

**Федеральное агентство научных организаций
Российский фонд фундаментальных исследований
Российская академия наук
Отделение наук о Земле
Научный совет РАН по проблемам горных наук
Научный совет РАН по проблемам обогащения
полезных ископаемых
Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова
Совет молодых ученых и специалистов**

ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР В XXI ВЕКЕ ГЛАЗАМИ МОЛОДЫХ

**14 МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ**

28 октября – 01 ноября 2019 г.

**Москва
2019**

УДК 622.013

Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы
14 Международной научной школы молодых ученых и специалистов.
28 октября – 01 ноября 2019 г. – М: ИПКОН РАН, 2019 – 416 с.

В сборнике опубликованы материалы 14 Международной научной школы молодых ученых и специалистов, посвященные последним достижениям в области теории и технологии комплексного освоения недр Земли. Представлены результаты новых исследований по таким направлениям как геология, техника и технология освоения месторождений твердых полезных ископаемых, геомеханика, разрушение горных пород, обогащение полезных ископаемых. Рассмотрены вопросы, связанные с управлением горного производства, техникой безопасности и охраной окружающей среды, геоэкологией. Освещены экономические аспекты проблемы освоения недр.

Для широкого круга специалистов, работающих в области освоения, добычи и переработки минерального сырья, геоэкологии и экономики.

Редакционный совет: член-корреспондент РАН *В.Н. Захаров* (председатель), академик РАН *К.Н. Трубецкой*, академик РАН *В.А. Чантурия*, член-корреспондент РАН *Д.Р. Каплунов*, *И.И. Айнбиндер*, *А.З. Вартаков*, *С.Д. Виктор*, *Е.В. Красюкова*, *И.М. Малахова*, *О.Н. Малинникова*, *Т.Н. Матвеева*, *Н.А. Милетенко*, *В.Н. Одинцев*, *П.Г. Пацкевич*, *М.В. Рыльникова*, *А.Л. Самусев*, *М.С. Стефунько*, *В.А. Трофимов*, *И.В. Шадрунова*, *Е.Д. Якушева*.

*Финансовая поддержка оказана
Российским фондом фундаментальных исследований
Грант РФФИ № 19-05-20141*

Информационную поддержку оказали научно-технический
и производственный журнал «Маркшейдерия и недропользование»,
«Маркшейдерский вестник», «Горный журнал Казахстана»

ISBN 978-5-6041084-8-2

© ИПКОН РАН, 2019

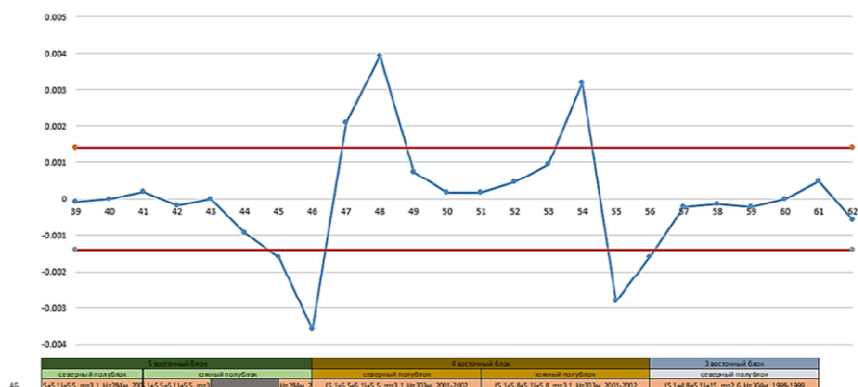


Рис. 3. График кривизны потенциально опасной зоны

Исследование показало, что кривизна ВЗТ на рассматриваемых участках превышает допустимые значения.

В данной работе были сформулированы возможные причины, которые приводят к образованию опасных состояний ВЗТ: боковые разрушения краев междукламерных целиков, обрушение кровли и межпластовой потолочины в камерах, что приводит к изменению заданных соотношений целиков и снижение их несущей способности.

Таким образом, по критерию кривизны было оценено состояние водозащитной толщи как неблагоприятное, и описаны возможные механизмы, которые привели к этому. Для предотвращения возникновения подобных проблем в будущем рекомендуется вести на калийных рудниках полную закладку выработанного пространства.

