

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 622.363.2.031:622.833

ДЕШКОВСКИЙ

Василий Николаевич

**МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВЫСОТУ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОДОПРОВОДЯЩИХ ТРЕЩИН
ПРИ ОТРАБОТКЕ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

Минск, 2008

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный
руководитель

Смычник Анатолий Данилович,
доктор технических наук, профессор,
генеральный директор ОАО «Белгорхимпром»

Официальные
оппоненты:

Войтенко Владимир Сергеевич,
доктор технических наук, профессор, председатель
объединения разработчиков ультразвуковых приборов
и технологий;

Жевлаков Александр Андреевич,
кандидат технических наук, главный инженер
Дирекции строящегося Краснослободского рудника
РУП «ПО «Беларуськалий»

Оппонирующая
организация

ЗАО «Солигорский Институт проблем
ресурсосбережения с Опытным производством»
(ЗАО «СИПР с ОП»)

Защита состоится 28 февраля 2008 г. в 14.00 ч на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.11 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, д. 65, корп. 1, ауд. 202, тел. ученого секретаря 8 (017) 2027184.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан 28 января 2008 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
кандидат технических наук

Федотова С.А.

© Дешковский В.Н., 2008

© БНТУ, 2008

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Одним из условий успешной разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом является предупреждение образования водопродящих каналов между водными объектами и горными выработками. Особенно актуальна данная проблема при разработке соляных месторождений.

В нарушенном процессах сдвижения массиве горных пород резко уменьшаются прочностные характеристики, увеличиваются трещиноватость, газо- и водопроницаемость, что повышает опасность ведения горных работ под водными объектами. Если в подработанном массиве образуются трещины, по которым воды (или ненасыщенные рассолы) смогут проникать в выработанное пространство, то вслед за этим может начаться размыв и растворение стенок таких трещин, что приведет к прогрессирующим водопритокам и затоплению рудника. Поэтому актуальным является изучение закономерностей формирования зон трещинообразования при подработке горного массива различными системами разработки и разработка методов расчета параметров, влияющих на высоту распространения водопродящих трещин, с целью обеспечения безопасной отработки запасов полезных ископаемых.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами

Диссертация соответствует приоритетным направлениям научно-технической деятельности и выполнялась в рамках следующих программ (проектов) и тем: 1) ГНТП «Минеральные удобрения», Задание 3.13.03 (№ГР 200277, 2002-2004 гг.); 2) «Ввод мощности по руде взамен выбывающей за счет строительства Краснослободского рудника по 2РУ РУП «ПО «Беларуськалий» (№ГР 20042098, 2001-2005 гг.); 3) «Обобщить мировой опыт защиты соляных рудников от затопления, провести анализ геологических, инженерно-геологических и геофизических исследований, существующих нормативных документов по защите рудников от затопления и разработать «Правила по защите рудников от затопления в условиях Старобинского месторождения» (№ГР 200499, 2004-2006 гг.); 4) «Провести исследования и обеспечить оптимальную отработку запасов (с обеспечением научно-технического сопровождения) в горных условиях рудников, не предусмотренных действующей нормативно-технической документацией, с разработкой рекомендаций и корректировкой нормативных документов» (№ГР 20051785, 2005-2007 гг.); 5) «Провести исследования влияния бутовых полос в отработанном пространстве лав с селективной выемкой руды на формирование процессов сдвижения горных пород и земной поверхности» (№ГР 20033722, 2003-2007 гг.).

Цель и задачи исследования

Главной целью работы является разработка методов расчета параметров, влияющих на высоту распространения зоны водопродводящих трещин и обеспечивающих безопасную отработку пологих пластов под водоносными горизонтами.

В соответствии с основной целью исследований необходимо решить следующие задачи:

- установить положение зон нарушения сплошности подработанной толщи горных пород над границей очистного пространства;
- разработать метод количественной оценки размеров выработанных пространств нижележащих пластов свиты на высоту трещинообразования над верхним из отрабатываемых пластов;
- установить степень влияния разрабатываемых пластов на развитие зоны водопродводящих трещин в зависимости от взаимного положения границ остановки очистных работ;
- выявить закономерности распределения деформаций подработанного массива над угловыми участками выработанного пространства;
- разработать метод расчета высоты распространения водопродводящих трещин, отражающий закономерности деформирования подработанной толщи пород для столбовых систем разработки с закладкой выработанного пространства в виде бутовых полос.

Объектом исследования являются массив горных пород и геомеханические процессы, протекающие в нем при отработке свиты пластов.

Положения, выносимые на защиту:

- метод расчета коэффициентов, учитывающих степень подработанности для нижележащих пластов относительно верхнего разрабатываемого пласта при их отработке камерной и столбовой системами разработки, отличающийся от существующих тем, что эти коэффициенты определяются на уровне поверхности техногенной трещиноватости от влияния отработки верхнего пласта свиты;
- метод расчета коэффициентов, учитывающих взаимное влияние границ остановки очистных работ отрабатываемых пластов на высоту распространения зоны водопродводящих трещин, позволяющий в отличие от существующих учесть все возможные варианты взаимного положения этих границ;
- метод расчета высоты распространения зоны водопродводящих трещин над участками с неполной подработкой толщи пород на уровне поверхности техногенной трещиноватости от влияния отработки верхнего пласта, учитывающий особенности деформирования подработанной толщи в условиях двухстороннего (трехстороннего) защемления породных пачек основной кровли;

– метод расчета высоты распространения водопроводящих трещин для столбовых систем разработки с управлением кровлей частичной закладкой выработанного пространства в виде бутовых полос, позволяющий впервые оценить роль такого способа закладки в механизме трещинообразования.

Личный вклад соискателя

Все научные результаты, выносимые на защиту, получены автором лично. Соавторы опубликованных работ принимали участие в проведении отдельных экспериментов, обсуждении промежуточных и конечных результатов. Обработка, интерпретация данных, разработка методов расчета, а также выводы сделаны автором самостоятельно.

Автор выражает глубокую признательность Смычнику А.Д., Новошконову В.Н., Невельсону И.С., Даниловой А.Ф. за практические советы и ценные замечания, сделанные в процессе подготовки работы.

Апробация результатов диссертации

Результаты исследований и основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях: 58-й научно-технической конференции профессоров, преподавателей, научных работников и аспирантов БНТУ в рамках 3-й Международной научно-технической конференции «Наука - образованию, производству, экономике» (Минск, 2005 г.); 8-м Международном симпозиуме «Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях» (Россия, Белгород, 2005 г.); научной конференции учащихся, студентов и аспирантов, посвященной 85-летию БНТУ (Минск, 2005 г.); 9-м Международном симпозиуме «Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях» (Россия, Белгород, 2007 г.); научно-технических советах ОАО «Белгорхимпром» и РУП «ПО «Беларуськалий» (Минск, Солигорск, 2003-2007 гг.).

Опубликованность результатов диссертации

Основные результаты диссертационной работы изложены в 14 печатных работах, в том числе в 11 статьях в научных журналах согласно перечню ВАК и за рубежом в объеме 5,0 а.л., одной статье в сборнике научных трудов на 3 с. и двух материалах конференций на 14 с.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения и библиографического списка. Объем рукописи диссертации составляет 174 страницы, из них 69 рисунков на

50 страницах, 7 таблиц на 5 страницах, библиографический список из 209 наименований на 21 странице, 6 приложений на 15 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе дан обзор литературы и произведен анализ критериев и методов расчета параметров безопасной разработки пластовых месторождений под водоносными горизонтами.

