$K_m = \frac{i_m - i_{m-1}}{l_{0m,m-1}}, \quad (3.19)$$

«где  $i_m$  – наклон  $m$ -го интервала;  $i_{m-1}$  – наклон  $(m-1)$ -го интервала;  $l_{cp}$  – средняя длина интервалов  $l_m$  и  $l_{m-1}$  ( $l_{cp} = (l_m + l_{m-1}) / 2$ ).» [ 127.]

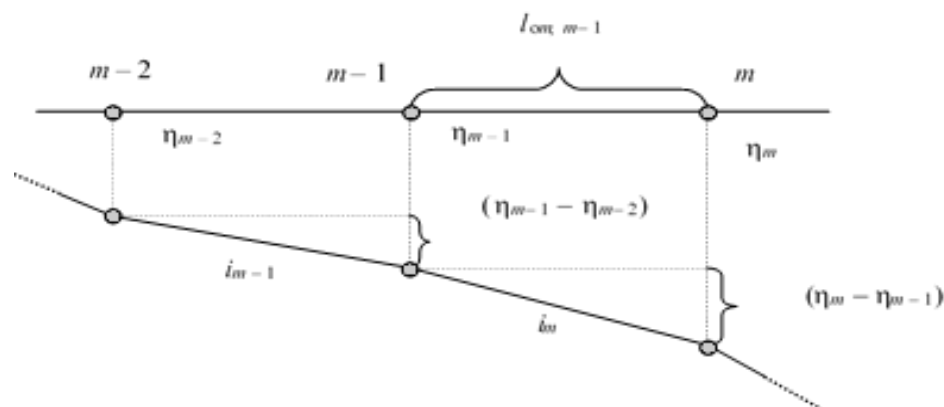


Рисунок 3.6 - Схема к вычислению кривизны по профильной линии

Используя формулы (3.18) и (3.19). Были рассчитаны значения наклона и кривизны для середин интервалов (таблица 3.8 и таблица 3.9.)

Таблица 3.8 - Типовая кривая наклона

$z$	$\text{Sh}'(z)$
0,05	0,30
0,15	0,84
0,25	1,24
0,35	1,45
0,45	1,46
0,55	1,33
0,62	1,10
0,75	0,83
0,85	0,59
0,95	0,38

Таблица 3.9 - Типовая кривая кривизны

$z$	$S_H''(z)$
0,1	-5,32
0,2	-3,97
0,3	-2,1
0,4	-0,2
0,5	1,3
0,6	2,27
0,7	2,6
0,8	2,4
0,9	2

При задании функции типовой кривой в табличной форме принято задавать  $z$  от 0 до 1 с шагом 0,1. Поэтому полученные кривые были построены в программе *AutoCad* и проинтерполированы (рисунок 3.7 и 3.8) и представлены в таблице 3.10.

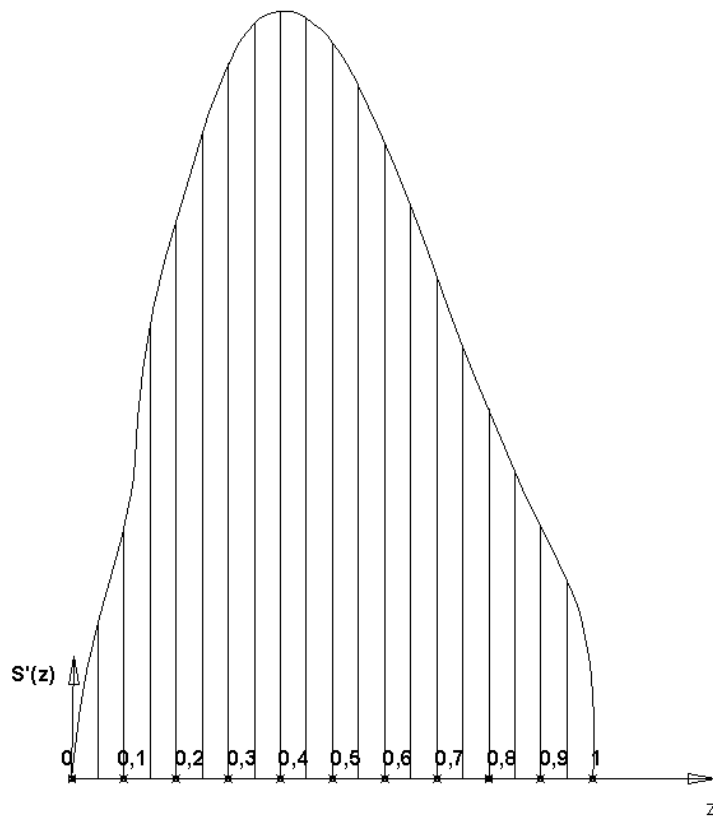


Рисунок 3.7 - Функция типовых кривых наклона.



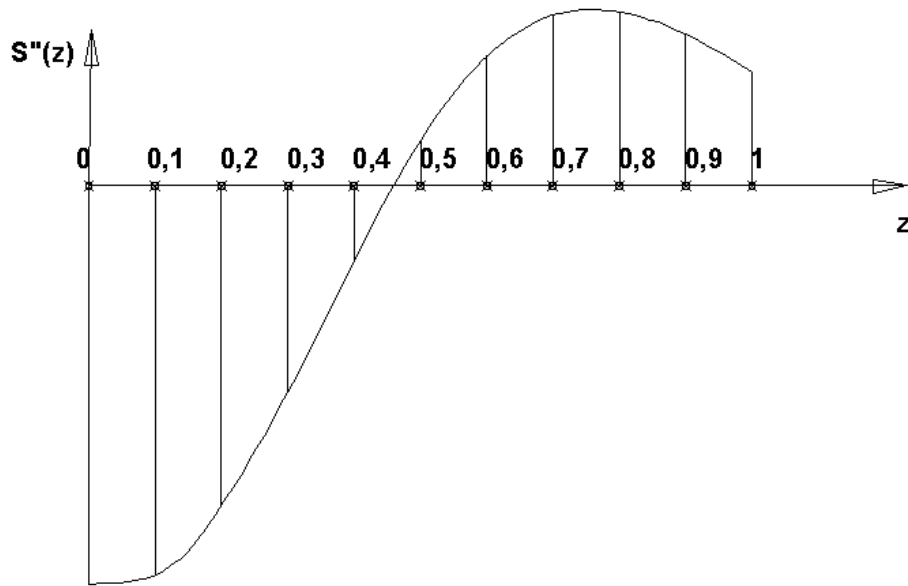


Рисунок 3.8 - Функция типовых кривых кривизны.

Таблица 3.10 - Функции типовых кривых наклона и кривизны, полученные по натурным данным

$z$	$Sh'(z)$	$Sh''(z)$
0	0	-6
0,1	-0,48	-5,32
0,2	-1,08	-3,97
0,3	-1,37	-2,1
0,4	-1,47	-0,2
0,5	-1,41	1,3
0,6	-1,21	2,27
0,7	-0,96	2,6
0,8	-0,71	2,4
0,9	-0,48	2
1	0	0

### 3.3 Получение типовых кривых распределения наклонов и кривизны на основании типовой кривой распределения оседаний, выраженной аналитически

Полученную функцию типового распределения оседаний в табличном виде выразим аналитически. Для чего используем аналитическое выражение нормального закона в дифференциальном виде (3.20):

$$S(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z-a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (3.20)$$

где  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение  $\sigma = 0,42$ ,  $a$  – параметр распределения, в нашем случае  $a = 0$ , поскольку мы работаем с полу мутьдой.

С учетом полученных параметров аналитическое выражение типовой кривой оседаний приобретает следующий вид (3.21):

$$S(z) = e^{-3z^2} \quad (3.21)$$

В таблицах 3.11 и на рисунке 3.10 представлены значения, полученные по формуле (3.21) и сопоставлены с натурными данными. Среднее квадратическое отклонение составило 0,099.

Таблица 3.11 - Типовые кривые оседаний.

$z$	$Sa(z)$	$S_H(z)$
0	1,00	1,00
0,1	0,97	0,95
0,2	0,89	0,93
0,3	0,76	0,905
0,4	0,62	0,79
0,5	0,47	0,61
0,6	0,34	0,445
0,7	0,23	0,345
0,8	0,15	0,24
0,9	0,09	0,125
1	0,05	0

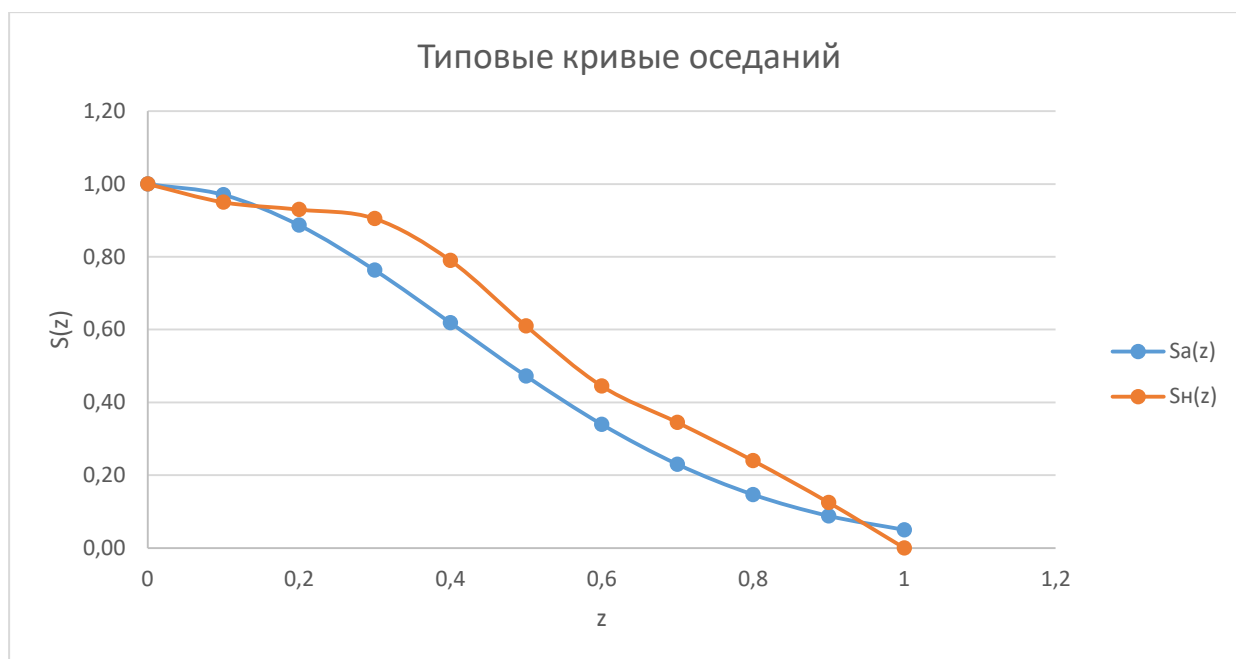


Рисунок 3.9 - Типовые кривые оседаний

Поскольку в области сдвижений и деформаций принято положительные значения оседаний и значения функций типовой кривой оседаний на графиках откладывать с противоположным знаком, то при получении функций типовых кривых наклона (3.22) и кривизны (3.23) первая и вторая производная берутся с противоположным знаком. Выпуклая часть типовой кривой оседаний будет вблизи границы мульды сдвижения (координаты  $z=0,5-1,0$  на рисунке 3.9) и ей будет соответствовать положительное значение типовой кривой кривизны (рисунок 3.11), а вогнутая часть типовой кривой оседания будет располагаться вблизи максимального оседания (координаты  $z=0-0,4$  на рисунке 3.9).

$$Sa'(z) = -6ze^{-3z^2}, \quad (3.22)$$

$$Sa''(z) = 6(6z^2 - 1)e^{-3z^2}, \quad (3.23)$$

### 3.4 Оценка достоверности аналитически заданной типовой кривой.

На рисунке 3.10 и таблице 3.12 представлены функции типовых кривых наклона, полученных аналитическим путем выражение (3.22) и с помощью натуральных данных (3.18). Среднее квадратическое отклонение составляет 0,09 или 6%.

Таблица 3.12 - Функции типовых кривых наклона

$z$	$Sa'(z)$	$Sh'(z)$
0	0,00	0
0,1	0,58	0,48
0,2	1,06	1,08
0,3	1,37	1,37
0,4	1,49	1,47
0,5	1,42	1,41
0,6	1,22	1,21
0,7	0,97	0,96
0,8	0,70	0,71
0,9	0,48	0,48
1,0	0,30	0

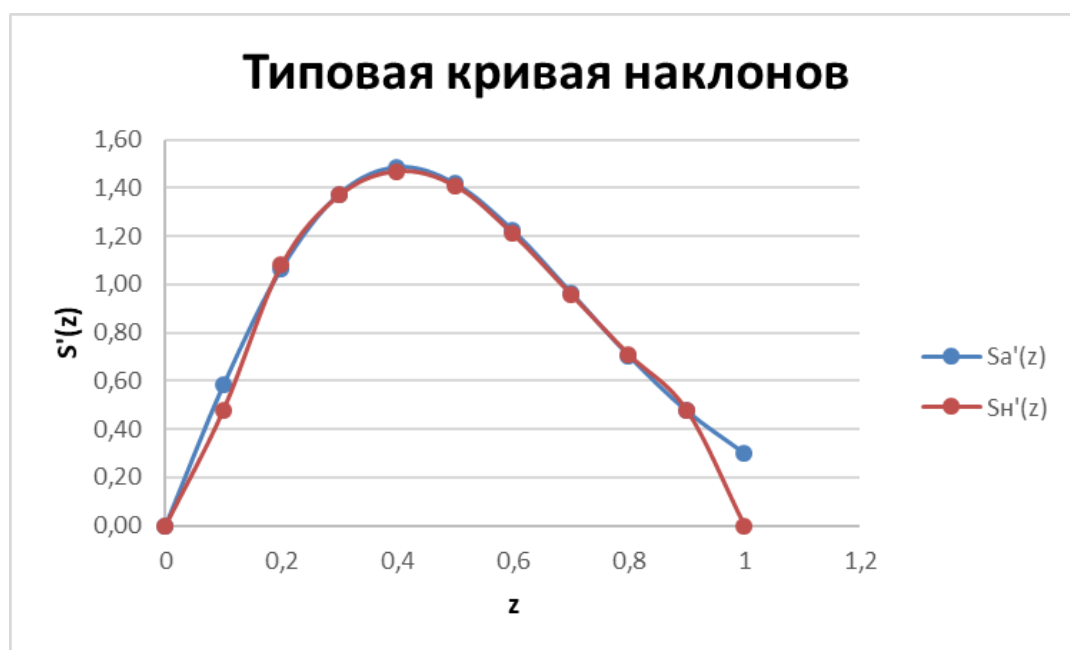


Рисунок 3.10 - Функции типовых кривых наклона

На рисунке 3.11 и таблице 3.13 представлены функции типовых кривых кривизны, полученных аналитическим путем выражение (3.23) и с помощью натуральных данных (3.19). Среднее квадратическое отклонение составляет 0,55 или 9%.