Список литературы

1. Пермяков Р.С., Ковалев О.В., Пинский В.Л. и др. Справочник по разработке соляных месторождений. – М.: Недра, 1986. – 212 с.
2. Соловьев, В.А. Разработка калийных месторождений: практикум / В.А. Соловьев, А.И. Секунцов. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. унта, 2013. – 265 с.
3. Кузнецов Г.Н. Графические методы оценки предельных состояний трещиноватого массива вокруг горных выработок // Доклады всесоюзной конференции по механике горных пород. – Апатиты: Изд-во Кольского филиала АН СССР, 1970.
4. Методическое руководство по ведению горных работ на рудниках Верхнекамского калийного месторождения / Под ред. В.А. Соловьева, УФ ВНИИГ. – М.: Недра, 1992. – 468 с.
5. Горная энциклопедия / под ред. Е.А. Козловского. – М.: Советская энциклопедия, 1984–1991.

УРАВНЕНИЕ ОГИБАЮЩЕЙ ПРЕДЕЛЬНЫХ КРУГОВ МОРА ДЛЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Кулагина М.А.

ГОУ ВПО Кыргызско-Российский Славянский университет

Паспортом прочности горных пород служит огибающая к предельным кругам напряжений, которая (на известной диаграмме Мора) разграничивает область опасных (по разрушению) и не опасных напряженных состояний и позволяет определить ориентацию плоскости среза при разрушении. В данном сообщении проанализировано уравнение такой огибающей линии (получаемое на основе предложенного в [1] критерия прочности), которое в достаточной мере отражает прочностные свойства разнообразных горных пород.

Согласно теории прочности Мора [2], в плоскости, наклоненной под определенным углом к главным напряжениям (σ_1, σ_3), касательное напряжение (τ) зависит от нормального напряжения (σ) на ней. По экспериментальным данным трехосного сжатия по схеме Кармана строят в координатах $\tau \sim \sigma$ круги (Мора) предельных напряженных состояний, центр (O_c) и радиус (R) которых определяются выражениями:

$$O_c = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3), \quad R = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3).$$

Уравнение предельных кругов Мора в пространстве главных напряжений можно представить в виде алгебраического уравнения второй степени:

$$\varphi(\sigma, \tau, c) = \sigma^2 + \tau^2 - (1+c)\sigma_1 + c\sigma_1^2 = 0, \quad (1)$$

где параметром этого семейства является параметр $c = \sigma_3 / \sigma_1$.

Общее уравнение второй степени относительно x и y , имеет вид [6]:

$$a_{11}x^2 + 2a_{12}xy + a_{22}y^2 + 2a_{13}x + 2a_{23}y + a_{33} = 0, \quad \text{где } a_{ik} = a_{ki} \quad (i, k=1, 2, 3). \quad (2)$$

Для рассматриваемого уравнения (1), принимая $\sigma_1 = x$, $\sigma_3 = y$, согласно (2), коэффициенты a_{ik} равны:

$$a_{11} = a_{22} = 0; \quad a_{12} = a_{21} = 1/2;$$

$$a_{13} = a_{31} = -\sigma/2; \quad a_{23} = a_{32} = -\sigma/2. \quad (3)$$

Инварианты уравнения (1), по которым судят о классификации кривой, таковы:

$$D_{инв.} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}, \quad A_{инв.} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Эти инварианты в рассматриваемом случае таковы:

$$D_{инв.} = -1/4 < 0, \quad A_{инв.} = -\tau^2/4 \neq 0.$$

В соответствии с этими значениями инвариантов $A_{инв.}$ и $D_{инв.}$ выражение (1) представляет собой уравнение гиперболы [6].