Основными условиями успешной разработки калийных месторождений являются наличие водозащитной толщи (ВЗТ) и недопущение образования гидравлической связи горных выработок с водоносными горизонтами. Мощность ВЗТ зависит от геомеханических и фильтрационных свойств пород, вмещающих калийные пласты. Условия безопасной подработки ВЗТ заключаются в выборе и применении параметров разработки пластов калийной и каменной солей, обеспечивающих сохранность над выработанным пространством минимально необходимой мощности предохранительной водозащитной потолочины (ПВП).

Параметры разработки пластов удовлетворяют условиям безопасной подработки ВЗТ, если выполняется неравенство

$$M_H \geq [M], \quad (1)$$

где M_H – мощность ненарушенных слоев ВЗТ, м;
 $[M]$ – минимально необходимая мощность ПВП, м.

$$M_H = H_{ВЗТ} - H_T, \quad (2)$$

где $H_{ВЗТ}$ – фактическая мощность ВЗТ над выработанным пространством, м;
 H_T – расчетная высота развития зоны техногенных водопроводящих трещин над отрабатываемым пластом (слоем), м.

На основании обзора литературы определены цели, задачи и объект исследования.

Во второй главе представлены: методы изучения подработанной толщи горных пород и результаты натурных исследований подработанной толщи горных пород в условиях Старобинского месторождения калийных солей.

Вопросам сдвижения подработанной толщи горных пород, определению ее напряженно-деформированного состояния, закономерностям трещинообразования посвящены работы А.Г. Акимова, А.А. Баряха, Е.В. Беляева, С.И. Богдана, А.А. Борисова, Е.В. Бошнятова, В.Н. Гусева, М.А. Журавкова, В.Н. Земисева, В.Г. Зильбершмидта, М.А. Иофиса, Д.А. Казаковского, Ю.А. Кашникова, С.П. Колбенкова, С.А. Константиновой, М.В. Короткова, Б.А. Крайнева, Г. Кратча, Г.Н. Кузнецова, С.В. Кузнецова, М.В. Курлени, И.Г. Лисицы, А.Н. Медянцева, Р.А. Муллера, Нестерова М.П., В.Н. Новокшоновна, А.Г. Оловянного, Б.И. Петровского, И.А. Петухова, В.М. Серякова,

В.Д. Слесарева, А.Д. Смычника, К.А. Степанова, И.А. Турчанинова, Г.Л. Фисенко, А.Г. Шадрина, А.Н. Шашенко и других ученых.

На основе анализа и обобщения данных натуральных (шахтных) наблюдений, математического моделирования и существующих представлений о процессах деформирования толщи пород соискателем совместно с А.Д. Смычником, И.С. Невельсоном, В.Н. Новокшеновым, А.Ф. Даниловой, С.И. Богданом [5] определены угловые параметры процесса сдвижения массива горных пород (рисунок 1): углы максимальных растяжений $\delta_p = 80^\circ$ и сжатий $\delta_{сж} = 70^\circ$; полных сдвижений $\psi = 55^\circ$; граничный угол $\delta_0 = 60^\circ$. Выделены зоны, находящиеся в различном напряженно-деформированном состоянии (рисунок 1): I – полных сдвижений; II – наибольшего изгиба пород и сдвигов с образованием вертикальных секущих трещин; III – максимальных горизонтальных и вертикальных сдвижений, сдвигов и расслоений на контакте пород с существенно отличающимися физико-механическими свойствами; IV – безопасных сдвижений, опорного давления и уменьшения влияния краевой части очистного пространства на вышележащий подработанный массив; V – отсутствия влияния краевой части очистного пространства на вышележащий подработанный массив.

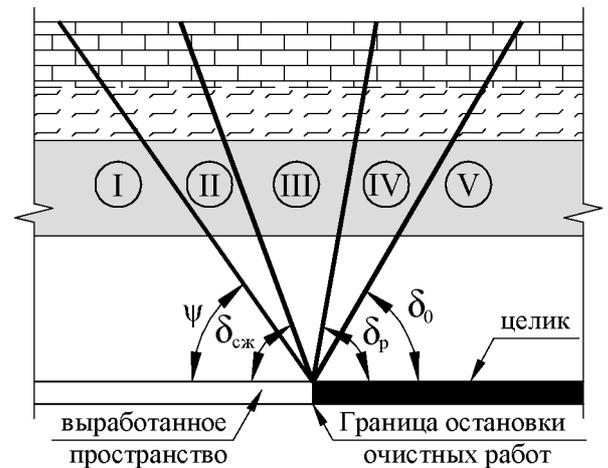


Рисунок 1 – Угловые параметры сдвижения массива горных пород

В третьей главе представлены результаты математического моделирования геомеханических процессов в подработанной толще пород. Разработаны схемы компьютерного моделирования по изучению НДС подработанного массива пород при отработке свиты пластов, учитывающие различные варианты взаимного положения границ остановки очистных работ (ГООР) при отработке свиты пологих пластов. Для выделения в породном массиве областей, находящихся в различных структурных и деформированных состояниях, использованы критерии наибольших нормальных напряжений и максимальных касательных напряжений (критерий Кулона–Мора). Взаимное расположение выработанных пространств на расстоянии меньшем отстроенных от ГООР под углами разрыва на поверхность техногенной трещиноватости от влияния отработки верхнего пласта приводит к существенному росту ЗВТ. Установлено, что формирование различных вариантов взаимного положения ГООР обрабатываемых пластов свиты, при которых происходит увеличение высоты трещинообразования, может осуществляться с помощью угловых параметров сдвижения массива горных пород с достаточной для практики точностью.

В четвертой главе изложены результаты исследований по разработке методов расчета параметров, влияющих на высоту распространения водопроводящих трещин при отработке свиты пологих пластов.

Проверка безопасной подработки ВЗТ производится над всеми постоянными и длительно остановленными границами очистных работ (ГООР) независимо от их направления с определением H_T над верхним из разрабатываемых пластов в свите.

К длительно остановленным границам относятся ГООР на сроки, превышающие время начала активной стадии сдвижения подработанной толщи: 0,5 года – при отработке лавами с обрушением кровли; 1 год – при отработке камерной системой с коэффициентом извлечения $k_{и} \geq 0,65$; 3 года – при отработке камерной системой с коэффициентом извлечения $0,4 \leq k_{и} < 0,65$; 5 лет – при отработке камерной системой с коэффициентом извлечения $0,25 \leq k_{и} < 0,4$.

При камерной системе разработки с вынимаемой мощностью менее 3м и коэффициентом извлечения $k_{и} < 0,25$ ГООР не учитывается.

При разработке одиночного (одного) пласта или слоя расчетная высота развития над ним водопроводящих трещин H_T , м, определяется по формуле

$$H_T = dm_{пр}, \quad (3)$$

где d – параметр, определяемый по таблице в зависимости от глубины и системы разработки;

$m_{пр}$ – приведенная вынимаемая мощность пласта (слоя), м.

