

**Российская академия наук
Отделение наук о Земле РАН
Российский фонд фундаментальных исследований
Научный совет РАН по проблемам горных наук
Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н.В. Мельникова РАН**

**4 КОНФЕРЕНЦИЯ
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ
академика РАН К.Н. Трубецкого**

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ
КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ
И СОХРАНЕНИЯ ЗЕМНЫХ НЕДР**

**16-20 ноября 2020
Москва**

Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Под редакцией академика РАН К.Н. Трубецкого.// Составители: канд. техн. наук А.В. Шляпин, канд. техн. наук А.Г. Красавин, канд. техн. наук Н.А. Милетенко – М.: ИПКОН РАН. – 2020. – 524 с.

В сборнике опубликованы статьи участников 4-й конференции Международной научной школы академика РАН К.Н. Трубецкого, видного ученого и признанного лидера в области горных наук, комплексного освоения недр Земли и экологии.

Конференция организована Российской академией наук, Отделением наук о Земле, Научным советом РАН по проблемам горных наук, Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН.

В представленных статьях показано дальнейшее развитие Международной научной школы академика РАН К.Н. Трубецкого в трудах его учеников и последователей. Изложены современные представления в области природоподобных технологий для эффективного освоения недр, совершенствования методов освоения месторождений твердых полезных ископаемых, газодинамики и рудничной аэрологии, геомеханики и разрушения горных пород, управления производством, решения экономических и социальных проблем, цифровизации и роботизации в горнодобывающем секторе, экологической и промышленной безопасности горных работ в России и за рубежом.

Сборник представляет интерес для широкой горной общественности, связанной с исследованиями в области горных наук.

*Финансовая поддержка оказана
Российским фондом фундаментальных исследований
Грант РФФИ №20-05-22039 «Научные мероприятия»*

УЧЁТ ФАКТОРА ВРЕМЕНИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ

Касымканова Х.М.¹, Джангулова Г.К.¹, Женибек Е.¹,
Милетенко Н.А.²

¹ КазНУ им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан,

² ИПКОН РАН, г. Москва

Предлагаемые к настоящему времени методы расчёт карьерных откосов в большинстве случаев не учитывают в явной форме временной фактор. Это обстоятельство является существенным их недостатком, так как горный массив ведет себя как упругопластическое тело, деформации которого развиваются во времени. Продолжительность обнажения поверхности на различных отметках карьерного откоса по мере углубления горных работ будет неодинаковой. На участках, соответствующих верхней части карьера время существования породных обнажений равно сроку полной отработки открытой разработки, в нижней – сроку отработки последнего горизонта карьера. Из изложенного возникает вполне обоснованный вопрос о возможности учёта различных проявлений реологических свойств пород в зависимости от фактора времени. Несомненно, что из-за того, что различные части борта служат разное время с глубиной будет изменяться и коэффициент запаса устойчивости.

Известно, что механическая прочность горных пород зависит от скорости их нагружения. Чем выше последняя, тем больше прочность пород, поэтому известная формула для определения коэффициента запаса устойчивости преобразится как

$$\eta(t) = \frac{tg \varphi \sum_1^n N_i \cdot + C(t)L}{\sum_1^n T_i}, \quad (1)$$

где N_i – нормальная сила на i -той площадке, T_i – касательная сила на i -той площадке; n – число рассматриваемых площадок по длине поверхности скольжения L .

Из выражения (1) следует, что чем меньше стоит борт во времени, тем больше сцепление пород и коэффициент запаса устойчивости, т.е. вначале и к концу отработки карьера устойчивость борта будет различной.

Использование равенства (1) при определении устойчивости при-бортовых массивов затрудняется сложностью и трудностью нахождения численного значения сцепления в зависимости от времени образования породного обнажения. Кроме того, в вышеприведенных формулах угол

внутреннего трения предполагается неизменным, т.е. предельное состояние пород описывается прямой линией, тогда как на самом деле огибающая кругов Мора имеет криволинейный характер.