Задав в пространстве главных напряжений уравнение гиперболы (согласно ее определению) в виде:

$$\sqrt{\sigma_1^2 + (\sigma_3 - b)^2} - \sqrt{\sigma_1^2 + (\sigma_3 - a)^2} = d \quad (a, b, d - const), \quad (5)$$

удалось [1] разрешить его относительно главного напряжения σ_3 , т.е. получить зависимость $\sigma_3 = \sigma_3(\sigma_1)$, а именно:

$$\sigma_3 = \frac{a+b}{2} + \sqrt{\frac{d^2 \sigma_1^2}{(a-b)^2 - d^2} + \frac{d^2}{4}}. \quad (6)$$

На основании известной теоремы [3], огибающая семейства вида (1) должна удовлетворять также уравнению:

$$\phi_c(\sigma, \tau, c) = 0 \quad (\phi_c = \partial \phi / \partial c), \quad (7)$$

Составляя систему уравнений из (1) и (7), из ее решения получим координаты огибающей (σ, τ) в параметрическом виде:

$$\sigma = \frac{\sigma_1(\sigma_1 + 2c(\sigma_1)_c)}{(\sigma_1 + (1+c)(\sigma_1)_c)}, \quad \tau = \frac{(1-c)\sigma_1 \sqrt{(\sigma_1 + c(\sigma_1)_c)(\sigma_1)_c}}{\sigma_1 + (1+c)(\sigma_1)_c}, \quad ((\sigma_1)_c = \partial \sigma_1 / \partial c) \quad (8)$$

Введем замену констант гиперболы:

$$\frac{a+b}{2} = A, \quad \frac{d^2}{4} = B^2, \quad \frac{d^2}{(a-b)^2 - d^2} = Q. \quad (9)$$

Учитывая (9), выражение (6) принимает следующий вид:

$$\sigma_3 = A + \sqrt{Q\sigma_1^2 + B^2}, \quad (10)$$

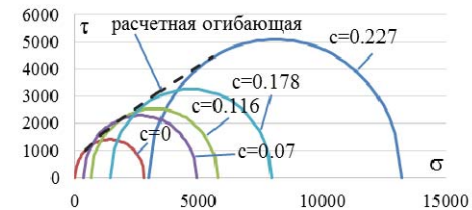
Огибающая при $\sigma_1 \rightarrow \infty$ стремится к линии, параллельной оси σ , а напряжение τ стремится к значению максимального касательного напряжения [1, 4]; согласно этому условию предельного перехода $Q=1$. Следовательно, зависимость $\sigma_3(\sigma_1)$ можно представить еще в виде:

$$\sigma_3 = A + \sqrt{\sigma_1^2 + B^2}, \quad (11)$$

Проанализируем полученную таким образом зависимость $\sigma_3(\sigma_1)$ и установим область применимости формул (10) и (11). Для этого построим предельные круги Мора, используя результаты испытаний на трехосное сжатие обширной группы горных пород, которые содержатся в виде табличных данных в монографии [5].

В качестве примера, на рис. 1 приведены предельные круги напряжений для песчаника П-03 для пяти видов напряженного состояния, а также огибающая к ним, построенная по формулам (8), при использовании зависимости $\sigma_3(\sigma_1)$ в виде (10). Для определения констант A , B и Q в этом случае необходимо выбрать в качестве «опорных точек» напряжения σ_1 и σ_3 при трех видах напряженного состояния. Как видно из рисунка, огибающая ко всем предельным кругам напряжений действительно является касательной практически ко всем этим кругам.

Формулы (10) и (11) позволяют также определить предел прочности на растяжение (σ_p) по известным значениям констант A и B , т.е. при $\sigma_1 = 0$ имеем $\sigma_p = \sigma_3 = A + B$.



Рис/ 1. Круги Мора и огибающая к ним для песчаника П-03

В проведенном исследовании установлено, что зависимость $\sigma_3(\sigma_1)$ в виде (11) достаточно хорошо отражает прочностные свойства мелкозернистых горных пород, к которым, в частности, относятся [5]: талькохлорит, песчаник Д-8, мрамор П, известняк (эстонсланец), диабаз. Свойства средне- и крупнозернистых пород лучше отображаются соотношением (10), но при использовании большего набора исходных экспериментальных данных для определения материальных констант (A , B , Q). К таким породам относятся [5]: песчаник выбросоопасный, песчаник, не опасный по выбросам, песчаник П-0, известняк Д-6, песчаник П-01, песчаник П-026, мрамор-І, кварцевый диорит Д-2.