Значения параметра d

Система разработки	Значение параметра d
Столбовая (лавы)	$46 - 0,01 \times H$
Камерная	$26 - 0,01 \times H$
Примечание: H – глубина ведения горных работ	

При камерной системе разработки приведенную вынимаемую мощность пласта предлагается определять с учетом степени подработанности по формуле

$$m_{пр} = m_b k_{и} k_{п}, \quad (4)$$

где m_b – вынимаемая мощность пласта (высота камер), м;

$k_{и}$ – коэффициент извлечения рудной массы в пределах вынимаемой мощности;

$k_{п}$ – коэффициент, учитывающий степень подработанности, определяется по формуле

$$k_{п} = \sqrt{0,8 \left(\frac{D}{dm_b k_{и}} - 0,2 \right)}, \quad (5)$$

при $D > D_0$ коэффициент $k_n = 1$,

где D – фактическая ширина выработанного пространства, м.

В ширину D включаются очистные камеры с междукамерными (междуходовыми) целиками совместно с оконтуривающими рассматриваемый участок горноподготовительными выработками и целиками между ними.

$D_0 = 1,4dm_{вk_n}$ – ширина выработанного пространства, при которой достигается полная подработка горного массива на высоте, равной $dm_{вk_n}$, м.

При столбовой системе разработки без закладки выработанного пространства приведенная выемочная мощность пласта определяется по формуле

$$m_{пр} = m_{вk}, \quad (6)$$

где k – коэффициент, учитывающий степень подработанности (для одиночной лавы) или степень извлечения рудной массы (для двух и более смежных лав):

$$k = \begin{cases} 1 & \text{при } D \geq D_0, \\ \sqrt{D/D_0} & \text{при } D < D_0, D + B \geq D_0, \\ D/(D + B) & \text{при } D < D_0, D + B < D_0, \end{cases} \quad (7)$$

где $D_0 = 1,4dm_{в}$ – ширина выработанного пространства, при которой достигается полная подработка горного массива на высоте, равной $dm_{в}$ над выработанным пространством, м;

B – ширина междулавного целика, включая ширину междуштрековых целиков, м;

Принимаем нумерацию отрабатываемых пластов в свите сверху вниз. Тогда 1-й – это верхний (первый) отрабатываемый пласт в свите; в.п. – любой вышележащий пласт относительно рассматриваемого пласта; н.п. – любой нижележащий пласт относительно рассматриваемого пласта; n -й – нижний отрабатываемый пласт в свите; i -й и j -й – промежуточные пласты в свите. При этом для рассматриваемого i -го пласта j -й является нижележащим, т.е. $1 < i < n$, $i < j \leq n$.

При разработке свиты пластов расчетная высота развития ЗВТ над верхним (1-м) отрабатываемым пластом от суммарного влияния отработки всех пластов H_T , м, определяется решением уравнения

$$\frac{d_1 m_{пр1} S_1}{H_T} + \frac{d_2 m_{пр2} S_2}{H_T + \Delta H_{1-2}} + \dots + \frac{d_n m_{прn} S_n}{H_T + \Delta H_{1-n}} = 1, \quad (8)$$

где d_1, d_2, \dots, d_n – параметры, определяемые по таблице для каждого из разрабатываемых пластов соответственно;

$m_{пр1}, m_{пр2}, \dots, m_{прn}$ – приведенные вынимаемые мощности разрабатываемых пластов, м;

S_1, S_2, \dots, S_n – коэффициенты, учитывающие степень влияния выемки разрабатываемых пластов на развитие водопроводящих трещин в зависимости от взаимного положения (смещения в плане) ГООР;

$\Delta H_{1-2}, \Delta H_{1-3}, \dots, \Delta H_{1-n}$ – расстояние по вертикали между 1-м и 2-м, 1-м и 3-м, ..., 1-м и n -м пластами (от кровли до кровли), м.

Уравнение (8) относительно H_T решается методом итерационных расчетов по следующей схеме:

1) определяется величина h_1 – высота развития ЗВТ от влияния отработки верхнего пласта:

$$h_1 = d_1 m_{\text{пр}1} S_1; \quad (9)$$

2) определяется величина H_T – высота развития водопроводящих трещин от совместного влияния отработки всех пластов в свите по формуле

$$H_T = h_1 + \frac{hd_2 m_{\text{пр}2} S_2}{h + \Delta H_{1-2}} + \dots + \frac{hd_n m_{\text{пр}n} S_n}{h + \Delta H_{1-n}}. \quad (10)$$

На первом шаге определения H_T в формулу (10) вместо h подставляется значение h_1 , вычисленное по формуле (9). На последующих шагах вместо h подставляется значение H_T , вычисленное на предыдущем шаге расчета. Расчет H_T выполняется по формуле (10) до тех пор, пока разность между последним и предыдущим результатами станет менее 2 м.

Приведенные вынимаемые мощности верхнего разрабатываемого пласта ($m_{\text{пр}1}$) и любого нижерасположенного пласта ($m_{\text{пр}i}$) определяются по формулам (4), (6). Для нижерасположенных пластов (2-й, ..., n -й) коэффициент k_n в формуле (4) определяется по зависимости

$$k_n = \begin{cases} 1 & \text{при } D \geq D_{0i}, \\ \sqrt{D / D_{0i}} & \text{при } D < D_{0i}, \end{cases} \quad (11)$$

где D_{0i} – ширина выработанного пространства (блока, панели, длина лавы, включая ширину бортовых штреков) нижерасположенного i -го пласта, при которой достигается полная подработка горного массива на высоте $H_{\text{П}i}$, м:

$$D_{0i} = 1,4H_{\text{П}i}, \quad (12)$$

где $H_{\text{П}i}$ – высота развития ЗВТ над выработанным пространством нижерасположенного i -го пласта при условиях полной подработки горного массива на этой высоте, м:

$$H_{\text{П}i} = d_1 m_1 + \Delta H_{1-i} + d_i m_i \cdot \frac{d_1 m_1}{d_1 m_1 + \Delta H_{1-i}}, \quad (13)$$

где m_1, m_i – вынимаемая мощность верхнего (1-го) и нижерасположенного рассматриваемого i -го пластов при столбовой системе разработки (при камер-

ной системе m_1 и m_i определяются умножением вынимаемой мощности (m_B) на соответствующий коэффициент извлечения ($k_{и}$), т.е. $m_1 = m_{B1}k_{и1}$; $m_i = m_{Bi}k_{иi}$, м.

Коэффициент k в формуле (6) вычисляется по зависимостям (7) с подстановкой вместо D_0 параметра D_{0i} , определенного по формуле (12).

Если смежные выработанные пространства (лавы) имеют разную длину (D_1 и D_2), то коэффициент k в формуле (7) определяется следующим образом:

– при определении условий для выбора формулы расчета параметра k и при использовании соотношения $\sqrt{D/D_0}$ за величину D принимается длина лавы, имеющая большую величину;

– при расчете параметра k с использованием соотношения $D/(D+B)$ за величину D принимается средняя длина смежных лав.

Определение высоты распространения ЗВТ должно осуществляться над всеми ГООР на каждом из рассматриваемых пластов. Максимальное из значений, полученных при расчетах, должно приниматься в качестве H_T – высоты развития ЗВТ от совместного влияния отработки всех пластов свиты.

Коэффициенты S_1, S_2, \dots, S_n определяются с помощью угловых параметров процесса сдвижения горных пород.