Таблица 3.13 - Функции типовых кривых кривизны

$z$	$Sa''(z)$	$Sн''(z)$
0	-5,87	-6,00
0,1	-4,85	-5,32
0,2	-3,11	-3,97
0,3	-1,10	-2,10
0,4	0,70	-0,20
0,5	1,97	1,30
0,6	2,59	2,27
0,7	2,64	2,60
0,8	2,29	2,40
0,9	1,77	2,00
1	0,00	0,00

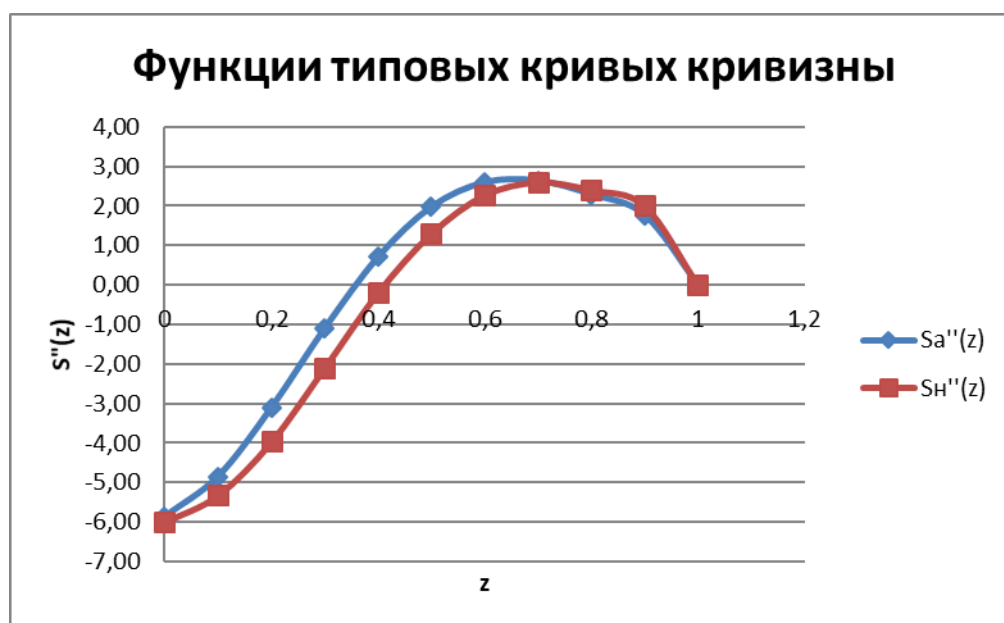


Рисунок 3.11 - Функции типовых кривых наклона

Для инженерных расчетов рекомендуется использовать типовую кривую, полученные по натурным данным (таблица 3.10), для научно-исследовательских работ и автоматизации расчетных процессов через программирование использовать выражения (3.21), (3.22) и (3.23), поскольку они дают возможность рассчитать при любом  $z$  необходимое значение  $S(z)$ ,  $S'(z)$  и  $S''(z)$ .

Полученные функции типовых кривых (3.21) – (3.23) предполагается использовать для прогноза вертикальных сдвижений и деформаций (оседаний, наклонов и кривизны) земной поверхности и, при определенных допущениях, в массиве горных пород. В частности, прогнозировать накопление деформаций кривизны на верхней границе зоны водопроводящих трещин на участках, где происходит сложение деформаций, вследствие частичного или полного совпадения границ отработки на различных горизонтах [96].

Таким образом, инженерный прогноз сдвижений и деформаций для горно-геологических условий Яковлевского рудника, основанный на функциях типовых кривых распределения оседаний (3.24), наклонов (3.25) и кривизны (3.26) может быть произведен по следующим формулам:

$$\eta_i = \eta_m S(z), \quad (3.24)$$

$$i_i = \frac{\eta_m}{L_{1,2,3}} S'(z), \quad (3.25)$$

$$K_i = \frac{\eta_m}{L_{1,2,3}^2} S''(z), \quad (3.26)$$

где  $\eta_m$  из (2.3) см. главу 2;  $L_{1,2,3}$  – длина полумульд на разрезе соответственно в крест простирания по падению, по восстанию и по простиранию;  $S(z)$  – типовая кривая распределения оседаний (см. таблицу 3.7 и 3.21);  $S'(z)$  – типовая кривая распределения наклонов (см. таблицу 3.10 и 3.22);  $S''(z)$  – типовая кривая распределения кривизны (см. таблицу 3.10 и 3.23);

Полученные типовые кривые помогут в дискретном анализе накопления деформаций в массиве горных пород Яковлевского рудника при отработке как первого, так и последующих пластов.

### 3.5 Выводы по главе 3

1. На основе обработки результатов натуральных наблюдений за сдвижением и деформациями горных пород определены функции типовых кривых распределения оседаний, наклонов и кривизны в табличном виде, которые также выражены аналитически.

2. На основе метода типовых кривых разработана методика прогноза вертикальных сдвижений и деформаций горных пород для рассматриваемых условий.

## **ГЛАВА 4 ВЛИЯНИЕ ВЗАИМНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ГРАНИЦ ОСТАНОВКИ ОЧИСТНЫХ РАБОТ НА ВЫСОТУ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗОНЫ ВОДОПРОВОДЯЩИХ ТРЕЩИН**

При повторной подработке необходимо учитывать деформации, полученные после отработки каждого пласта (слоя). Учет состоит в суммировании деформаций кривизны в зависимости от взаимовлияния остановки границ очистного пространства по различным пластам (слоям). В существующих методах прогнозных расчетов высоты зоны водопродводящих трещин этот факт практически не учитывается. Сложение деформаций, полученных вследствие ведения горных работ, рассчитанное с учетом взаимовлияния остановки границ очистного пространства по различным пластам (слоям) показывает, что высота зоны водопродводящих трещин может увеличиться на значительную величину, что подтверждается натурными данными. Для каждого месторождения и каждого отдельного случая требуется предварительный анализ геомеханических процессов накопления деформаций, согласно которому можно будет судить при каком взаимном положении границ очистного пространства в различных пластах (слоях) высота зоны водопродводящих трещин может увеличиться или остаться неизменной. Для упрощения расчетов накопление деформаций принималось происходящим по прямой пропорциональной зависимости от взаимного положения границ остановки очистных работ [97].

В работе В.Н. Гусева [39] закон накопления деформаций от взаимного положения границ выработок по различным пластам свиты принимается линейным, а за максимально возможное значение кривизны принимается значение кривизны при полном совпадении границ выработок по пластам(слоям). Полное совпадение наблюдается когда границы выработок по различным пластам (слоям) располагаются друг под другом по нормали к напластованию[97].

В связи с вышеизложенным в работе было изучено влияние процессов накопления деформаций при различном взаимном положении границ остановки очистных работ на развитие высоты зоны водопродводящих трещин путем



непосредственного сложения деформаций, полученных после отработки каждого пласта свиты для горно-геологических условий Кузбасса. При сложении использованы распределения кривизны, полученные методом типовых кривых [118], суммирование деформаций осуществлялось в программной среде *Matlab*. [97].

На рисунке 4.1 показан процесс формирования верхней границы зоны водопроницаемых трещин от сложения деформаций при расстоянии  $S$  между нижними границами очистных выработок по различным пластам (слоям). На расстоянии по нормали от первого пласта (слоя), равного высоте зоны водопроницаемых трещин  $H_{T1}$ , кривизну слоя согласно методу типовых кривых, можно выразить в виде кривой  $K_1$  (рис.1) [97]. Максимальные значения этого распределения кривизны, как указывалось выше, является граничной кривизной ( $K_{Г}$  на рис.1) [97]. Данная кривая распределения кривизны  $K_1$  образуется между углом полных сдвижений и граничным углом, которые строятся непосредственно от границы горных работ по пласту. Аналогичным образом формируется кривизна  $K_2$ , полученная в том же слое после отработки пласта (слоя) 2, которая в зависимости от  $S$  через суммирование деформаций с кривой кривизны  $K_1$  увеличивает значение максимальной кривизны на расстоянии  $H_{T1}$  от пласта 1 на величину  $\Delta K$  (рисунок 4.1). При определенном значении  $S$  приращение к граничной кривизне  $K_{Г}$  может составить  $\Delta K = 0$  [97]. В этом случае при отработке пласта 2 высота зоны водопроницаемых трещин, образовавшаяся от выемки пласта 1 останется той же, т.е. равной  $H_{T1}$ . Приращение  $\Delta K$  может составить максимально возможную величину в случае, когда будет происходить сложение максимумов положительной кривизны кривых  $K_1$  и  $K_2$  при определенном положении границ выработок  $S$  (рисунок 4.1) [97]. Промежуточные значения приращений  $\Delta K$  от сложения деформаций будут получаться в пределах совпадения границ выработок, при которых получают приращения кривизны равные нулю и максимально возможные [97]. На рисунке 4.1 показано одно из возможных промежуточных положений при котором к граничной кривизне добавляется значение  $\Delta K$ , вследствие чего слой с граничной кривизной

переместиться на величину  $\Delta H$  и высота зоны водопродящих трещин возрастет и станет равной  $H_{T2}$ . При сложении деформаций кривизны разных знаков в слое на верхней границе зоны водопродящих трещин кривизна станет меньше граничной. Но высота зоны водопродящих трещин при этом не уменьшится в силу необратимости процессов образования техногенных водопродящих трещин [97].

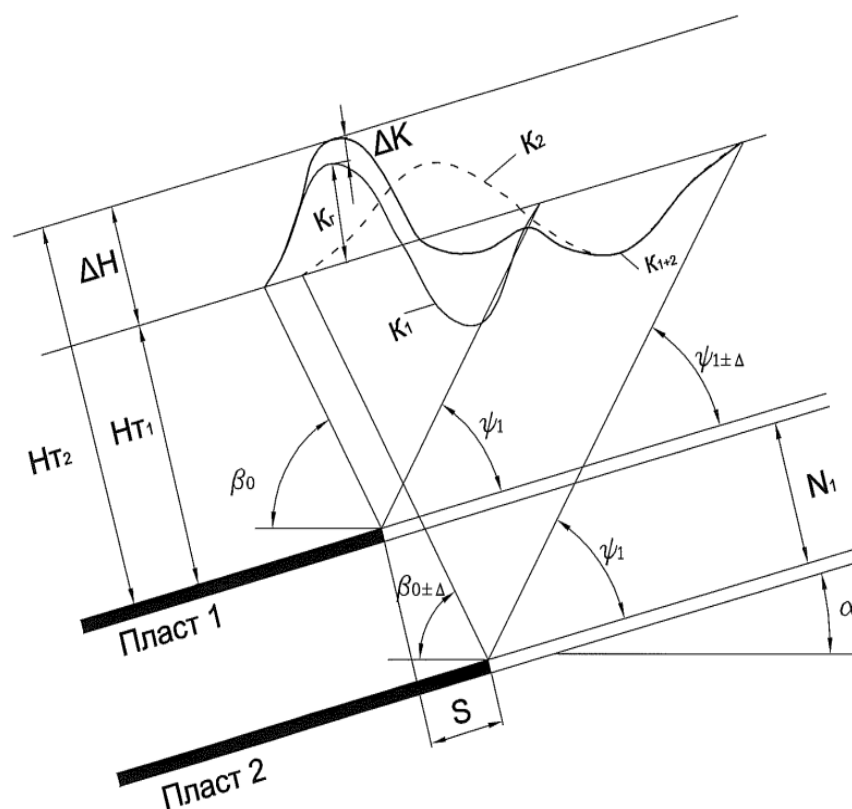


Рисунок 4.1 - Кривизна, полученная при обработке нескольких пластов (слоев)  $K_1, K_2, K_{1+2}$  – кривизна соответственно от пластов 1, 2 и суммарная кривизна от этих двух пластов;  $H_{T1}, H_{T2}$  – высота зоны водопродящих трещин соответственно от выемки одного, двух пластов(слоев);  $K_Г$  – граничная кривизна;  $\Delta K$  - приращение к граничной кривизне;  $\Delta H$  – приращение высоты зоны водопродящих трещин;  $\beta_0$  и  $\psi_1$  – граничный угол и угол полных сдвижений со стороны падения;  $\Delta$  - угловая поправка, учитывающая повторную подработку;  $\alpha$  - угол падения пластов;  $N_1$  - мощность междупластия;  $S$  - взаимное положения границ остановки очистных работ.