Список литературы

1. Дуйшеналиев Т.Б., Койчуманов К.Т. Уравнение огибающей линии предельных кругов напряжений. Бишкек: Илим, 2006. 130 с.
2. Paterson M.S., Wong T.-F. Experimental Rock Deformation – The Brittle Field. Berlin: Springer, 2005. – 348 p.
3. Погорелов А.В. Дифференциальная геометрия. Москва: Наука, 1974. 176 с.
4. Рычков Б.А. О прочностных характеристиках горных пород // Современные проблемы механики сплошных сред. Бишкек, 2011. Вып. 13. С. 310-317.
5. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Пластичность горных пород. Москва: Недра, 1979. 305 с.
6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Москва: Наука, 1974. 832 с.

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ГЛАВНЫХ КРИТЕРИЕВ ВЗРЫВНОГО РЫХЛЕНИЯ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД НА КАРЬЕРАХ ПРИМЕНительно К ТРЕБОВАНИЯМ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ КОМПЛЕКСОВ ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ВЕДЕНИИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ

Айнбиндер И.И., Жариков И.Ф., Докутович М.И.

*Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН*

Существующие большое количество современных промышленных взрывчатых веществ (ПВВ) по своим энергетическим характеристикам пригодны для решения любых геотехнологических задач, но реальные возможности управления энергией этих ПВВ существенно отстают от быстро растущих требований к результатам взрыва. При этом коэффициент полезного использования энергии зарядов остается достаточно малым [1].

Учитывая, что с ростом глубины карьеров непрерывно усложняется технология вскрытия нижележащих горизонтов, сопровождаемая возрастанием объемов вскрышных работ и увеличением числа транспортных горизонтов вместе с протяженностью автомобильных трасс, технический прогресс возможен путем внедрения циклично-поточной и поточной технологий. При этом интенсификация и повышение эффективности открытых горных работ (ОГР) наиболее логично связывать с расширением применения конвейерного транспорта и реализацией на его базе циклично-поточной технологии (ЦПТ) [2].

Для повышения эффективности работы комплексов необходимы новые подходы, а для решения задач по обеспечению высокого качества дробления горных пород (ГП) требуется прежде всего скорректировать технологию взрывания применительно к условиям глубоких карьеров [2].

При оценке эффективности взрывного дробления ГП основными критериями, определяющими эффективность ведения взрывных и последующих ГР, являются: выход негабарита, степень дробления ГП, форма развала, количество «порогов» и т.д., причем первые два принято считать главными. Одним из главных параметров при оценке результатов взрывного дробления ГП в горном деле и строительстве является оценка среднего размера куска в развале. Знание зависимости этой величины от параметров буровзрывных работ (БВР) и свойств ГП позволяет надёжно рассчитывать не только технико-экономические показатели БВР на предприятиях, но и решать ряд других важных задач горного производства – проектирование и выбор горного оборудования на карьерах и обогатительных фабриках и т.д. [3-5].

Также установлено, что и для экскавации, и для условий ЦПТ, где есть ограничения по качеству дробления, выход определенной фракции не должен превышать заданной величины [2, 6].

В существующих методиках оценки гранулометрического состава, среднего размера куска породы, выхода негабарита и т.д. недостаточно учитывается физическая сущность разных процессов разрушения пород на разных расстояниях от взрывающего заряда ПВВ.

В настоящем докладе на основе развития «Феноменологической квазистатическо-волновой теории Н.В. Родионова о крупномасштабном подземном взрыве» делается попытка дать теоретические оценки некоторых детерминированных закономерностей дробления ГП в зоне регулируемого дробления и определения среднего размера куска в развале с учетом физико-механических свойств ГП, термодинамических параметров зарядов ПВВ и схем их размещения во взрывающей блоке с установлением величины степени дробления породы на разных расстояниях от оси взорванного заряда, используя закономерности формирования на-