При определении H_T над ГООР i -го пласта коэффициент $S_i = 1$. Коэффициенты $S_{н.п.} = S_{i+1}, S_{i+2}, \dots, S_j, \dots, S_{n-1}, S_n$ определяются с использованием схем (рисунок 2) по формуле

$$S_j = 1 - \frac{L_{i-j_\phi} - \Delta L}{L_{j_0} - \Delta L}, \quad (14)$$

где L_{i-j_ϕ} – фактическое расстояние в плане между ГООР на i -м и j -м пластах, м;

ΔL – расстояние в плане между ГООР на i -м и j -м пластах, при котором точка М попадает в зону максимальных сжатий (т. $M_{сж}$) или растяжений (т. M_p) от влияния отработки нижележащего (вышележащего) пласта, м;

L_{j_0} – расстояние в плане между ГООР на i -м и j -м пластах, при котором т. M_p (т. $M_{сж}$) попадает в плоское дно мульды сдвижения от влияния отработки нижележащего рассматриваемого j -го пласта, м.

Если $L_{i-j_\phi} \leq \Delta L$, то $S_j = 1$; если $L_{i-j_\phi} \geq L_{j_0}$, то $S_j = 0$.

При определении H_T над ГООР j -го пласта коэффициент $S_j = 1$. Коэффициенты $S_{в.п.} = S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_{j-2}, S_{j-1}$ определяются с использованием схем, представленных на рисунке 3, и рассчитываются по формуле

$$S_i = 1 - \frac{L_{i-j_\phi} - \Delta L}{L_{i_0} - \Delta L}, \quad (15)$$

где L_{i_0} – расстояние в плане между ГООР на j -м и i -м пластах, при котором т. M_p (т. $M_{сж}$) попадает в плоское дно мульды сдвижения от влияния отработки вышележащего рассматриваемого i -го пласта, м.

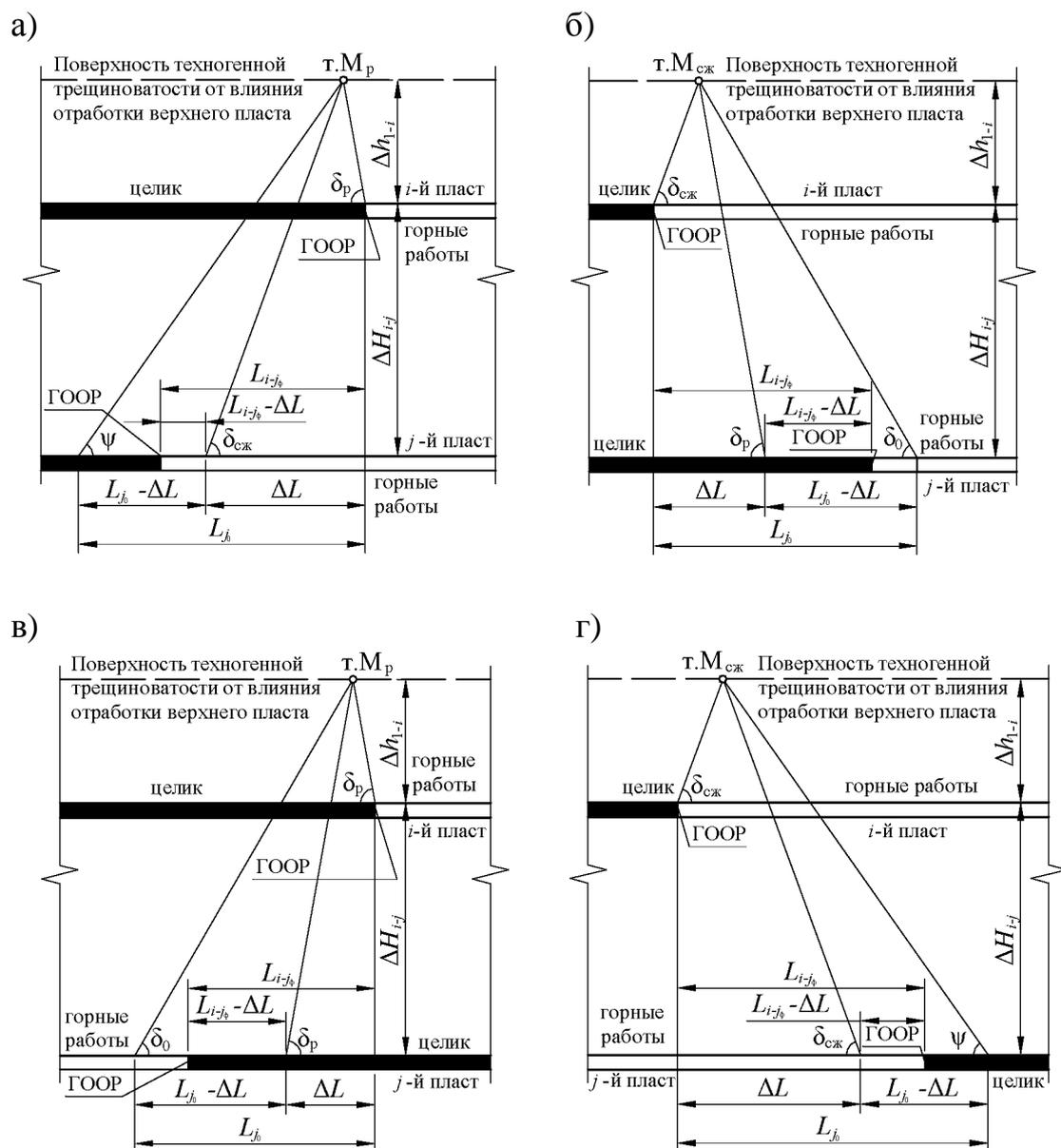


Рисунок 2 – Схемы взаимного положения ГООР при определении коэффициентов S_j для любого нижележащего пласта

Если $L_{i-j_\phi} \leq \Delta L$, то $S_i = 1$; если $L_{i-j_\phi} \geq L_{i_0}$, то $S_i = 0$. Расстояния ΔL , L_{j_0} , L_{i_0} определяются путем несложных тригонометрических вычислений.

Для участков очистной выемки, над которыми не обеспечиваются условия полной подработки толщи в пределах высоты распространения ЗВТ, образуемой в результате отработки верхнего пласта свиты (h_1), рассматривается возможность применения понижающих коэффициентов S_z в формулах (3), (8)-(10).

В этом случае формулы (3), (8)-(10) примут модифицированный вид, т.е.

$$H_T = dm_{\text{пр}} S_z; \quad (16)$$

$$\frac{d_1 m_{\text{пр}1} S_1 S_{z_1}}{H_T} + \frac{d_2 m_{\text{пр}2} S_2 S_{z_2}}{H_T + \Delta H_{1-2}} + \dots + \frac{d_n m_{\text{пр}n} S_n S_{z_n}}{H_T + \Delta H_{1-n}} = 1; \quad (17)$$

$$h_1 = d_1 m_{\text{пр}1} S_1 S_{z_1}; \quad (18)$$

$$H_T = h_1 + \frac{hd_2 m_{\text{пр}2} S_2 S_{z_2}}{h + \Delta H_{1-2}} + \dots + \frac{hd_n m_{\text{пр}n} S_n S_{z_n}}{h + \Delta H_{1-n}}. \quad (19)$$