Приведенный механизм развития высоты распространения ЗВТ над выработанным пространством в зависимости от степени совпадения границ по различным пластам (слоям) является частным случаем накопления деформаций в массиве. Кривая накопления деформаций будет складываться с учетом подработки каждого слоя на глубине по приведенному закону. В программной среде *Matlab* был смоделирован процесс накопления деформаций на заданной глубине в зависимости от горно-геологических условий, которые задаются пользователем. Ось выработки нижележащего пласта, на которой показаны отметки фактического совпадения границ выработки относительно вышележащего пласта, бралось по падению – справа налево, что соответствует системе отработки месторождения. За нулевую отметку принимается точка пересечения оси, на которой отмечают  $S$  и нормалью, проведенной через границу выработок вышележащего пласта к его оси. Это обосновано тем, что, как правило, отработка ведется сверху вниз, а деформации на поверхности от выемки пласта, расположенного на меньшей глубине будут наибольшими. Код программы представлен в Приложении А. В качестве исходных данных для моделирования были взяты горно-геологические условия шахт Западная и Октябрьская Кузнецкого угольного бассейна для которых уже известны расчетные и натурные значения высоты зоны водопродящих трещин после повторной подработки. Сравнивая результаты, есть возможность оценить корректность расчетов и возможности использования программы [97].

В результате были выявлены основные закономерности формирования зоны водопродящих трещин над выработанным пространством при выемке одного и двух пластов (слоев) с учетом степени совпадения границ очистного пространства. Полученные значение также сравнивались с фактическими и расчетными значениями высоты распространения зоны водопродящих трещин [97].

На графиках (рисунок 4.2 и 4.3) представлены полученные значения приращений суммарной кривизны при различной степени совпадения границ очистного пространства при непосредственном сложении деформаций и при

расчетном сложении [39]. В расчетном способе сложение деформаций осуществляется по принципу прямой пропорциональной зависимости. А при непосредственном сложении деформаций накопление происходит по полиномиальному закону 2-го порядка.

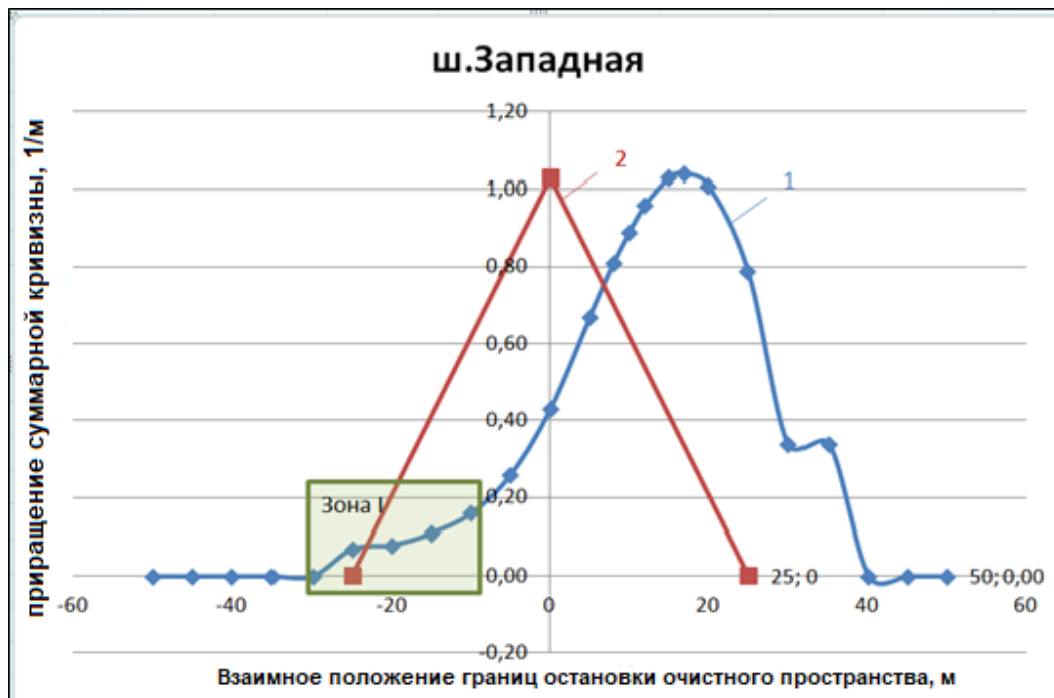


Рисунок 4.2 - Распределение приращений суммарной кривизны в зависимости взаимного положения границ остановки очистных работ для шахты Западная Кузнецкого угольного бассейна:

1 - зависимость приращений суммарной кривизны от взаимного положения границ остановки очистных работ при непосредственном сложении деформаций;  
 2 - то же, при расчетном сложении деформаций; Зона I - участок небольшой интенсивности изменения приращения деформации кривизны.

Исходные данные

С параметрами:

$N=20$ -Величина междупластья;

$m_1=1.33$ - Мощность 1 пласта;

$m_2=1.3$ - Мощность 2 пласта;

$q_0=0.7$ - Относительное максимальное оседание;

$N_1=1, N_2=1$ - коэффициенты, учитывающие степень подработанности;

$\alpha=12$  -угол падения пласта;

$A=0.4$  - Содержание пород глинистого состава;

Задание функции типовой кривой

$z = [0 \ 0.1 \ 0.2 \ 0.3 \ 0.4 \ 0.5 \ 0.6 \ 0.7 \ 0.8 \ 0.9 \ 1];$

$f = [0 \ 1 \ 2 \ 6 \ 11 \ 6.8 \ -8.6 \ -10.8 \ -5.6 \ -2.3 \ 0];$

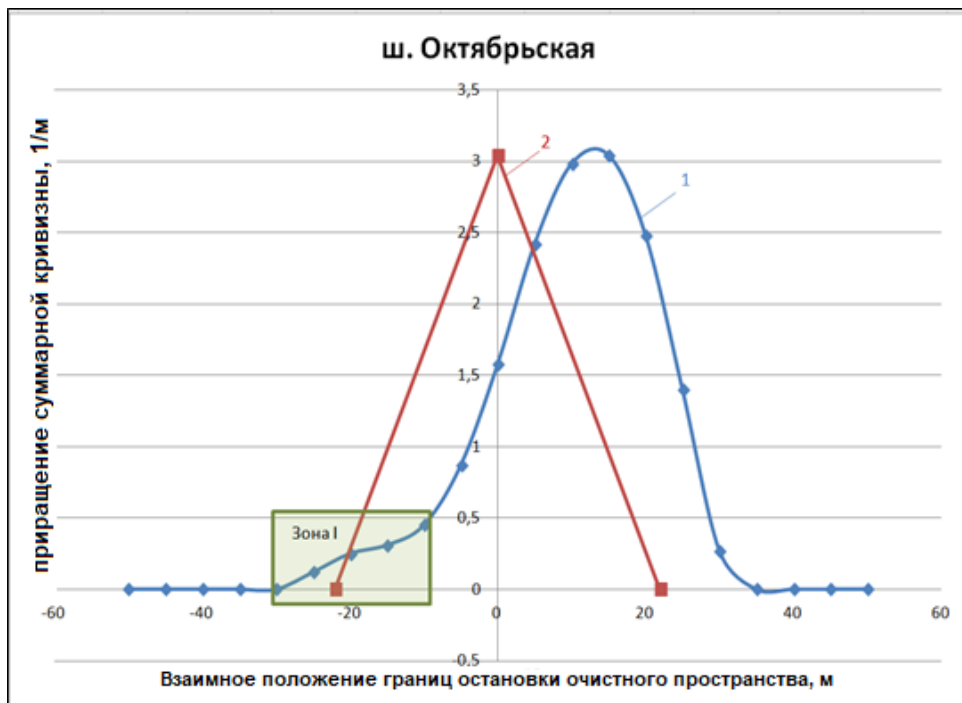


Рисунок 4.3 - Распределение приращений суммарной кривизны в зависимости от взаимного положения границ очистных работ для шахты Октябрьская Кузнецкого угольного бассейна

1 - зависимость приращений суммарной кривизны от взаимного положения границ остановки очистных работ при непосредственном сложении деформаций;  
2 - то же, при расчетном сложении деформаций; Зона I - участок небольшой интенсивности изменения приращения деформации кривизны.

Исходные данные:

$N=18\text{м}$  – величина междупластья;

$m_1= 2.56\text{м}$  - мощность 1 пласта;

$m_2= 2.74\text{м}$  - мощность 2 пласта;

$q_0=0.7$  - относительное максимальное оседание;

$N_1=1, N_2=1$  - коэффициенты, учитывающие степень подработанности;

$\alpha_1=6$  - угол падения 1 пласта;

$\alpha_2=7$  -угол падения 2 пласта;

Задание функции типовой кривой:

$z=[0\ 0.1\ 0.2\ 0.3\ 0.4\ 0.5\ 0.6\ 0.7\ 0.8\ 0.9\ 1]$ ;

$f=[0\ 1\ 2\ 6\ 11\ 6.8\ -8.6\ -10.8\ -5.6\ -2.3\ 0]$ ;

На графиках на рисунках 4.2, 4.3 ноль на оси абсцисс соответствует положению границ выработок по пластам (слоям), совпадающих с нормалью к напластованию. Из анализа полученных графиков следует, что при расчетном способе (рисунок 4.2, 4.3) максимально возможное сложение деформаций наступает раньше, чем при непосредственном сложении (рисунок 4.2, 4.3). Отсюда следует, что при оставлении границ горных выработок, относящихся к различным пластам (слоям), на нормали к напластованию ранее считали, что в этом случае происходит максимально возможное сложение деформаций и соответственно высота зоны водопроводящих трещин возрастает на максимально возможную величину. При прямом сложении деформаций их максимально возможное значение выявлено при оставлении границ выработки по нижележащему пласту (слою) за нормаль к напластованию, проведенную от границ выработки по вышележащему пласту, примерно в 20 м для рассматриваемых случаев (рисунок 4.2, 4.3). Кроме того, на представленных графиках выделяются зоны, на которых интенсивность увеличения приращений деформаций в пределах этих зон составляет 10 - 15% от максимально возможных приращений (Зона I рисунок 4.2, 4.3). Такое изменение приращений деформаций в зоне I соответствует изменению высоты зоны водопроводящих трещин в зоне II всего на 4 - 5%, с 68 м до 71 м (рисунок 4.4), т.е. практически остается той же самой. Ширина зоны II, в пределах которой можно варьировать положением границы очистной выработки и при этом практически не будет возрастать высота зоны водопроводящих трещин, составляет 20 м.

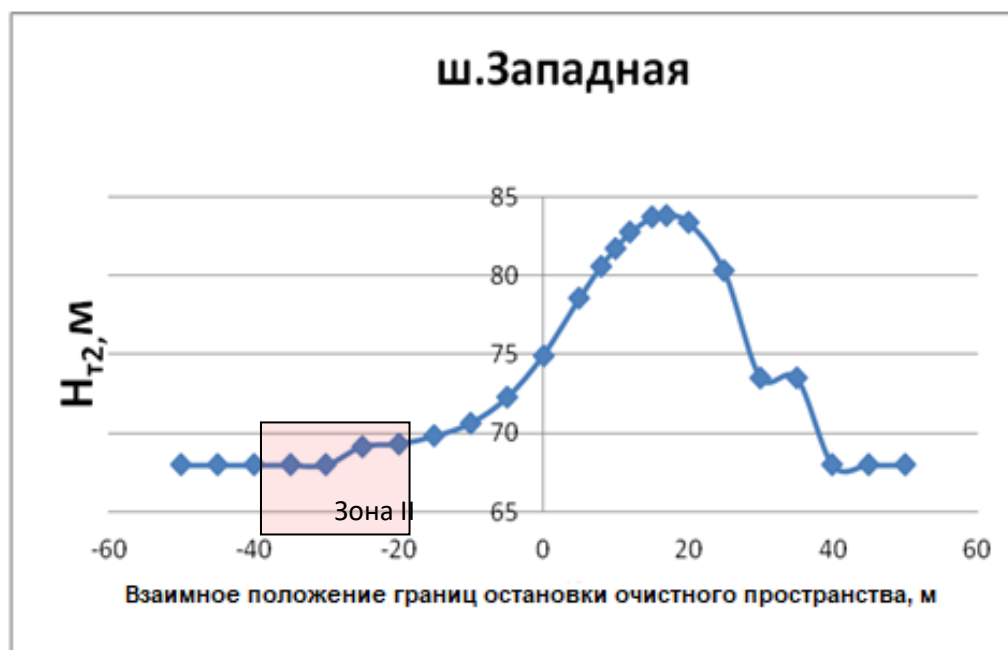


Рисунок 4.4 - Высота зоны водопроводящих трещин в зависимости от взаимного положения границ остановки очистных работ:

Зона II - участок, где высота зоны водопроводящих трещин практически не изменяется.

#### 4.1 Результаты сравнения значений высоты зоны водопроводящих трещин, полученной по различным методикам.

Расчетные значения высоты зоны водопроводящих трещин, полученные при непосредственном сложении деформаций ближе к натурным данным (таблица 4.1), чем расчетные значения, полученные на основе расчетного сложения деформаций [5].