В работе [1] предложено при подготовке исходных характеристик породного массива, слагающего борт, использовать математическое ожидание получаемое из кривых распределения исходных величин. При этом рациональный уровень риска устанавливается исходя из взаимодействия оценки экономических и психологических последствий риска. Для оценки влияния времени на устойчивость карьерных откосов в работе [2] предложено использовать законы термодинамики и рассматривать борт как термодинамическую изолированную систему, в которой по мере стояния происходит приращение удельной энтропии борта. При критическом уровне энтропии борт в карьере может обрушиться.

Существенным недостатком при определении устойчивости карьерных откосов является то, что подставляемые в расчёты прочностные свойства горных пород, найденные в лаборатории в определенных временных условиях, в большинстве случаев не соответствуют времени протекания геомеханических процессов в прибортовом массиве, т.е. не выполняются условия подобия по фактору времени.

Ранее было получено [4]

$$\tau_i = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \sin 2\alpha = C + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi = \frac{k \cdot T (\ln \dot{\epsilon} - \ln \dot{\epsilon}_0 + U_0 / k \cdot T) \cdot \sin 2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)}{\gamma}, \quad (2)$$

где $\dot{\epsilon}_0$ – максимальная относительная скорость деформирования при $U_{\text{эф}} = 0$; U_0 – начальная энергия активации разрушения; γ – коэффициент структуры твердого тела; k – константа Больцмана; T – абсолютная температура испытываемого материала, $\dot{\epsilon}_0$ - относительная скорость деформирования пород.

Анализируя формулы (1) и (2), можно сделать вывод том, что функция прочности зависит от временного и температурного факторов, а именно от скорости протекания деформационных процессов в прибортовом массиве, так как численное значение сцепления породы C зависит от относительной скорости деформирования и температуры пород.

Прочность на одноосное сжатие с учетом временного фактора равна [8].

$$\sigma_{\text{сж}}(t) = \frac{k \cdot T (\ln t_0 - \ln t + U_0 / k \cdot T)}{\gamma}. \quad (3)$$

Численные значения параметров, входящих в (49) были определены по рекомендациям, приведенным в [8].

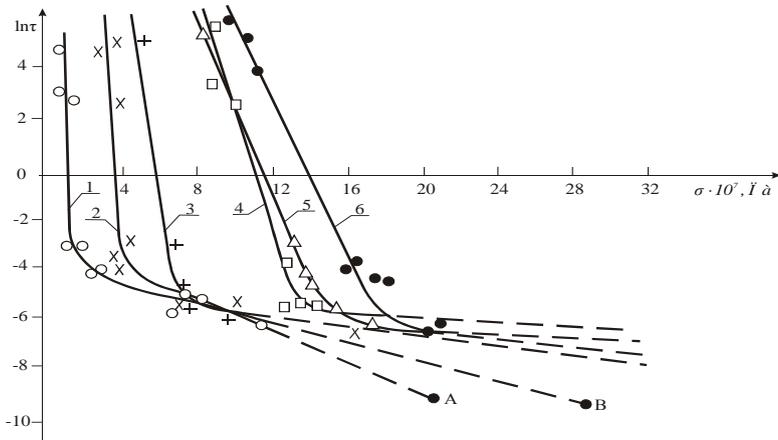


Рис. 1. Изменение долговечности от величины внешней нагрузки для известняка-ракушечника – 1, каменного угля – 2, алевролита – 3, доломита – 4, известняка силурийского – 5, песчаника – 6

Из рисунка 1 видно при возрастании $\ln t$ возможно пересечение графиков $\ln t(\sigma_{сж})$ с различной прочностью при стандартных испытаниях. Расчеты $\sigma_{сж}$ по формуле (3) действительно показывают, что при достижении некоторого временного интервала прочность $\sigma_{сж}(t)$ для породы с прочностью при стандартных испытаниях $\sigma_{сж} = 100,0$ МПа становится меньше, чем для породы с $\sigma_{сж} = 44,8$ МПа рисунок 2.