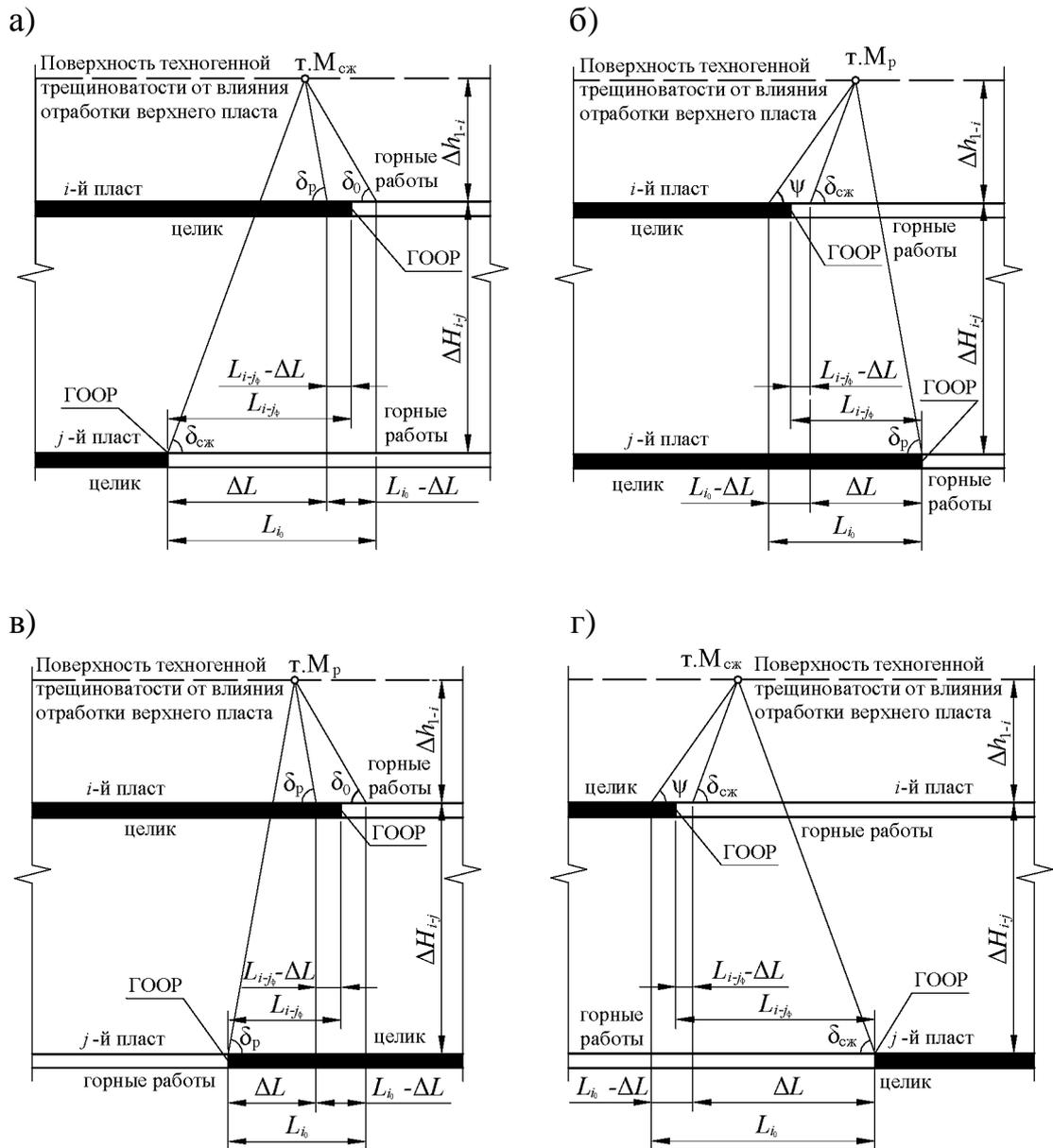


Рисунок 3 – Схемы взаимного положения ГООР при определении коэффициентов S_i для любого вышележащего пласта

Определение угловых участков, на которых возможно применение понижающего коэффициента S_z , производится по схемам, приведенным на рисунке 4, путем построения внутренних границ краевой части мульды сдвига (ВГКЧ)

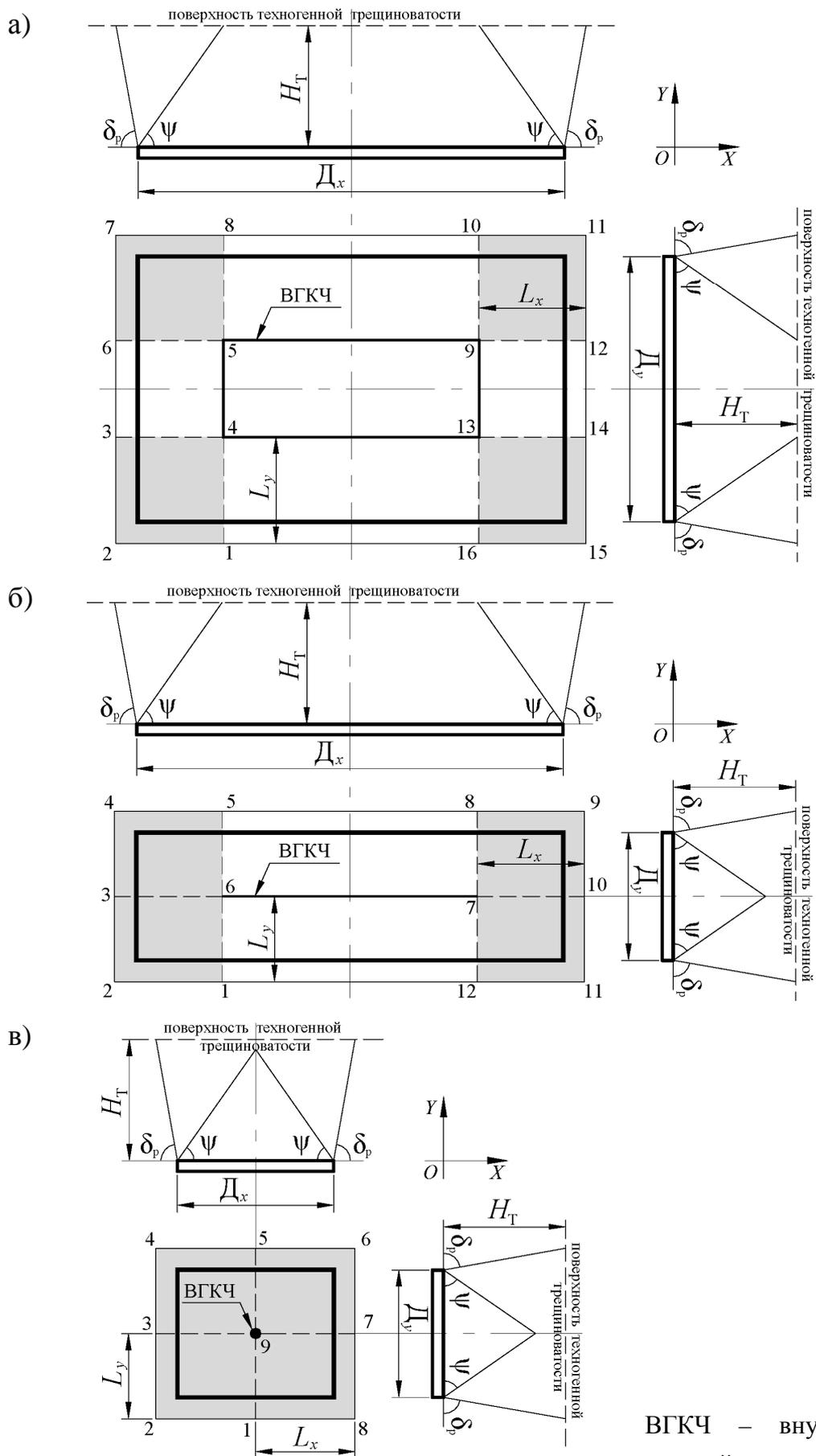


Рисунок 4 – Условия подработки поверхности техногенной трещиноватости в двух взаимно перпендикулярных направлениях

от влияния отработки 1, 2, ... , i -го пласта на уровне высоты распространения ЗВТ от влияния отработки верхнего пласта свиты.