Таблица 4.1 – Значение высоты зоны водопроводящих трещин, полученное по различным методикам

	Значение $H_{T2}$ , м					
	ш. Западная			ш. Октябрьская		
	S=-10м	S=0м	S=10м	S=-10м	S=0м	S=10м
На основе непосредственного сложения деформаций	70	75	81	79	92	97
Расчетное значение [85]	89	85	78	87	93	99
Натурное определение	70			75		

Полученные результаты проведенного анализа показали, что непосредственное сложение деформаций более точно отражают процесс развития зоны водопродящих трещин в зонах частичного и полного совпадения границ выработок по пластам (слоям). Это позволяет управлять развитием высоты зоны водопродящих трещин, и дает возможность планировать при ведении горных работ степень совпадения границ выработок, при которой развитие высоты зоны водопродящих трещин будет минимальным.

Соответствие полученных натуральных данных позволяет утверждать о справедливости расчетов.

В программе заложено дискретное сложение значений деформаций, полученных при отработке каждого пласта, таким образом, появляется возможность сократить время и трудозатраты на аналогичные вычисления, сделанные вручную. Такая модель поможет прогнозировать распространение кривизны и их зависимость от таких параметров как величина междупластья, мощность пласта и угол наклона. Данные параметры оказывают наибольшее влияние на величину деформаций.

Также есть возможность задать значение высоты зоны водопродящих трещин, полученной от первого пласта, если она определена натурным способом или вывесит ее с помощью формулы (1.1) (Глава 1).

#### **4.2 Оценка накопления деформаций на Яковлевском руднике**

Для условий Яковлевского месторождения, используя разработанный алгоритм программы, был получен для контакта рудовмещающей и перекрывающей толщ график зависимости приращения деформаций от взаимовлияния остановки границ очистного пространства двух слоев. Выбран был именно этот участок, поскольку в подошве перекрывающей и рудовмещающей толщ залегает «относительный водоупор», который не может быть нарушен техногенными водопродящими трещинами, по которым может начаться поступление воды из вышележащего нижнекаменноугольного водоносного горизонта.



На руднике начата отработка 2-го слоя под защитой 1-го отработанного и заложеного твердеющей закладкой слоя. В результате массив будет повторно подработан. За мощность первого слоя принимается фактическое значение недозакладки выработанного пространства  $m_1=0.4\text{м}$ , а для второго - недозакладка принимается  $m_2=0.1\text{м}$  (принято как в проекте ведения горных работ [20]). Функции типовых кривых, их матричный вид, были использованы полученные ранее в Главе 3. Контакт перекрывающей и рудовмещающей толщ находится на расстоянии 70 м над выработанным пространством. На рисунке 4.5 приведен график суммарных значений кривизны, полученной после отработки двух слоев на рассматриваемом контакте, который также соответствует полиномиальной зависимости. Текст программы представлен в Приложении Б. В приложении В представлены графики суммирования кривизны полученной при подработке 1 и 2 слоя для значений  $S=-3\text{м}$ ,  $0\text{м}$  и  $3\text{м}$ .

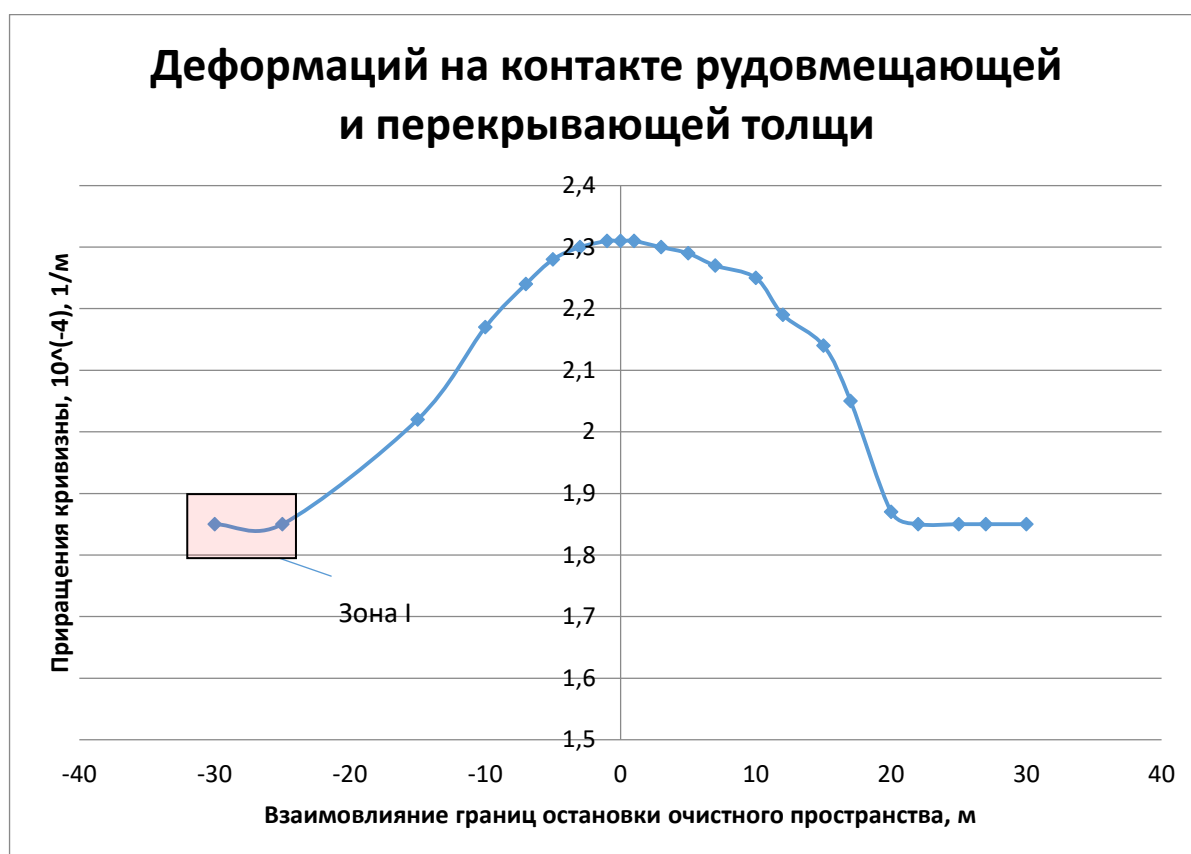


Рисунок 4.5 - Зависимость приращения суммарной кривизны от взаимного положения границ очистных работ

Зона I - участок с незначительным увеличением кривизны.

Известно, что уже сформировавшиеся водопродводящие трещины не могут сомкнуться, даже если суммарная кривизна будет меньше кривизны полученной от 1 пласта. Исходя из этого, даже при сложении положительного максимума функции распределения кривизны, от первого пласта, с отрицательным максимумом функции распределения кривизны, от второго пласта, за максимальное положительное значение кривизны бралось значение равное положительному максимуму функции распределения кривизны, полученной от первого пласта.

Для практического применения указана зона незначительного увеличения деформаций (зона I): при взаимном положении границ остановки очистных работ от -30 м до -22 м.

Также получен график приращений кривизны в зависимости при разном взаимном положении границ остановки очистного пространства на рисунке 4.6.

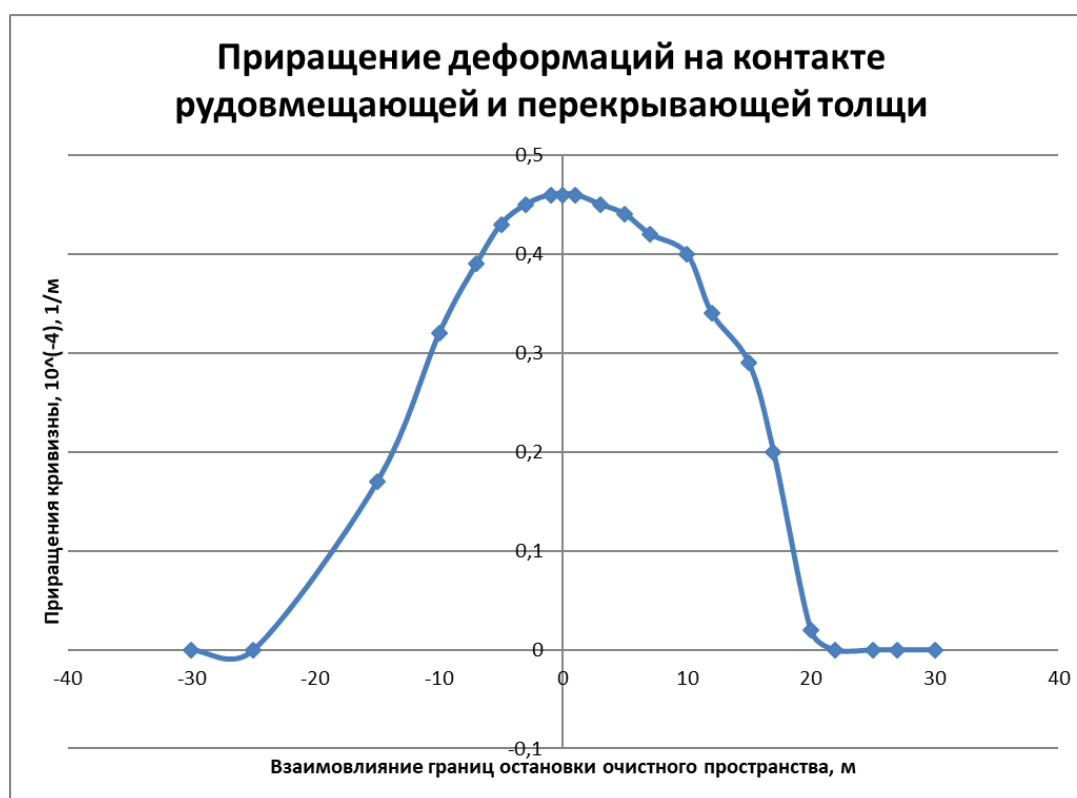


Рисунок 4.6 - График зависимости приращений кривизны от взаимного положения границ остановки очистных работ.

Сначала по разработанному программному алгоритму была получена максимальная кривизна контакта толщ вследствие отработки 1 –го слоя рудного тела (4.1):

$$K_{1max} = 1,85 * 10^{-4} \text{ м}^{-1}. \quad (4.1)$$

При выемке 2-го слоя, при условии полного совпадения границ, максимальная кривизна на рассматриваемом контакте после процедуры сложения в разработанной программе составила (4.2):

$$K_{2max} = 2,31 * 10^{-4} \text{ м}^{-1}. \quad (4.2)$$

В результате при полном совпадении границ отработанных выработок значение кривизны контакта увеличиться на  $0,46 * 10^{-4} \text{ м}^{-1}$  относительно максимальной кривизны, полученной после отработки 1-го слоя. Граничная кривизна, определенная как функция содержания пород глинистого состава и распределения слоев по мощности в подрабатываемой толще, для рассматриваемых условий составила  $K_{Г}=10,03*10^{-4} \text{ м}^{-1}$ .

Так как максимальная кривизна после отработки 2-го слоя ( $K_{2max}$ ) меньше граничной кривизны ( $K_{Г}$ ), то в «относительном водоупоре», находящемся в приконтактной зоне (рисунок 2.1), образовавшиеся нормальнорезающие трещины не являются сквозными. Поскольку превышение значения  $K_{Г}$  относительно  $K_{2max}$  составляют большую величину ( $7,72 * 10^{-4} \text{ 1/м}$ ), то этот слой имеет большой запас надежности по сохранению своих водоупорных свойств.

#### 4.3 Выводы по главе 4

1. Сложение деформаций при накоплении кривизны от взаимного положения границ очистных работ происходит по полиномиальному закону 2-го порядка. По тому же закону происходит изменение высоты зоны водопроницаемых трещин, функционально связанной с деформациями кривизны.
2. На графиках изменения высоты зоны водопроницаемых трещин выявлены участки, на которых она практически не увеличивается при сложении деформаций. При ведении горных работ рекомендуется формировать границы очистных пространств в указанных участках.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи по разработке методики накопления деформаций для прогноза развития зоны водопроводящих трещин при разработке Яковлевского рудника.

1. Для определения границ мульды и зоны опасного влияния горных работ получены граничные углы и углы сдвижений на основе анализа данных мониторинговых наблюдений за сдвижением реперов поверхности профильных линий.
2. Выведена формула для прогноза максимального оседания с учетом горно-геологических условий и полученных результатов натуральных наблюдений за сдвижением горных пород.
3. На основе полученного различия в закономерностях распределения сдвижения горных пород перекрывающей (осадочной) и рудовмещающей толщ выявлен механизм образования полостей отслоения на контакте толщ и произведена оценка процессов их образования.
4. На основе обработки результатов натуральных наблюдений за сдвижением и деформациями горных пород определены функции типовых кривых распределения оседаний, наклонов и кривизны в табличном виде, которые также выражены аналитически.
5. На основе метода типовых кривых разработана методика прогноза вертикальных сдвижений и деформаций горных пород для рассматриваемых условий.
6. Изучение механизма накопления деформаций от взаимного положения границ очистного пространства на математических моделях выявило, что сложение деформаций происходит по полиномиальному закону 2-го порядка. По тому же закону происходит изменение высоты ЗВТ, функционально связанной с деформациями кривизны.
7. На графиках изменения высоты ЗВТ выявлены участки, на которых она практически не увеличивается при сложении деформаций. Поэтому

рекомендуется формировать границы остановки очистных выработок по различным слоям в пределах выявленных участков.

**Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы:** диссертационное исследование является перспективным в плане изучения влияния сдвижения пород рудовмещающей толщи на процессы деформирования пород осадочной толщи. Полученные результаты могут быть рекомендованы при проведении научно-исследовательских и проектных работ на Яковлевском руднике. Также могут получить продолжение исследования механизма образования техногенных водопроводящих трещин вследствие накопления деформаций при повторных подработках массива горных пород.