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Академик РАН Трубецкой К.Н., Милетенко Н.А.</i> Актуальные аспекты безопасного освоения Горовского месторождения.....	3
<i>Рыльникова М.В., Есина Е.Н., Никифорова И.Л.</i> Специфика и инновационные аспекты подготовки проекта Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и отвалов»	6
<i>Дрибан В.А., Шевченко Е.Н., Дуброва Н.А., Василевский А.М.</i> Новый подход к оценке пустотности подработанного массива при решении задач гидрогеомеханического прогноза	10
<i>Добрынин А.А., Добрынин И.А.</i> Сейсмические барьеры при взрывных работах.....	13
<i>Самусев А.Л., Миненко В.Г.</i> Обоснование и разработка оптимальных параметров комбинированных электрохимических и ультразвуковых воздействий при выщелачивании упорного золотосодержащего концентрата.....	17
<i>Умирбаева А., Нурпеисова М., Левин Е.</i> Создание экологических карт нарушенных земель Семипалатинского ядерного полигона.....	19

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

<i>Анциферов А.В., Иванов Л.А., Туманов В.В., Савченко А.В.</i> О главных геологических факторах газоносности углей.....	23
--	----

ПРОБЛЕМЫ ГЕОМЕХАНИКИ И РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

<i>Лебедев М.О., Романевич К.В.</i> Особенности работы крепей и обделок транспортных тоннелей после их реконструкции	27
<i>Иванов П.Н., Блохин Д.И.</i> Исследование акустоэмиссионных и термомеханических эффектов на различных стадиях деформирования известняка.....	30
<i>Мингазов Р.Я., Закалинский В.М., Шиповский И.Е.</i> Исследование методом численного моделирования конструкции скважинного заряда для снижения сейсмического эффекта при взрывных работах	33

405

<i>Камбурова Л.А., Киселев Н.Н.1., Радченко А.Г., Радченко А.А.</i> Роль факторов горного и газового давлений в формировании и проявлении внезапных выбросов угля и газа на шахтах Донбасса	40
<i>Радченко А.Г., Киселев Н.Н., Радченко А.А.</i> Распределение горного давления впереди проводимого очистного забоя	44
<i>Малинникова Е.В., Пашичев Б.Н.</i> Исследование нарушенности ископаемых углей методом энтропии-сложности.....	47
<i>Максимова Е.А.</i> Оценка условий подработки водозащитной толщи при разработке соляных месторождений	51
<i>Кулагина М.А.</i> Уравнение огибающей предельных кругов Мора для горных пород	54
<i>Айнбиндер И.И., Жариков И.Ф., Докучаев М.И.</i> К вопросу оценки главных критериев взрывного рыхления вскрышных пород на карьерах применительно к требованиям эффективной работы комплексов циклично-поточной технологии при ведении буровзрывных работ на больших глубинах	57
<i>Косырева М.А., Еременко В.А.</i> Моделирование напряженно-деформированного состояния каркасной системы подземного рудника для условий самообрушения руды	60
<i>Янбеков А.М., Еременко В.А., Умаров А.Р., Хажыылай Ч.В.</i> Создание полигона для количественной оценки состояния массива и испытания параметров крепи выработок в условиях подземного рудника.....	64
<i>Хажыылай Ч.В., Еременко В.А., Янбеков А.М.</i> Влияние порового давления на напряженно-деформированное состояние массива горных пород	66
<i>Базаев С.Ю., Загорименный И.М.</i> Современные технологии строительства ограждающих конструкций подземных сооружений	69
<i>Громцев К.В.</i> Разработка схем закладки выработанного пространства при выемке калийно-магниевых пластов длинными очистными забоями	73
<i>Голдин С.В., Ягмур А.Б.</i> Классификация аварийных ситуаций при ликвидации вертикальных шахтных стволов	76
<i>Хохлов Б. В., Дрибан В.А.</i> Геомеханическое обоснование использования стволов ликвидируемых шахт для откачки воды погружными насосами	79

406

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР В XXI ВЕКЕ – ГЛАЗАМИ МОЛОДЫХ

Техническое редактирование, компьютерная верстка
и художественное оформление *Н.А. Малышева*

Лицензия ЛР №21037. Подписано в печать с оригинал-макета 09.08.2019 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага «Мега Copy Office». Печать офсетная. Набор
компьютерный. Объем 26 п.л. Тираж 250 экз. Заказ № 252.

Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН
111020, Москва, Крюковский тупик, 4.
Издание ИПКОН РАН, 111020, Москва, Крюковский тупик, 4.