Условия полной подработки в главном сечении при разработке одиночного пласта выполняются при соблюдении одного из неравенств:

$$D_x \geq 2H_T \operatorname{ctg} \psi; D_y \geq 2H_T \operatorname{ctg} \psi, \quad (20)$$

где D_x, D_y – размер выработанного пространства по главным сечениям OX и OY соответственно, м.

При разработке свиты пластов проверяются условия полной подработки толщи на уровне поверхности техногенной трещиноватости от влияния отработки верхнего пласта свиты. Тогда неравенства (20) принимают вид

$$D_x \geq 2(h_1 + \Delta H_{1-i}) \operatorname{ctg} \psi; D_y \geq 2(h_1 + \Delta H_{1-i}) \operatorname{ctg} \psi. \quad (21)$$

Коэффициенты S_z предлагается определять с помощью функции типового распределения оседаний в мульде сдвижения как максимальное из двух величин $S(z_x)$ и $S(z_y)$, определенных в двух взаимно перпендикулярных сечениях:

$$S_z = \max \{ S(z_x), S(z_y) \}. \quad (22)$$

Для технологических схем с частичной закладкой выработанного пространства (бутовые полосы) высоту распространения ЗВТ предлагается определять следующим образом (на примере одиночной лавы):

- 1) осуществляется построение поперечного разреза лавы с указанием мест расположения бутовых полос (рисунок 5, а);
- 2) на основании поперечного разреза лавы строится упрощенная схема выработанного пространства с различным характером деформирования бутовых полос во времени (рисунок 5, б).

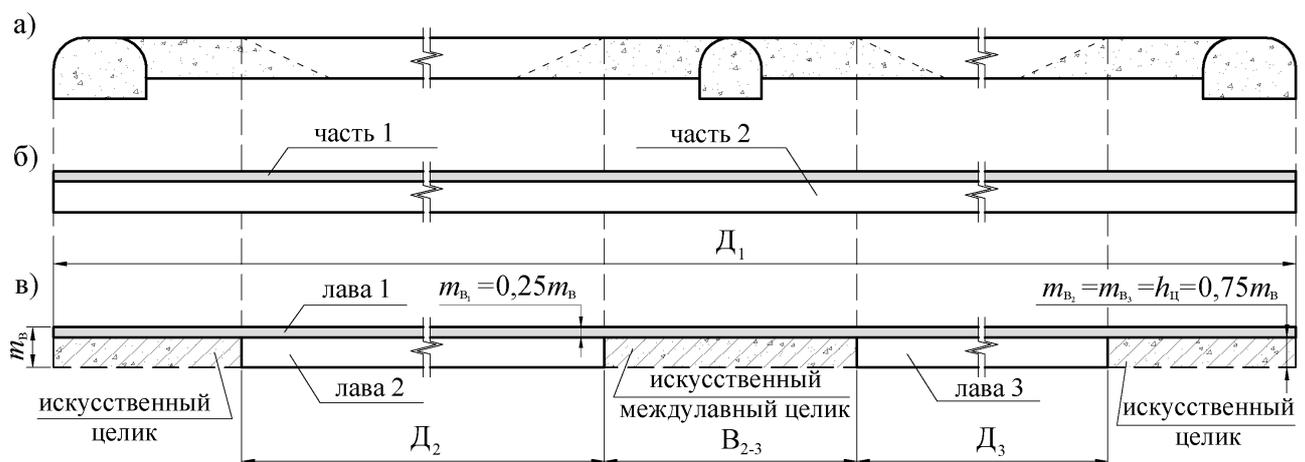


Рисунок 5 – Схема к расчету высоты распространения ЗВТ для технологических схем с частичной закладкой выработанного пространства в виде бутовых полос. Одиночная лава

В условиях Старобинского месторождения в течение первых трех месяцев (активная стадия процесса сдвижения) усадка бутовых полос достигает 22-23 %, что составляет более 90 % от конечных значений. Оставшиеся 3-4 % усадки бутовых полос реализуются в течение продолжительного периода времени (6 и более месяцев). При усадке закладочного материала 22-23 % в бутовой полосе формируется ядро отпора, ширина которого равна ширине бутовой полосы у кровли лавы. Ядро отпора считаем искусственным целиком с высотой $h_{ц}$, м, определяемой по формуле

$$h_{ц} = m_{б} \left(\frac{100 - \varepsilon_0}{100} \right). \quad (23)$$

где ε_0 – максимальная усадка закладочного материала, %.

Среднее значение ε_0 , полученное в лабораторных и шахтных условиях, составляет 25 %. Тогда формула (23) принимает вид $h_{ц} = 0,75m_{б}$.

Выработанное пространство условно разделяется на составные части: часть 1 и часть 2. Часть 1 не оказывает сопротивления сдвигающимся породам кровли, а часть 2 воспринимает нагрузку вышележащих пород посредством искусственных целиков – ядер отпора;

3) расчет высоты трещинообразования предлагается производить по аналогии со слоевой выемкой (рисунок 5, б). Часть 1 рассматривается как одиночная лава (лава 1) с вынимаемой мощностью $m_{б_1} = 0,25m_{б}$, а часть 2 – как система смежных лав (лавы 2 и 3), разделенных искусственным целиком, с вынимаемой мощностью $m_{б_2} = m_{б_3} = h_{ц} = 0,75m_{б}$ (рисунок 5, в). Общая высота распространения ЗВТ над лавой с частичной закладкой выработанного пространства в виде бутовых полос $h_{Т(3)}$, м, определяется как сумма значений высот распространения ЗВТ от влияния отработки частей 1 и 2, т.е.

$$h_{Т(3)} = h_{Т_1} + h_{Т_2}, \quad (24)$$

где $h_{Т_1}$ – высота распространения ЗВТ от влияния отработки части 1, м;

$h_{Т_2}$ – высота распространения ЗВТ от влияния отработки части 2, м.

Для случая отработки одного или нескольких пластов в свите столбовой системой разработки с частичной закладкой выработанного пространства в виде бутовых полос формулы по расчету приведенной вынимаемой мощности пласта примут вид

$$m_{пр} = m_{б} k k_3; \quad (25)$$

$$m_{пр_i} = m_{б_i} k_i k_{3_i}, \quad (26)$$

где k_3 и k_{3_i} – коэффициенты, учитывающие уменьшение высоты распростра-

нения ЗВТ в результате применения закладки выработанного пространства лавы в виде бутовых полос соответственно для одиночного и i -го пласта в свите:

$$k_3 = h_{T(3)}/h_T ; \quad k_{3_i} = h_{T(3)_i}/h_{T_i} , \quad (27)$$

где $h_{T(3)}$ и $h_{T(3)_i}$ – высота распространения ЗВТ при использовании закладки выработанного пространства в виде бутовых полос соответственно для одиночного и i -го пласта в свите, м;

h_T и h_{T_i} – высота распространения ЗВТ при отсутствии закладки выработанного пространства соответственно для одиночного и i -го пласта в свите, м.

В пятой главе представлен способ реализации предложенных методов расчета параметров, влияющих на распространение водопроводящих трещин при отработке пологих пластов.