### Список литературы

1. Авершин С.Г. Сдвигение горных пород при подземных разработках / С.Г. Авершин. - М.: Углетехиздат, 1947. - 245 с.
2. Авершин, С.Г. Горные работы под сооружениями и водоемами / С.Г. Авершин. - М.: Углетехиздат, 1954. - 324 с.
3. Авершин, С.Г. Некоторые свойства процесса сдвижения горных пород и вопросы расчета сдвижения / С.Г. Авершин // Сб.тр.ВНИМИ. - Л. - 1961. - № 43. - С. 3-21.
4. Авершин, С.Г. О наибольших значениях характеристик мульды сдвижения / С.Г. Авершин // Сб.тр.ВНИМИ. - Л. - 1952. - № 26. - С. 3-20.
5. Авершин, С.Г. Расчет деформаций массива горных пород под влиянием подземных разработок / С.Г. Авершин. - Л.: ВНИМИ, 1960. - 276 с.
6. Акимов, А.Г. Сдвигение горных пород при подземной разработке угольных и сланцевых месторождений / А.Г.Акимов, В.Н.Земисев, Н.Н.Кацнельсон и др. - М.: Недра, 1970. - 224 с.
7. Алексеев, И.В. Развитие комплексного инженерно-геологического и микробиологического мониторинга на Яковлевском руднике для повышения безопасности ведения очистных работ под неосушенными водоносными горизонтами: диссертация кандидата г.-м. наук: 25.00.08.- Санкт-Петербург, 2015 г.-269с.
8. Апухтина, И.В. Закономерности пространственного размещения богатых железных руд Яковлевского месторождения / И.В. Апухтина // Записки Горного института. Полезные ископаемые России и их освоение. - СПб: СПГГИ, 2006. - Т.167. ч.2. - С. 7–9.
9. А.С. 1102950 А SU E 21 С 39/00 Способ определения высоты зоны водопроницающих трещин над выработанным пространством/ Ю.С. Осипенко, Г. Л. Куперман, Н.Б. Денчик, И. А. Бричков

10. А.С. 1208231 А SU E 21 С 39/00 Способ определения высоты зоны водопродводящих трещин над выработанным пространством/Б. Я. Гривцман, А. П. Кириллов, В.П. Самарин, В. К. Шляхтецкий //1986.- Бюл.№4
11. А.С. 185819 5d, 18 E 21f С 39/00 Способ определения высоты зоны распространения водопродводящих трещин при моделировании на эквивалентных материалах/ А.А. Атрашкевич, В.А. Борисовец, Ю.П. Шокин //1966.-Бюл.№18
12. А.С.1046475 СССР. Устройство для изоляции опробуемых интервалов скважин / Б.Я. Гвирцман, В.Н. Гусев // 1983. - Бюл. № 37. - 3 с.
13. А.С.1121433 СССР. Устройство для закладки в буровую скважину пружинных кольцевых реперов / Б.Я. Гвирцман, В.Н. Гусев // 1984. - Бюл. № 40.
14. А.С.1145137 СССР. Устройство для определения смещений скважинных реперов / В.Н.Гусев, Б.Я.Гвирцман, Е.В.Бошнятов, А.Г.Акимов // 1985. - Бюл. № 10.
15. А.С.1221347 СССР. Способ определения высоты зоны водопродводящих трещин в массиве горных пород / Б.Я.Гвирцман, Е.В.Бошнятов, В.Н.Гусев // 1986. - Бюл. № 12.
16. А.С.1221348 СССР. Способ определения высоты зоны водопродводящих трещин над выработанным пространством на пластовых месторождениях с выдержанными водоупорами между водоносными слоями / Б.Я. Гвирцман, В.Н. Гусев // 1986. - Бюл. № 12.
17. А.С.1490282 СССР. Способ предотвращения затопления подрабатываемого участка земной поверхности грунтовыми и поверхностными водами / В.Н. Гусев, А.С. Миронов, Ю.А. Норватов, И.А. Петухов // 1989. - Бюл. № 24.

18. Бахурин, И.М. Сдвигение горных пород под влиянием горных выработок / И.М. Бахурин. - М.: Углетехиздат, 1946. - 231 с.
19. Ведяшкин, А.С. Опыт отработки угольных пластов под водными объектами в Карагандинском бассейне / А.С. Ведяшкин, Б.Я. Гвирцман, Г.А. Нестеров. - М.: ЦНИЭИ-уголь, 1975. - 36 с.
20. Выполнить обоснование безопасных условий отработки Яковлевского железорудного месторождения под неосушенным нижнекарбоновым водоносным комплексом без сооружения водонепроницаемых перемычек. Согласование результатов в Госгортехнадзоре России: Отчет о НИР /НОВОТЭК. Рук. Гензель Г.Н. - Белгород, 2004.
21. Гвирцман, Б.Я. Безопасная выемка угля под водными объектами / Б.Я. Гвирцман, Н.Н. Кацнельсон, Е.В. Бошнятов и др. - М.: Недра, 1977. - 175 с.
22. Гвирцман, Б.Я. Безопасные глубины разработки свит пластов в Кузбассе под водными объектами / Б.Я. Гвирцман, В.Н. Гусев, Г.П. Пепеляев // Сдвигение земной поверхности и устойчивость откосов: сб.науч.трудов. - Л.: ВНИМИ. - 1980. - С. 65-69.
23. Гвирцман, Б.Я. Изучение фильтрационных свойств подработанной толщи горных пород с помощью восстающих скважин / Б.Я. Гвирцман, Ф.П. Стрельский // Сб.тр.ВНИМИ. - Л. - 1967. - № 67. - С. 174-181.
24. Гвирцман, Б.Я. Исследование изменения проницаемости подработанной толщи с удалением от выработанного пространства на моделях из эквивалентных материалов / Б.Я. Гвирцман, Е.В. Бошнятов, Л.В. Токарева // Сб.тр.ВНИМИ. - Л. - 1967. - № 67. - С. 182-195.
25. Гвирцман, Б.Я. Методические указания по натурному определению высоты зоны водопроводящих трещин над выработанным пространством в конкретных горно-геологических условиях / Б.Я.Гвирцман, Ф.П.Стрельский. - Л.: ВНИМИ, 1973. - 32 с.



26. Гвирцман, Б.Я. О зависимости высоты зоны водопродводящих трещин над выработанным пространством от вынимаемой мощности и литологического состава пород толщи / Б.Я. Гвирцман // Сб.тр.ВНИМИ. - Л. - 1974. - № 92. - С. 45-49.
27. Гвирцман, Б.Я. О необходимых размерах барьерных целиков у затопленных выработок на пологих пластах Донбасса / Б.Я. Гвирцман // Сб.тр.ВНИМИ. - Л. - 1964. - № 52. - С. 127-140.
28. Гвирцман, Б.Я. О положении границ зоны водопродводящих трещин при разработке пологих пластов Кузбасса / Б.Я. Гвирцман, Г.П. Пепеляев, А.С. Ягунов // Сб.тр.ВНИМИ. - Л. - 1979. - № 113. - С. 41-45.
29. Гвирцман, Б.Я. Определение высоты зоны водопродводящих трещин над выработанным пространством по результатам опытных нагнетаний / Б.Я. Гвирцман // Сб.тр.ВНИМИ. - Л. - 1969. - № 72. - С. 261-267.
30. Гвирцман, Б.Я. Прогнозирование высоты зоны водопродводящих трещин / Б.Я. Гвирцман, В.Н. Гусев, Л.А. Западанский // Уголь. - 1985. - № 7. - С. 56-57.
31. Гвирцман, Б.Я. Размер зон водопродводящих трещин при разработке свиты угольных пластов / Б.Я. Гвирцман, В.Н. Гусев, А.С. Ягунов // Безопасность труда в промышленности. - 1980. - № 8. - С. 53-54.
32. Гвирцман, Б.Я. Результаты наблюдений за сдвижением неслоистых пород средней крепости при их подработке / Б.Я. Гвирцман, Н.Н. Кацнельсон // Сб.тр.ВНИМИ. - Л. - 1968. - № 64. - С. 33-38.
33. Гвирцман, Б.Я. Рекомендации по определению безопасных условий выемки свит пластов под водными объектами / Б.Я. Гвирцман, В.Н. Гусев, Н.Н. Кацнельсон, Б.И. Леваньков, А.С. Миронов, В.П. Самарин, Ф.П. Стрельский. - Л. - 1987. - 70 с.
34. Горное дело. Словарь / ред. Н.В. Мельников, Л.Д. Воронина, Г.П. Демидюк и др. - М.: Недрa, 1974. - 528 с.

35. Григорьев А.М. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: Геомеханическое обоснование подземной разработки железорудных месторождений КМА под обводненной толщей пород- М: МГРИ-РГТРУ, 2008, 20 с.
36. Гусев В.Н. Прогноз безопасных условий разработки свиты угольных пластов под водными объектами на основе геомеханики техногенных водопроводящих трещин / Гусев В.Н. // Записки Горного института. 2016. Т.221. С.638-643
37. Гусев, В.Н. Основные принципы организации и развития гидрогеомеханического мониторинга в подземных выработках Яковлевского рудника / В.Н. Гусев, Р.Э. Дашко, Н.С. Петров // Современные проблемы горной промышленности. Записки горного института. – СПб: 2006. – Т.168. с. 132-139с.
38. Гусев, В.Н. Геомеханика процессов формирования техногенной структуры в слоях массива горных пород / В.Н. Гусев // Маркшейдерский вестник. - 1996. - № 3. - С. 10-13.
39. Гусев, В.Н. Геомеханика техногенных водопроводящих трещин / В.Н. Гусев - СПб.: СПГГИ, 1999. - 156 с.
40. Гусев, В.Н. Геомеханическая оценка развития зон водопроводящих трещин в подрабатываемой толще / В.Н. Гусев, А.С. Миронов, Д.А. Илюхин, Е.В. Анопов // Маркшейдерский Вестник. – 2011. – № 5. – С. 39-44.
41. Гусев, В.Н. Геомеханическая схема образования зоны водопроводящих трещин в подработанном массиве горных пород / В.Н. Гусев, Ш.М. Каландаров // Маркшейдерское дело и геодезия: Межвуз. сб. - Л.: ЛГИ, 1989. - С. 26-30.

42. Гусев, В.Н. Зависимость высоты зоны водопродящих трещин от распределения в толще породных слоев / В.Н. Гусев // Маркшейдерское дело и геодезия: Межвуз.сб. - 1997.- С. 78-81.
43. Гусев, В.Н. Исследование влияния многократных подработок на процессы образования нормальносекущих трещин в подрабатываемых слоях толщи / В.Н. Гусев, Н.Н. Заворин // Маркшейдерское дело и геодезия: Межвуз.сб. - СПб.: ЛГИ, 1991. - С. 26-31.
44. Гусев, В.Н. Математическая обработка маркшейдерской информации статистическими методами/В.Н. Гусев, А.Н. Шеремет//Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). 2-е изд., исправленное. СПб, 2010. 98с.
45. Гусев, В.Н. Методика расчета развития зоны водопродящих трещин в многократно подработанном массиве горных пород / В.Н. Гусев // Маркшейдерское дело и геодезия: Межвуз.сб. - Л. - 1989. - С. 16-21.
46. Гусев, В.Н. О надежности получаемых величин сдвижений и деформаций массива горных пород частотными наблюдениями в скважинах / В.Н. Гусев // Сдвигение земной поверхности и устойчивость откосов: сб.науч.трудов. - Л.: ВНИМИ, 1982. - С. 6-10.
47. Гусев, В.Н. Определение деформаций горных пород на шахте № 5 «Великомостовская» Львовско-Волынского бассейна с помощью глубинных реперов / В.Н. Гусев, В.Н. Земисев // Сб.тр..ВНИМИ. - Л. - 1969. - № 72. - С. 183-200.
48. Гусев, В.Н. Определение параметров зоны водопродящих трещин через горизонтальные деформации подрабатываемой толщи. / В.Н. Гусев, Д.А. Илюхин, А.Г. Алексенко // Записки Горного института – 2013. – Т. 204. – С. 69-73.
49. Гусев, В.Н. Оценка геомеханического состояния подработанного массива горных пород по результатам наблюдений за сдвижением

скважинных реперов / В.Н. Гусев // Маркшейдерское дело и геодезия: Межвуз.сб. - СПб.:СПГГИ, 1993. - С. 18-23.

50. Гусев, В.Н. Оценка степени нарушенности подрабатываемой толщи техногенными водопрводящими трещинами по данным геомеханического мониторинга в горных выработках Яковлевского рудника / В.Н. Гусев, Д.А. Илюхин, А.Е. Алексенко // Записки Горного института. – 2013. – Т. 204. – С. 74-81.

51. Гусев, В.Н. Прогноз техногенной нарушенности массива горных пород при эксплуатации угольных месторождений / В.Н. Гусев, А.С. Миронов, И.В. Тугаров // I Всесоюзный съезд инженеров-геологов, гидрогеологов и геокриологов: Тез.докл. - Киев: Наукова думка, 1989. - С. 38-40.

52. Гусев, В.Н. Сдвигения и деформации повторно подрабатываемой толщи горных пород / В.Н. Гусев // Охрана сооружений от вредного влияния горных работ и расчет устойчивости бортов угольных разрезов: сб.науч.трудов. - Л.: ВНИМИ, 1983. - С. 33-36.

53. Гусев, В.Н. Сдвигения и деформации слоев массива горных пород с образованием техногенных водопрводящих трещин / В.Н. Гусев, Е.С. Рожнов // Записки Горного Института. - 2011. - №190. - С. 274-277.

54. Дашко, Р.Э. Геотехническая и инженерно-геологическая оценка безопасности добычи богатых железных руд на Яковлевском руднике (Яковлевское месторождение КМА) / Р.Э. Дашко, Е.Н. Феллер // Международный журнал Геотехника. – М: 2014. - №3. с. 48 – 60.

55. Дашко, Р.Э. Гидрогеологический мониторинг на Яковлевском руднике (КМА) как инструмент повышения безопасности ведения очистных работ в сложных горно-геологических условиях / Р.Э. Дашко, Е.Н. Ковалева (Феллер) // Записки Горного института. – СПб.: 2012. - Т. 195. с. 19 – 24.

56. Дашко, Р.Э. Анализ и оценка изменения гидродинамических условий на основе результатов гидрогеодинамического мониторинга (Яковлевский рудник) / Р.Э. Дашко, Е.Н. Ковалева (Феллер) // Материалы III Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции молодых ученых. Белгородский государственный университет. – Белгород: 2009. с. 161-164.
57. Дашко, Р.Э. Геомеханические и гидрогеологические проблемы освоения Яковлевского месторождения / Р.Э. Дашко, В.Л. Трушко, А.Г. Протосеня // Записки Горного института. – СПб.: 1974. – Т. XIV. – Вып.1. с. 34–39.
58. Дашко, Р.Э. Зависимость прочности слоистого материала от сцепления и трения на контактах слоев / Р.Э. Дашко, О.В. Тимофеев, Н.С. Конокотов // Записки Горного института. – СПб: 2010. – Т. 185. с. 9 – 18.
59. Дашко, Р.Э. Инженерно-геологическая характеристика и оценка богатых железных руд Яковлевского рудника / Р.Э. Дашко // Современные проблемы горной промышленности. Записки горного института. – СПб: 2006. – Т.168. с. 142-149.
60. Дашко, Р.Э. К вопросу о возможности комплексного использования природных ресурсов на Яковлевском месторождении КМА / Р.Э. Дашко, А.А. Тимченко // Материалы II Международной научной конференции. Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах. – Белгород: 2006. с. 320-325.
61. Дашко, Р.Э. Комплексный мониторинг подземных вод на Яковлевском месторождении богатых железных руд и его роль в повышении безопасности ведения горных работ в условиях неосушенных водоносных горизонтов / Р.Э. Дашко, Е.Н. Ковалева

(Феллер) // Проблемы геомеханики, геотехнологии и маркшейдерского дела. Записки Горного института. – СПб: 2011. – Т.190. с. 78–86.

62. Дашко, Р.Э. Механика горных пород. Учебник для вузов. / Р.Э. Дашко. – М.: Недра, 1987. – 264 с.

63. Дашко, Р.Э. Проблемы утилизации рудничных вод (на примере месторождения богатых железных руд КМА / Р.Э. Дашко, А.И. Коротков // Материалы шестой межвузовской молодежной научной конференции «Школа экологической геологии и рационального недропользования». – СПб: 2005. с. 104-114.

64. Дашко, Р.Э. Формирование и развитие горно-геологических процессов в зависимости от изменения инженерно-геологических и гидрогеологических условий на Яковлевском руднике / Р.Э. Дашко, Е.Н. Феллер // Записки Горного института. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2012. – Т.199. с. 151–161.

65. Дашко, Р.Э. Инженерно-геологическая характеристика и оценка богатых железных руд Яковлевского рудника / Р.Э. Дашко // Записки Горного института. - 2006. - Т.168. – С. 97-103.

66. Дашко, Р.Э. Исследование возможности прорывов подземных вод из нижнекаменноугольного водоносного горизонта в горные выработки Яковлевского рудника / Р.Э. Дашко, А.В. Волкова // Современные проблемы горной промышленности. Записки горного института. – СПб: 2006. – Т.168. с. 142-149.

67. Дашко, Р.Э. Микробная деятельность в подземных выработках и ее влияние на свойства богатых железных руд и конструкционных материалов / Р.Э. Дашко, И.В. Алексеев // Современные проблемы горной промышленности. Записки Горного института. – СПб: 2012. – Т.195. с. 15-18.

68. Дашко, Р.Э. Микробная деятельность в подземных выработках и ее влияние на свойства богатых железных руд и конструкционных материалов / Р.Э. Дашко, А.В. Волкова, Д.Ю. Власов // Современные проблемы горной промышленности. Записки горного института. – СПб: 2006. – Т.168. – 165 – 175 с.
69. Дашко, Р.Э. Роль микробиоты при оценке устойчивости богатых железных руд Яковлевского месторождения КМА / Р.Э. Дашко, А.В. Волкова// Труды Международной научной конференции «Проблемы инженерной геодинамики и экологической геодинамики». – М.: 2006. с. 81 - 83.
70. Дешковский, В.Н. Рациональный подход к определению параметров безопасной отработки свиты калийных и соляных пластов. / В.Н. Дешковский, И.С. Невельсон, В.Н. Новокшенов // Маркшейдерия и недропользование. - 2007. - №1. - С. 42-45.
71. Дунаев, В.А. Минерально-сырьевые ресурсы бассейна КМА / Дунаев В.А. // Горный журнал. - 2004. - №1 - С. 9-12.
72. Земисев, В.Н. Безопасная глубина разработки под водными объектами при выемке свиты пластов /В.Н. Земисев, Е.В. Бошнятов, А.С.Миронов, А.С. Ягунов //Горная геомеханика и маркшейдерское дело: Сборник научных трудов. – СПб.: ВНИМИ, 1999 – 496 с. (М-во топлива и энергетики РФ, РАН).
73. Илюхин, Д.А. Зависимость параметров зон водопроводящих трещин от геологического строения подрабатываемой толщи / Д.А. Илюхин // Маркшейдерско-геодезическое обеспечение рационального использования, охраны недр и строительства сооружений: межвуз. сб. науч. тр. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ).– 2012.– С. 41-46.

74. Илюхин, Д.А. Применение моделирования методом конечных элементов при прогнозировании развития зоны водопродящих трещин. / Д.А. Илюхин // Современные проблемы освоения недр – НИУ «БелГУ» – 2013. – С. 45-51.
75. Илюхин, Д.А. Применение цифровых нивелиров для наблюдения за осадками сооружений / Д.А. Илюхин // Записки Горного института. – 2012. – Т. 196. – С. 65-67.
76. Илюхин, Д.А. Прогноз развития зоны водопродящих трещин при разработке Яковлевского месторождения богатых железных руд: диссертация кандидата технических наук:25.00.16/ Илюхин Дмитрий Александрович.- Санкт-Петербург, 2014 г.-125с.
77. Инструкция по безопасному ведению горных работ у затопленных выработок. (Госгортехнадзор РФ, Минтопэнерго РФ, Гос.науч.-ислед.ин-т геомех. и маркшейд.дела) - М., 1996. - 48 с.
78. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях (Мин-во угольной промышленности СССР, Разраб. ВНИМИ) / ред. А.С. Ягунов. - М.: Недра, 1989. - 96 с.
79. Иофис, М.А. Инженерная геомеханика при подземных разработках/ Иофис М.А., Шмелев А.И. - М.: Недра, 1985. -248 с.
80. Казаковский, Д.А. К вопросу о предрасчете сдвижений горных пород при разработке угольных месторождений / Д.А. Казаковский // Сб.тр.ВНИМИ. - Л. - 1952. - № 25. - с. 3-11.
81. Казаковский, Д.А. К расчету деформаций поверхности при выемке пологопадающих и наклонных угольных пластов / Д.А. Казаковский // Сб.тр.ВНИМИ. - Л. - 1952. - № 26. - С. 21-32.
82. Казаковский, Д.А. Некоторые горнотехнические задачи, связанные с проблемой сдвижения горных пород. Учебное пособие для заочных групп



повышения квалификации руководящих и инженерно-технических работников специальности «Маркшейдерское дело» / Д.А. Казаковский - Л.: ЛГИ, 1964. – 60 с.

83. Казаковский, Д.А. Сдвигение земной поверхности под влиянием горных разработок / Д.А. Казаковский. - М.: Углетехиздат, 1953. - 234 с.

84. Казикаев, Д.М. Разработка рудных месторождений под водными объектами/ Казикаев Д.М., Осипенко Ю.С.// -М.: Недра, 1989

85. Канлыбаева Ж.М. Закономерности сдвижения горных пород в массиве. М.: Наука, 1968. -108 с.

86. Кацнельсон, Н.Н. Подработка затопленных выработок в Донецком бассейне / Н.Н. Кацнельсон, В.В. Гусев, Б.Я. Гвирцман // Сб.тр.ВНИМИ.- 1964. - № 52. - с. 111-126.

87. Кацнельсон, Н.Н. Предотвращение прорывов воды из обводненных Юрских отложений на Осиновском месторождении Кузбасса / Н.Н. Кацнельсон, Б.Я. Гвирцман // Сб.тр. ВНИМИ. - № 64. - С. 361-368.

88. Кацнельсон, Н.Н. Степень зависимости безопасной глубины подработки водных объектов от вынимаемой мощности пласта / Н.Н. Кацнельсон // Сб.тр. ВНИМИ. - 1971. - № 83. - С. 13-18.

89. Кашников, Ю.А. Прогноз сдвижений горных пород и земной поверхности при разработке рудных месторождений / Ю.А.Кашников, С.Г. Ашихмин, Д.В. Шустов // Маркшейдерский вестник. - 2010. - № 4. - С. 61-62.

90. Ковалева, Е.Н. Инженерно-геологическая характеристика и оценка устойчивости богатых железных руд Яковлевского месторождения в подземных выработках / Е.Н. Ковалева // Труды XIV Международного научного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр». Томский политехнический университет. – Томск, 2011. – Т.1. с. 232-234.

91. Кратч, Г. Сдвигение горных пород и защита подрабатываемых сооружений/Кратч Г.// Пер. с нем. под ред. Р.А. Муллера и И.А. Петухова. М., «Недра», 1978. - 494 с.
92. Кузнецов, М.А. Определение границ зон опасных сдвижений при разработке слепых залежей ограниченных размеров / М.А. Кузнецов, В.В. Громов // Сдвигение земной поверхности и устойчивость откосов: сб.науч.трудов - Л.: ВНИМИ, 1980. - С. 39-43.
93. Кузнецов, М.А. Сдвигение горных пород на рудных месторождениях / М.А.Кузнецов, А.Г. Акимов, В.И. Кузьмин, М.Г. Пантелеев, М.Ф. Чернышев. - М.: Недра, 1971, - 224 с.
94. Макаров, А.Б. Практическая геомеханика / А.Б. Макаров. - М.: Горная книга, 2006. - 385 с.
95. Малюхина, Е. М. Исследование процессов сдвижения и деформаций горных пород по данным геомеханического мониторинга на Яковлевском руднике/Малюхина Е.М., Гусев В.Н.// «Маркшейдерский вестник» -5, 2017г., с. 64.
96. Малюхина, Е. М. Получение аналитических моделей и расчетных методик, применимых для решения маркшейдерских задач/ Малюхина Е.М., Илюхин Д. А., Рахаткулов Д. Х., Выстрчил М. Г., Ниязов Н. Т. Гусев В. Н.// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2018. — № 4 (специальный выпуск 14). — 16 с. — М.: Издательство «Горная книга».
97. Малюхина, Е.М. Влияние степени совпадения границ отработки по пластам свиты на высоту распространения зоны водопродводящих трещин / Малюхина Е.М., Гусев В.Н.// Маркшейдерский вестник № 6, 2016 г., с.39-42.
98. Малюхина, Е.М. Влияние степени совпадения границ очистного пространства при прогнозе зоны техногенных водопродводящих

трещин/Малюхина Е.М.// Международный форум-конкурс молодых учёных «Проблемы недропользования», Часть 2.- 2016.- С. 223.

99. Малюхина, Е.М. Механизм развития зоны водопродящих трещин с учетом накопления кривизны от выемки пластов свиты / Малюхина Е.М.//сборник статей VIII международного научно –практического конкурса Лучшая научно-исследовательская работа 2017, С.186-190.

100. Малюхина, Е.М. Определение вида зависимости основных параметров сдвижения для получения высоты зоны водопродящих трещин/ Малюхина Е.М., Илюхин Д.А.// Материалы XI Общероссийской конференции изыскательных организаций , -с. 116-120.

101. Малюхина, Е.М. Расчет безопасной глубины разработки под водными объектами с учетом степени совпадения границ выработок по различным пластам свиты/ Илюхин Д.А., Малюхина Е.М. // Академический журнал западной Сибири ,2016.

102. Малюхина, Е.М. Расчет зоны водопродящих трещин для железорудных месторождений на основе данных геомеханического мониторинга/ МалюхинаЕ.М., Илюхин Д.А. // Маркшейдерский вестник №4, 2015г. -с. 59-63.

103. Медянцеv, А.Н. Совместное влияние подработки сооружений свитой пластов / Медянцеv А.Н. // Тр. Всесоюзного научно-техн. совещания по маркшейдерскому делу. М.: Углетехиздат, 1958. С.286-306.

104. Мозер, С.П. Мониторинг состояния водозащитной толщи на калийных рудниках/ Мозер С.П., О.В.Ковалев, Тхориков И.Ю.// Górnictwo i geologia, Гливице, 2010г. – Том 5, -с.89-102.

105. Оглобин, Д.Н. Маркшейдерское дело: Учебник для вузов / Оглобин Д.Н., Герасименко Г.И., Акимов А.Г. и др. – 3-е изд. перераб. и доп. М., «Недра», 1981. 174с.