Разработанный в диссертационной работе рациональный подход к определению параметров безопасной отработки свиты пологих пластов использован при проектировании горных работ на действующих рудниках РУП «ПО «Беларуськалий», а также перспективных участках Старобинского месторождения калийных солей – Краснослободском, Березовском, Нежинском.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. В диссертационной работе на основе анализа и обобщения данных натурных (шахтных) наблюдений, математического моделирования и существующих представлений о процессах деформирования толщи пород над границей очистного пространства (при условии полной подработки) от зоны беспорядочного обрушения и до зоны плавных прогибов с помощью угловых параметров выделены характерные зоны подработанного массива горных пород, находящиеся в различном деформированном состоянии. Установлена возможность использования угловых параметров для прогноза сдвижений массива коренных пород с достаточной для практики точностью [3 – 5].

2. В диссертации разработан и представлен метод расчета коэффициентов, учитывающий степень подработанности для камерной и столбовой систем разработки при отработке нижележащих пластов свиты, отличающийся от существующих тем, что эти коэффициенты определяются на уровне поверхности техногенной трещиноватости от влияния отработки верхнего пласта [2, 10, 14].

3. На основе угловых параметров процесса сдвижения, а также принципа наложения деформаций при многократных изгибах толщи пород и результатами математического моделирования выявлены все возможные варианты взаимного расположения ГООР при отработке свиты пластов. Разработан метод рас-

чета коэффициентов, учитывающих влияние границ остановки очистных работ в свите пластов на высоту распространения зоны водопроводящих трещин, отличающийся от существующих более полным учетом различных вариантов взаимного положения этих границ и условий роста ЗВТ при подработке нарушенного массива [4, 6, 7].

4. В работе проанализированы особенности НДС над участками с неполной подработкой массива горных пород на уровне поверхности техногенной трещиноватости от влияния отработки верхнего пласта свиты и предложен метод расчета высоты распространения ЗВТ на таких участках, учитывающий особенности деформирования подработанной толщи пород в условиях двухстороннего (трехстороннего) защемления породных пачек основной кровли [2, 10, 11].

5. В диссертации на основе анализа и обобщения результатов натурных и лабораторных исследований разработан метод расчета высоты распространения ЗВТ для столбовых систем разработки с закладкой выработанного пространства в виде бутовых полос, позволяющий впервые учесть особенности управления кровлей с помощью бутовых полос и оценить роль закладки в механизме трещинообразования [9].

6. Разработан рациональный подход к определению параметров безопасной отработки свиты пластов под водоносными горизонтами [1, 8, 12, 13].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Разработанные в диссертационной работе методы расчета положены в основу усовершенствованной методики расчета высоты распространения ЗВТ для условий Старобинского месторождения калийных солей, а также могут быть использованы при проектировании горных работ на предприятиях с аналогичными горно-геологическими условиями [акты внедрения].

2. Практическая значимость выполненных исследований и разработанных на их основе рекомендаций по безопасному ведению горных работ в условиях Старобинского месторождения калийных солей подтверждена актами внедрения.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах

1. Определение параметров отработки группы калийных пластов при соблюдении условия водозащиты в условиях Старобинского месторождения / Р.Г. Шваб, С.Н. Цыганков, И.Б. Богатов, В.Н. Дешковский // Горная механика. – 2005. – № 2. – С. 44–48.
2. Оценка безопасности ведения горных работ в различных горно-

- технических условиях / И.С. Невельсон, В.Н. Новокшенов, А.Ф. Данилова, В.Н. Дешковский // Горная механика. – 2005. – № 4. – С. 31–35.
3. Изучение зон нарушения сплошности пород подрабатываемой толщи на месторождениях калийных солей. Часть 1. Методы расчета сдвижений и деформаций массива горных пород / А.Д. Смычник, И.С. Невельсон, В.Н. Новокшенов, А.Ф. Данилова, С.И. Богдан, В.Н. Дешковский // Горная механика. – 2006. – № 3. – С. 27–32.
 4. Невельсон, И.С. Влияние расположения границ останковки очистной выемки при отработке свиты пластов на высоту распространения водопроводящих трещин / И.С. Невельсон, В.Н. Дешковский // Горная механика. – 2006. – № 3. – С. 33–38.
 5. Изучение зон нарушения сплошности пород подрабатываемой толщи на месторождениях калийных солей. Часть 2. Угловые параметры сдвижения толщи горных пород Старобинского месторождения / А.Д. Смычник, И.С. Невельсон, В.Н. Новокшенов, А.Ф. Данилова, С.И. Богдан, В.Н. Дешковский // Горная механика. – 2006. – № 4. – С. 23–29.
 6. Невельсон, И.С. Совершенствование методики расчета коэффициентов, учитывающих влияние отработки пластов в свите на развитие водопроводящих трещин / И.С. Невельсон, В.Н. Дешковский // Горная механика. – 2006. – № 4. – С. 14–22.
 7. Невельсон, И.С. Методика расчета коэффициентов, учитывающих степень влияния разрабатываемых пластов на развитие водопроводящих трещин в зависимости от взаимного положения границ останковки очистных работ / И.С. Невельсон, В.Н. Дешковский // Маркшейдерия и недропользование. – 2006. – № 6. – С. 30–33.
 8. 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.
 9. Дешковский, В.Н. Разработка методики расчета высоты распространения зоны водопроводящих трещин для столбовых систем разработки с частичной закладкой выработанного пространства в виде бутовых полос / В.Н. Дешковский, В.Н. Новокшенов, П.П. Палто // Горная механика. – 2007. – № 2. – С. 77–84.
 10. Дешковский, В.Н. Методика расчета высоты распространения зоны водопроводящих трещин при разработке свиты калийных пластов / В.Н. Дешковский, И.С. Невельсон, В.Н. Новокшенов // Маркшейдерский вестник. – 2007. – № 3. – С. 48–53.
 11. Дешковский, В.Н. Методика определения зоны распространения тех-

ногенных трещин в угловых участках выработанного пространства / В.Н. Дешковский, И.С. Невельсон, В.Н. Новокшенов // Горный журнал. – 2007. – № 11. – С. 21–24.

Статьи в сборниках научных трудов

12. Определение параметров отработки группы калийных пластов при соблюдении условия водозащиты в условиях Старобинского месторождения / Р.Г. Шваб, С.Н. Цыганков, И.Б. Богатов, В.Н. Дешковский // Состояние и пути развития техники, технологий и подготовки инженеров горной промышленности Республики Беларусь: сб. науч. тр. / БНТУ. – Минск, 2006. – С. 49–51.

Материалы конференций

13. Определение параметров отработки группы калийных пластов при соблюдении условия водозащиты в условиях Старобинского месторождения / Р.Г. Шваб, С.Н. Цыганков, И.Б. Богатов, В.Н. Дешковский // Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях: материалы 8-го Международного симпозиума: в 2 ч. Ч. II, Белгород, Россия, 16–20 мая 2005 г. / ВИОГЕМ. – Белгород, 2005. – С. 16–22.
14. Дешковский, В.Н. Совершенствование методики расчета высоты распространения зоны водопроводящих трещин в условиях Старобинского месторождения калийных солей / В.Н. Дешковский, И.С. Невельсон, В.Н. Новокшенов // Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях: материалы 9-го Международного симпозиума, Белгород, Россия, 21–25 мая 2007 г. / ВИОГЕМ. – Белгород, 2007. – С. 62–68.