106. Оглоблин, Д.Н. Изучение на моделях из эквивалентных материалов сдвижения горных пород и земной поверхности при выемке свиты поло-гопадающих пластов /Оглоблин Д.Н., Зоря Н.М., Кренев Н.И. // Сб.тр.ВНИМИ. 1962. № 44. С.58-71.
107. Оловянный, А.Г. Математическое моделирование развития трещин в толще пород над отработанными пластами калийных солей / Оловянный А.Г. //Научный вестник Московского Государственного Горного Университета. - 2012. - №3 (24). - С. 85-98
108. Орлов, В.П. Железные руды КМА / В.П. Орлов. - М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2001. - 601 с.
109. Петров, Д.Н. Обследование сопряжений выработок Яковлевского рудника / Д.Н. Петров, О.В.Трушко, М.Г. Попов //Известия высших учебных заведений. Горный журнал. -2011. -№ 8.- С. 33-38.
110. Петрук, Е.Г. Расчет горизонтальных сдвижений земной поверхности при движущемся забое / Е.Г. Петрук, В.Г. Ларченко // Изв.вузов. Горный журнал. - 1975. - № 3. - С. 86-89.
111. Попов, М.Г. Исследование устойчивости горных выработок при проходке в условиях Яковлевского рудника / М.Г. Попов // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки, серия: «Науки о Земле». - Тула 2009 г. - Выпуск 4. - С. 149-152.
112. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок в Донецком угольном бассейне. / МУП СССР - М. - 1972. - 128 с.
113. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок в Кизеловском угольном бассейне / ВНИМИ - Л. - 1967. - 122 с.

114. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок в Кузнецком угольном бассейне / ВНИМИ - Л. - 1968. - 173 с.
115. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок в Печорском угольном бассейне / ВНИМИ - Л. - 1967. - 110 с.
116. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок в Челябинском угольном бассейне/ ВНИМИ - Л. - 1967. - 170 с.
117. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на Буланашском угольном месторождении / МУП СССР - М. - 1969. - 79 с.
118. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях / (МУП СССР). - М., Недра, 1981. 288 с.
119. Протосеня, А.Г. Натурные наблюдения за осадкой рудной потолочины при ведении горных работ на Яковлевском руднике/ А.Г Протосеня., К.Г. Синякин, Д.Н. Петров , Г.А Мартемьянов // Записки горного института, СПб.: РИЦ СПГГИ(ТУ), СПб, 2011 г. Т 190, С. 158-162.
120. Протосеня, А.Г. Натурные наблюдения за осадкой рудной потолочины при ведении горных работ на Яковлевском руднике / А.Г. Протосеня, Д.Н. Петров, К.Г. Синякин, Г.А. Мартемьянов // Проблемы геомеханики, геотехнологии и маркшейдерского дела. Записки Горного института. – СПб, 2011. –Т.190. с. 158– 162.
121. Протосеня, А.Г. Моделирование напряженно-деформированного состояния рудного массива в зоне влияния очистных работ/

А.Г.Протосеня, К.Г. Синякин // Записки Горного института, СПб.: РИЦ СПГГЦТУ), СПб, 2011. Т 189, С. 240-243.

122. Протосеня, А.Г. Моделирование пространственного напряженно-деформированного состояния массива вокруг выработки, пересекающей зону ослабления/ А.Г. Протосеня, Д.Н. Петров, М.Г. Попов//Записки Горного института. -2010. -Т. 188. -С. 127-132.

123. Протосеня, А.Г. Оценка напряженного состояния нетронутого горными работами неоднородного рудного массива/А.Г. Протосеня, М.Г. Попов//Известия высших учебных заведений. Горный журнал. -2009. -№ 6. -С. 36-40.

124. Рекомендации по проектированию мероприятий для защиты эксплуатируемых зданий и сооружений от вредного влияния горных выработок в основных угольных бассейнах Рекомендации по проектированию мероприятий для защиты эксплуатируемых зданий и сооружений от вредного влияния горных выработок в основных угольных бассейнах / Л.: Стройиздат, 1967. - 124 с.

125. Рожнов, Е.С. Расчет сдвижений и деформаций с использованием функций типовых кривых, выраженных аналитически / Е.С. Рожнов // Записки Горного Института. - 2011. - №190. - С. 297-300.

126. Сдвигение горных пород и земной поверхности при подземных разработках / Под общей ред. В.А.Букринского и Г.В.Орлова. М.: Недра, 1984.- 247 с.

127. Сдвигение и деформации горных пород: Учеб. пособие / В.Н.Гусев, Е.М.Волохов. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, - 2003. -83 с.

128. Сергеев, С.В. Инженерно-геологическое сопровождение горных работ при разработке рыхлых руд КМА / С.В. Сергеев, А.И. Лябах, Д.А. Зайцев и др. // НИУ БелГУ Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. - №11. - С. 41-44.
129. Сергеев, С.В. Опыт разработки богатых железных руд Яковлевского месторождения КМА / С.В. Сергеев, А.И. Лябах, Д.А. Зайцев // Научные ведомости. Серия Естественные науки. - 2011. - №3. - С. 200-208.
130. Сергеев, С.В. Перспективные методы контроля деформирования закладочного массива при слоевой системе разработки богатых железных руд / С.В. Сергеев, Д.А. Зайцев // Известия Тульского государственного университета. Сер. Науки о земле. НИУ БелГУ - 2011. - Вып.1.-С. 365-370.
131. Синегубов, В.Ю. Использование экспериментально-численного метода прогноза смещений вокруг выработки в рудном массиве / В.Ю. Синегубов, М.Г. Попов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал – 2011. – № 6 г. - С. 70-73.
132. Синегубов, В.Ю. Напряженно-деформированное состояние массива рыхлых руд Яковлевского месторождения вокруг выработок, пройденных комбайновым и буровзрывным способами / В.Ю. Синегубов, В.И. Очкуров, А.В. Стрелецкий // Записки Горного института. - СПб.: СПГИ. - 2010. - Т.185. - С. 102-106.
133. Синегубов, В.Ю. Напряженно-деформированное состояние разделительного целика в слабых рудах между очистными заходками верхнего слоя / В.Ю. Синегубов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал – 2011, – № 7 г. - С. 86-91.
134. Синегубов, В.Ю. Обоснование конструкций упрочняющей крепи подготовительных выработок в рудном массиве Яковлевского

рудника / В.Ю. Синегубов, Ю.Н. Антонов // Записки Горного института. - СПб.: СПГГИ, 2010. - Т. 186. - С. 94-98.

135. Синякин К.Г. Моделирование напряженно-деформированного состояния массива вокруг выработки при слоевой системе разработки слабых руд / К.Г. Синякин // Изв. вузов. Горный журнал. – 2010. – № 8. - С. 71–75.

136. Синякин, К.Г. Натурные наблюдения за осадкой рудной потолочины при ведении горных работ на Яковлевском руднике / А.Г. Протосеня, К.Г. Синякин, Д.Н. Петров, Г.А. Мартемьянов // Записки Горного института. СПб.: СПГГИ 2011. - Т.190. – С. 158-162.

137. Слесарев, В.Д. Механика горных пород и рудничное крепление. М.: Углетехиздат, 1948. 303 с.

138. Смирнов, Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Смирнов Н.В., Дунин – Барковский И.В.// М. 1965 г., 512с.

139. Совместное влияние подрботки сооружений свитой пластов // Тр. Всесоюзного научно-техн. совещания по маркшейдерскому делу. М.: Углетехиздат, 1958. С.286-306

140. Справочник по маркшейдерскому делу / Под ред. проф., д.т.н. А.Н. Омельченко – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1979. - 576 с.

141. Стрелецкий, А.В. Моделирование напряженно-деформированного состояния рудного массива Яковлевского рудника при ведении горных работ под защитным перекрытием/А.В. Стрелецкий, О.В. Трушко //Записки Горного института.- 2012.- Т. 199.- С. 60-63

142. Стрелецкий, А.В. Способ обеспечения устойчивости горных выработок под закладочным массивом в условиях освоения Яковлевского месторождения железных руд/ А.В. Стрелецкий, М.Г. Попов//Горный журнал.- 2016. -№ 2. -С. 62-66.



143. Стрельский, Ф.П. Оценка условий ведения очистных работ под водными объектами по наблюдениям за поровым давлением в подрабатываемой толще / Ф.П. Стрельский, Ю.А. Норватов, А.С. Миронов // Сб.тр.ВНИМИ. - Л. - 1975. - № 96. - С. 54-59.
144. Трушко О.В. Обеспечение устойчивости горных выработок/ О.В. Трушко, Д.Н. Петров, А.В. Стрелецкий // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. - 2012. - № 2. - С. 51-55.
145. Трушко, В.Л. Геомеханические и гидрогеологические проблемы освоения Яковлевского месторождения / В.Л. Трушко, А.Г. Протосеня, Р.Э. Дашко // Проблемы геомеханики, геотехнологии и маркшейдерского дела. Записки Горного института. – СПб., 2010. –Т.185. с. 8– 18.
146. Трушко, О.В. Современные проблемы разработки рудных месторождений в сложных горно-геологических условиях / О.В. Трушко, А.А. Сидоренко, А.В. Стрелецкий // Маркшейдерия и недропользование. - 2011.- № 2. -С. 7-8.
147. Трушко, О.В. Моделирование напряженно-деформированного состояния рудного массива Яковлевского рудника при ведении горных работ под защитным перекрытием/ О.В. Трушко, А.В. Стрелецкий // Записки Горного института. -2012. -Т. 199. - С. 60-63.
148. Трушко, О.В. Обеспечение устойчивости горных выработок/ О.В. Трушко, Д.Н. Петров // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. -2012. -№ 2. -С. 51-55.
149. Турчанинов, И.А. Опыт применения глубинных реперов для наблюдения за деформациями толщи горных пород / И.А. Турчанинов, И.А. Петухов - М.: Углетехиздат, 1958. - 22 с.
150. Указания по определению условий безопасной выемки угля под водными объектами и их охране / М-во угольной промышленности СССР.

Всесоюзн.науч.-исслед.ин-т горной геомеханики и маркшейдерского дела.  
- Л. - 1977. - 56 с.

151. Уотсон, Х.Ф. Добыча угля в северо-восточной Англии из пластов, залегающих под морским дном/ Уотсон Х.Ф. //X Всемирный горный конгресс, сентябрь – 1979 год, Стамбул – Турция

152. Феллер, Е.Н. Прогнозирование изменения инженерно-геологических условий при ведении очистных работ на Яковлевском руднике (Яковлевское месторождение богатых железных руд, КМА): диссертация кандидата г.-м. наук./25.00.08 Феллер Екатерина Николаевна- Санкт-Петербург, 2014 г. -241с.

153. Фисенко, Г.Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок/ Фисенко Г.Л. // М.: Недра, 1976. 272 с.

154. Хохлов, И.В. Безопасная разработка месторождений полезных ископаемых под водоёмами / И.В. Хохлов. - М.: Недра, 1971. - 264 с.

155. Чайкин, С.И. Геология Яковлевского месторождения и перспективы развития богатых железных руд КМА / С.И. Чайкин // Горный журнал. - 1956. - № 1. - С. 8-11.

156. Чайкин, С.И. Геология Яковлевского месторождения, ресурсы и перспективы Белгородского железорудного района / С.И. Чайкин // Материалы по геологии и полезным ископаемым центральных районов Европейской части СССР. - Вып.1. - 1958. -М. - С. 94-114.

157. Чайкин, С.И. О связи морфологии рудной залежи богатых руд Яковлевского месторождения КМА с особенностями его структуры / С.И. Чайкин // Геология рудных месторождений. - 1974. - № 3. - С. 73-79.

158. Чернышев, С.Н. Движение воды по сетям трещин / С.Н. Чернышев. - М.: Недра, 1979. - 144 с.

159. Шадрин, А.Г. Механизм сдвижения горных пород и стабилизация зоны опасных деформаций при разработке рудных

- месторождений на глубоких горизонтах системами с обрушением / А.Г. Шадрин, М.А. Шадрин // Маркшейдерский вестник. - 2013. -№ 6. - С. 49-52.
160. Шадрин, А.Г. Расчет изолиний оседаний горных пород в подработанном рудном массиве / А.Г. Шадрин, М.А. Шадрин // Маркшейдерское дело и геодезия: Межвуз.сб. Л.:ЛГИ, 1988. - С. 25-27.
161. Шиман, М.И. Предотвращение затопления калийных рудников / М.И. Шиман - М.: Недра, 1992. - 176 с.
162. A.P. Peirce. Localized Jacobian ILU preconditioners for hydrolic fractures/ A.P. Peirce// International Journal for Numerical Methods in Engineering.65,2006, p.1935-1946
163. Alan Mitchell, M. van Genuchten. Soil Science Society of America Journal / Alan Mitchell, M. van Genuchten // 1993. - №57. - 56 p.
164. Carole D. Johnson. Time- Series Monitoring in Fractured – Rock Aquifers/ Carole D. Johnson, John W. Lane, Jr., and Frederick D. Day -Lewis// EPA/ NGWA Fractured Rock Conference: State of the Science and Measuring Success in Remedaiton, Septemder 13-15, 2004, Portland, Maine. Proceedings: National Ground Water Association, CD-ROM, p. 295-307
165. D. Kirk Nordstorm. Hydrogeomechemical processes governing the origin, transport and fate of major and trace elements from mine wastes and mineralized rock to surface waters// Applied Geochemistry 26, 2011 p.1777-1791
166. Dr. Manfred Jakobs, Paul Thurlow. Monitoring Techniques used in London during the Crossrail Tunnelling Project. // Proceceedings of the 22nd MPES Conference, London,UK, 14th-19th October 2013, vol.1, p.754-766.
167. Elena Maliukhina «A Method of Effective Quarry Water Purifying Using Artifi-cial Filtering Arrays»/ Tyulenev ,E Garina, A Khoreshok O Litvin, Y Litvin //IOP Conf. Series: Earth and Environ - mental Science 50 -

- 2017 – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/50/1/012035/pdf> ( дата обращения: 15.03.2020). – Текст: электронный.
168. J.Zhang, A. Shen Coal minig under quifers in China: a case study//Elsevier International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 41, 2004.
169. Jinicai Zhang. Coal Mining Under Aquifers in China: a Case Study/ Jinicai Zhang, Baohong Shen// International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 41 , 2004, p. 629-639
170. Maliukhina E “Determination of Boundary Curvature for Prediction of Water-Bearing Fractured Zones”, 55 Konferencija Studenckich Kol Naukowych Pionu Gorniczego 11 grudnia 2014 r. Krakow, AGH, – P. 7.
171. Maliukhina E. Assessing the effects of underground mining activities on high-voltage overhead power lines/ Gusev, V., Zhuravlyov, A.// E3S Web of Conferences, - 2017, - DOI: 10.1051/e3sconf/20172101030, URL:[https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2017/09/e3sconf\\_2iims2017\\_01030.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2017/09/e3sconf_2iims2017_01030.pdf) (дата обращения: 28.03.2020). – Текст: электронный.
172. Maliukhina, E. Increasing the Reliability of the Work of Artificial Filtering Arrays for the Purification of Quarry Waste Water / Tyulenev, M., Lesin, Y., Litvin, O., Abay, A // E3S Web of Conferences, - 2017, - DOI: 10.1051/e3sconf/20172102019, – URL: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2017/09/e3sconf\\_2iims2017\\_02019/e3sconf\\_2iims2017\\_02019.html](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2017/09/e3sconf_2iims2017_02019/e3sconf_2iims2017_02019.html) (дата обращения: 15.03.2020). – Текст: электронный.

173. Phillip Garrity. Effects of mining on surface and sub-surface water bodies / Phillip Garrity // University of Newcastle-upon-Tyne. - 1980. - 78 p.
174. W.J. Gale. Application of Computer Modelling in the Understanding of Caving and Induced Hydrolic Conductivity About Longwall Panels/ W.J. Gale// Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2005, p.11-16
175. Xiexing Miao. The hight of fractured water-conducting zone in undermuned rock strata/ Xiexing Miao, Ximin Cui, Jin'an Wang, Jialin Xu//Engineering Geology,120,2011 p.32-39

**Приложение А. Код программы для ЭВМ**

% \* -исходные данные

clear

clc

close all

%Исходные данные

N=\*;% Величина междупластья

m1=\*;%Мощность 1 пласта

m2=\*;%Мощность 2 пласта

q01=\*;%Относительное максимальное оседание

q02=\*;%Относительное максимальное оседание

N1=\*;N2=\*;% коэффициенты, учитывающие степень подработанности

a1=\*;%угол падения 1 пласта

a2=\*;%угол падения 2 пласта

b01=\*;% граничный угол 1 пласта

b02=\*;% граничный угол 1 пласта

psi11=\*;%угол полных сдвижений

psi12=\*;%угол полных сдвижений

%Расчет высоты ЗВТ, образовавшейся после выемке 1 пласта, исходя из ее

%литологического состава

Ht1=\*;

% Расчет максимальных оседаний

$h1=q01*m1*cosd(a1)*N1*N2;$

$h2=q02*m2*cosd(a2)*N1*N2;$

%Расчет полумульд для 1 и 2 пласта

$L1=Ht1*(cotd(b01)+cotd(psi11));$

$L2=N*(cotd(b02)+cotd(psi12))+Ht1*(cotd(b01-0)+cotd(psi11-0));$

%Задание функции типовой кривой

$z=[*];$

$f = [* ] ;$

$Si=*;$  % Степень совпадения границ по падению

%Построение кривизны, полученной от 2 пласта

$xi=1000-Si:0,1:1000-Si+L2;$  %Задание промежутка, на котором будут располагаться графики

$di=(xi-1000+Si)/L2;$  %Параметр ,необходимы для построения кривизны, полученной после подработки2 пласта

$fi = interp1(z, f, di, 'spline' );$

$k2=((h2)/((L2)^2))*fi;$  %Кривизна от 2 пласта

%Построение кривизны, полученной после подработки 1 пласта

$k1 = zeros(size(xi));$  %задание пустого массива, для записи значений кривизны, полученной после подработки 1 пласта

```
ti = (xi((xi>1000)&(xi<1000+L1))-1000)/L1;%Параметр, необходимый для
построения кривизны, полученной после подработки 1 пласта
```

```
wi = interp1(z, f, ti, 'spline' ); %Преобразование функции типовой кривой
```

```
k1((xi>1000)&(xi<1000+L1)) =(((h1)/((L1)^2))*(wi));%кривизна, полученной
после подработки 1 пласта
```

```
k = k1+k2;%Кривизна, полученная после подработки 1 и 2 пласта
```

```
kmax = max(k);%
```

```
kmax1=max(k1);
```

```
kmax2=max(k2);
```

```
k1min=min(k1);%
```

```
plot( xi, k2,'g'); hold on; grid on; %Построение графика кривизны, полученной от 2
пласта, строится зеленым цветом
```

```
plot( xi, k1,'b'); hold on; grid on; %Построение графика кривизны полученной от 1
пласта, строится синим цветом
```

```
plot( xi, k,'r'); hold on; grid on; %Построение суммарного графика кривизны,
строится красным цветом
```

```
%Подпись осей
```

```
ylabel('k');
```

```
xlabel('x, расположение в пространстве');
```

```
%Легенда
```

```
legend ('k2','k1','k');
```



**Приложение Б. Код программы для ЭВМ с исходными данными**

%Яковлевский рудник

clear

clc

close all

%Исходные данные

N=0;% Величина междупластья

m1=0.4; %Мощность 1 пласта

m2=0.1; %Мощность 2 пласта

q01=0.57;%Относительное максимальное оседание

q02=0.57;%Относительное максимальное оседание

N1=1;N2=1;% коэффициенты, учитывающие степень подработанности

a1=0;%угол падения 1 пласта

a2=0; %угол падения 2 пласта

b01=69; % граничный угол 1 пласта

b02=69; % граничный угол 1 пласта

psi11=67; %угол полных сдвижений

psi12=67; %угол полных сдвижений

%Расчет высоты ЗВТ, образовавшейся после выемке 1 пласта, исходя из ее

%литологического состава

Ht1=70;

% Расчет максимальных оседаний

$h1=q01*m1*cosd(a1)*N1*N2;$

$h2=q02*m2*cosd(a2)*N1*N2;$

%Расчет полумульд для 1 и 2 пласта

$L1=Ht1*(cotd(b01)+cotd(psi11));$

$L2=N*(cotd(b02)+cotd(psi12))+Ht1*(cotd(b01-0)+cotd(psi11-0));$

%Задание функции типовой кривой

$z=[0\ 0.1\ 0.2\ 0.3\ 0.4\ 0.5\ 0.6\ 0.7\ 0.8\ 0.9\ 1];$

$f = [-6\ -5.3\ -4\ -2.1\ -0.2\ 1.3\ 2.3\ 2.6\ 2.4\ 2\ 0];$

$Si=-30;$  % Степень совпадения границ. Это по падению. В противоположную сторону от оси x

%Построение кривизны, полученной от 2 пласта

$xi=1000-Si:0.01:1000-Si+L2;$  %Задание промежутка, на котором будут располагаться графики

$di=(xi-1000+Si)/L2;$  %Параметр ,необходимы для построения кривизны, полученной после подработки2 пласта

$fi = interp1(z, f, di, 'spline' );$

$k2=((h2)/((L2)^2))*fi;$  %Кривизна от 2 пласта

%Построение кривизны, полученной после подработки 1 пласта

```

k1 = zeros(size(xi));%задание пустого массива, для записи значений кривизны,
полученной после подработки 1 пласта

ti = (xi((xi>1000)&(xi<1000+L1))-1000)/L1;%Параметр , необходимый для
построения кривизны, полученной после подработки 1 пласта

wi = interp1(z, f, ti, 'spline' ); %Преобразование функции типовой кривой

k1((xi>1000)&(xi<1000+L1)) =(((h1)/((L1)^2))*(wi));%кривизна, полученной после
подработки 1 пласта

k = k1+k2;%Кривизна, полученная после подработки 1 и 2 пласта

kmax = max(k);%

kmax1=max(k1);

kmax2=max(k2);

k1min=min(k1);%

plot( xi, k2,'g'); hold on; grid on; %Построение графика кривизны, полученной от 2
пласта, строится зеленым цветом

plot( xi, k1,'b'); hold on; grid on; %Построение графика кривизны полученной от 1
пласта, строится синим цветом

plot( xi, k,'r'); hold on; grid on; %Построение суммарного графика кривизны,
строится красным цветом

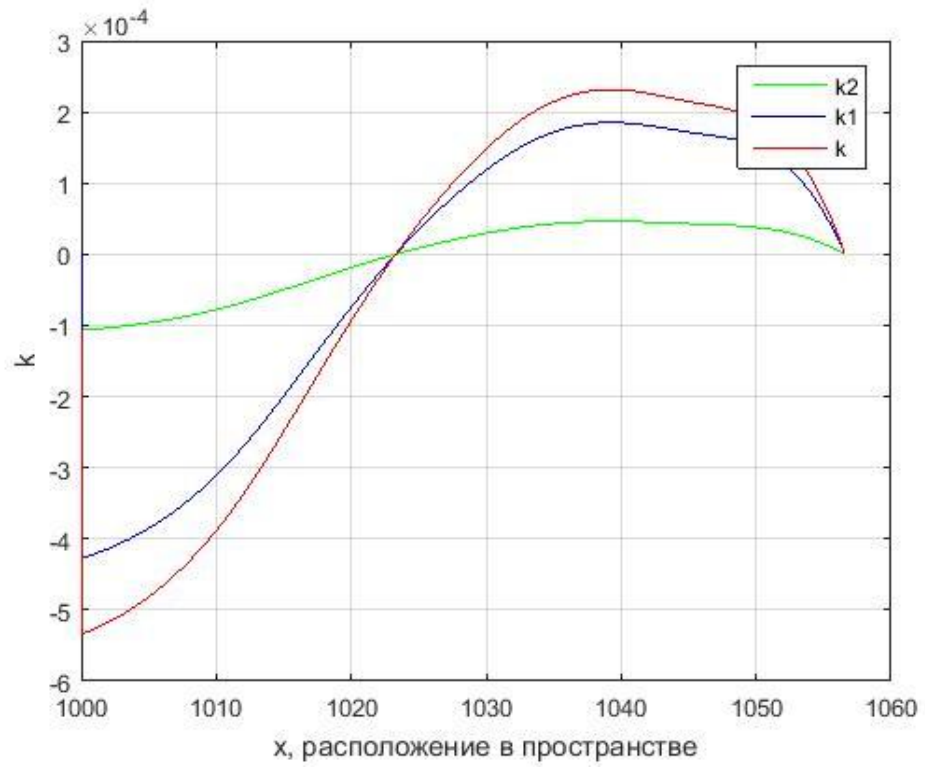
%Подпись осей

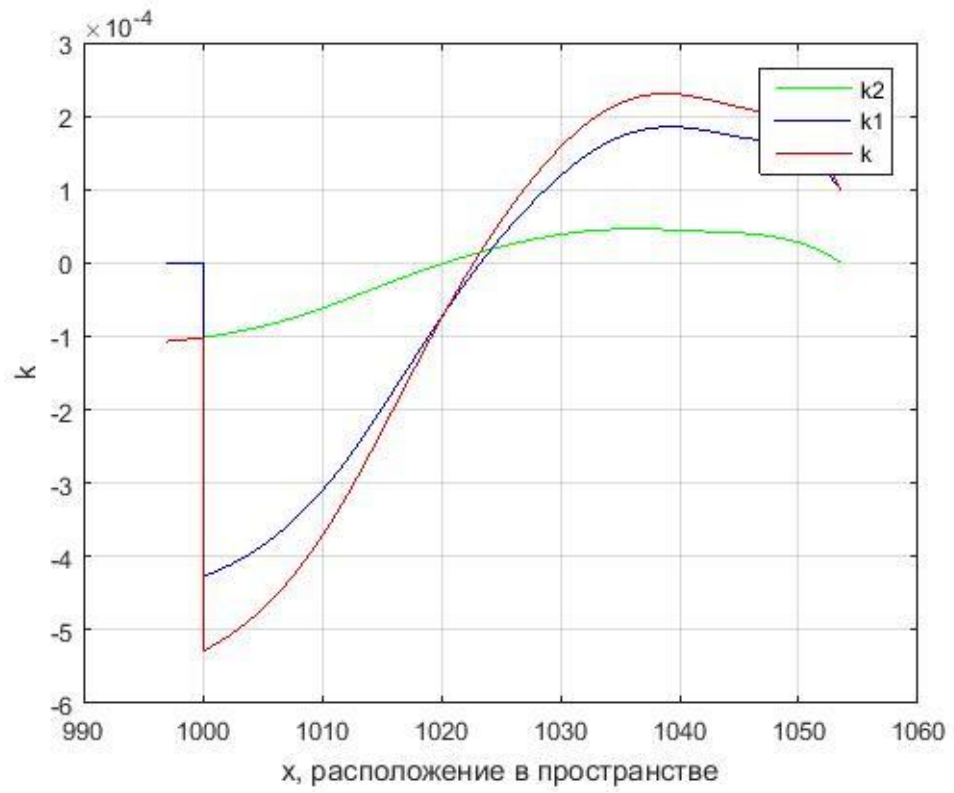
ylabel('k');

xlabel('x, расположение в пространстве');

%Легенда
legend ('k2','k1','k');

```

**Приложение В. Графики накопления кривизны**При  $S=0$  м

При  $S=3$  м

При  $S = -3$  м