РЭЗЮМЕ

Дзяшкоўскі Васіль Мікалаевіч

Метад разліку параметраў, якія ўплываюць на вышыню распаўсюджвання водаправодзячых трэшчын пры распрацоўцы пакатых пластоў

Ключавыя словы: дэфармаванне горных парод, світа пластоў, водаправодзячыя трэшчыны, водаахоўная тоўшча, метады разліку.

Аб’ект даследавання: масіў горных парод і геамеханічныя працэсы якія адбываюцца ў ім пры адпрацоўцы світы пластоў.

Мэта даследавання: распрацоўка метадаў разліку параметраў, якія ўплываюць на вышыню распаўсюджвання зоны водаправодзячых трэшчын пры распрацоўцы пакатых пластоў пад ваданоснымі гарызонтамі.

Метады даследавання: натурныя (шахтныя) назіранні ў горных выработках, маркшэйдэрскія назіранні, лабараторныя даследаванні фізіка-механічных уласцівасцей горных парод, матэматычнае мадэліраванне.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: устаноўлена месцазнаходжанне зон парушэння цэласнасці падпрацаванай тоўшчы горных парод над граніцай ачысной прасторы. Вызначаны вуглавыя параметры сдвіжэння масіва горных парод. Устаноўлена ступень уплыву распрацоўваемых пластоў на развіццё зоны водаправодзячых трэшчын у залежнасці ад узаемнага месцазнаходжання граніц спынення здабываючых работ. Распрацаваны новы метады разліку каэфіцыентаў, якія ўлічваюць уплыў граніц спынення здабываючых работ пры распрацоўцы світы пластоў на вышыню распаўсюджвання зоны водаправодзячых трэшчын, што ўлічвае ўсе магчымыя варыянты ўзаемнага месцазнаходжання гэтых граніц. Прапанаваны новы метады разліку каэфіцыентаў падпрацаванасці для ніжэйлежачых пластоў адносна верхняга распрацоўваемага пласта пры іх адпрацоўцы камернай і стаўбавой сістэмамі распрацоўкі.

Выяўлены заканамернасці размеркавання дэфармацый у падпрацаваным масіве над вуглавымі ўчасткамі выпрацаванай прасторы. Прапанаваны новы спосаб разліку вышыні распаўсюджвання зоны водаправодзячых трэшчын над участкамі з няпоўнай падпрацоўкай тоўшчы парод на ўзроўні паверхні тэхнагеннай трэшчынаватасці ад уплыву адпрацоўкі верхняга пласта світы.

Распрацаваны новы метады разліку вышыні распаўсюджвання водаправодзячых трэшчын, які ўлічвае заканамернасці дэфармавання падпрацаванай тоўшчы парод для стаўбавых сістэм распрацоўкі з закладкай выпрацаванай прасторы ў выглядзе бутавых палос.

Ступень выкарыстання: распрацаваныя метады разліку выкарыстоўваюцца пры праектаванні горных работ на рудніках РУП «ВА «Беларуськалій».

Галіна выкарыстання: бяспека ў горнай прамысловасці, ахова руднікаў ад затаплення.

РЕЗЮМЕ

Дешковский Василий Николаевич

Методы расчета параметров, влияющих на высоту распространения водопроводящих трещин при отработке пологих пластов

Ключевые слова: деформирование горных пород, свита пластов, водопроводящие трещины, водозащитная толща, метод расчета.

Объект исследования: массив горных пород и геомеханические процессы, протекающие в нем при отработке свиты пластов.

Цель работы: разработка методов расчета параметров, влияющих на высоту распространения зоны водопроводящих трещин при отработке пологих пластов под водоносными горизонтами.

Методы исследования: натурные (шахтные) наблюдения в горных выработках, маркшейдерские наблюдения, лабораторные исследования физико-механических свойств горных пород, математическое моделирование.

Полученные результаты и их новизна: установлено положение зон нарушения сплошности подработанной толщи горных пород над границей очистного пространства. Определены угловые параметры сдвижения массива горных пород. Установлена степень влияния разрабатываемых пластов на развитие зоны водопроводящих трещин в зависимости от взаимного положения границ останковки очистных работ. Разработан новый метод расчета коэффициентов, учитывающих влияние границ останковки очистных работ при отработке свиты пластов на высоту распространения зоны водопроводящих трещин, учитывающий все возможные варианты взаимного положения этих границ. Предложен новый метод расчета коэффициентов подработанности для нижележащих пластов относительно верхнего разрабатываемого пласта при их отработке камерной и столбовой системами разработки.

Выявлены закономерности распределения деформаций подработанного массива над угловыми участками выработанного пространства. Предложен новый способ расчета высоты распространения зоны водопроводящих трещин над участками с неполной подработкой толщи пород на уровне поверхности техногенной трещиноватости от влияния отработки верхнего пласта свиты.

Разработан новый метод расчета высоты распространения водопроводящих трещин, отражающий закономерности деформирования подработанной толщи пород для столбовых систем разработки с закладкой выработанного пространства в виде бутовых полос.

Степень использования: разработанные методы расчета используются при проектировании горных работ на рудниках РУП «ПО «Беларуськалий».

Область применения: безопасность в горной промышленности, защита рудников от затопления.

SUMMARY

Vasil N. Dziashkouski

Methods to calculate parameters influencing the height of distribution of water-conducting fractures in flat seams mining

Key words: deformation of rocks, strata series, water-conducting fractures, water-proof strata, a calculation method.

Object of the research: the rock massif and geomechanical processes proceeding in it at strata series mining.

Aim of the work: the development of calculation methods of parameters influencing the total height of a distribution zone of water-conducting fractures in flat seams mining under water horizons.

Research methods: field (mine) observation in excavations, mine survey, laboratory testing of physical-mechanical properties of the rock, mathematical modeling.

Obtained results and their novelty: the position of violation zones of undermine rock massif above the border of the open area was established. Angular parameters of rock massif strata movement were determined. The range of influence of mined bed on the propagation of a distribution zone of water-conducting fractures depending on a relative position of extraction fronts was established. A new method of calculation coefficients which take into account the influence of a relative position of extraction fronts in strata series mining on the distribution zone of water-conducting fractures, taking into account all the possible variants of a relative position of these extraction fronts, was developed. A new method of calculation of undermine coefficients for the underlying seams in strata series mining for room-and-pillar and longwall mining was proposed.

Regularities in a strain distribution of undermine rock massif in the goaf corners were discovered. A new method to calculate a total height of a distribution zone of water-conducting fractures above sections with an incomplete strata undermining conditions at a level of the man-caused fracture surface from influence of the upper seam strata series mining was proposed.

A new method to calculate a total height of a distribution zone of water-conducting fractures that take into account the mechanism of undermine strata deformations for longwall mining with the goaf backfill of dry stowing packs was developed.

Degree of utilization: These methods are used in mining engineering in mines of RUE «PA «Belaruskali».

Field of application: safety in mining industry, flood prevention in mines.

Научное издание

ДЕШКОВСКИЙ

Василий Николаевич

**МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВЫСОТУ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОДОПРОВОДЯЩИХ ТРЕЩИН
ПРИ ОТРАБОТКЕ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

Редактор Т.Н. Микулик

Подписано в печать 21.01.2007.

Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 1,28. Уч.-изд.л. 1,00. Тираж 60. Заказ 81.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ № 02330/0131627 от 01.04.2004.
220013, Минск, проспект Независимости, 65.