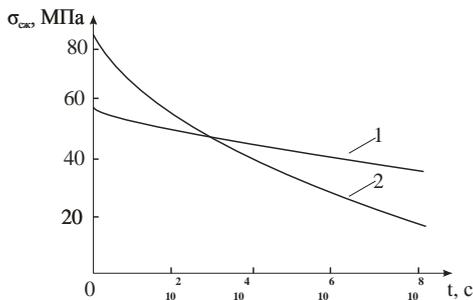


Рис. 2. Зависимость $\sigma_{сж}(t)$ для пород 1 – $\sigma_{сж} = 44,8$ и 2 – $\sigma_{сж} = 100$ МПа

Физику данного явления можно объяснить следующим образом. В слабых породах под действием нагрузки первоначально происходят уплотнительные процессы (захлопывание микротрещин, пор и др.). Причем, чем продолжительнее действует нагрузка, тем прочнее становится испытываемый материал. В прочных породах преобладают разуплотняющиеся процессы (образование микротрещин, их объединение в более крупные трещины).

При наличии в контактном слое заполнителя по прочности более слабого, чем породы массива, образование плоскостей ослабления в первую очередь будут происходить по менее прочным элементам, поэтому в расчетах по определению устойчивых параметров откосов и бортов карьеров необходимо принимать механические свойства этих заполнителей. Это заключение фактически использовалось в расчетах устойчивости бортов карьеров с учетом фактора воды, а также в других случаях активного участия заполнителя природных нарушений в техногенных геомеханических процессах, что приводило к адекватным объяснениям последствий этих процессов [9-10].

Таким образом, учет напряженного состояния пород в прибортовом массиве совместно с временным фактором дает более объективную информацию о формировании возможной призмы обрушения в различные периоды эксплуатации карьера на стадии проектирования. Такой подход позволяет еще на стадии проектирования смоделировать геомеханические процессы и возможные негативные их проявления в виде оползней и определить параметры устойчивости карьерных откосов с учетом срока его службы.

Список литературы

1. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства. – М. Стройиздат, 1977.
2. Падуков Б.А. Методы прогноза устойчивости бортов карьеров // В кн.: Физические процессы горного производства, вып.7.Л. – ЛГИ, 1979. – С. 49-53.
3. Окатов Р.П., Низаметдинов Ф.К., Цай Б.Н., Бондаренко Т.Т. Учет временного и температурного факторов при построении критериев прочности горных пород // ФТПРПИ., 2003, № 2. – С. 38-42.
4. Цай Б.Н., Бондаренко Т.Т., Малахов А.А., Аманбаев Б.Ж. Учет реологических свойств горных пород при оценке устойчивости горных выработок // Труды международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана» (23-24 декабря 2005 г.). – Караганда, 2005. – С.121-123.
5. Цай Б., Бондаренко Т.Т. Устойчивость бортов карьеров с учетом временного и масштабного факторов // Статья депонирована в КазгосИНТИ, 28.10.2003, № 8942. – КаОЗ. – 20 с.

6. Нурпеисова М.Б, Касымканова Х.М., Кыргызбаева Г.М. и др. Методические рекомендации по оценке устойчивости бортов карьера Акжал. – Алматы: КазНТУ, 2002. – 27 с.

7. Кучерявый Ф.И., Михалок А.В., Демченко Л.А. Энергия активации и энергоемкость разрушения горных пород //Изв. вузов. Горный журнал. – 1980. – № 5. – С. 57-63

8. Цай Б.Н.Обоснование геометрических параметров устойчивости породных обнажений с учетом временного фактора на горнодобывающих предприятиях: дис.докт. тех. наук. – Караганда, 2005.- 256 с.

9. Одинцев В.Н., Никифоров К.И. Определение устойчивости откоса уступа на основе моделирования В сб.: Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. К 35-летию ИПКОН РАН: 9 Международная молодежная научная школа. Редакционный совет: К.Н. Трубецкой, В.Н. Захаров и др.– М.:ИПКОН РАН, 2012. С. 135-137.

10. Никифоров К.И., Одинцев В.Н. Моделирование влияния атмосферных осадков на устойчивость трещиноватого уступа // Маркшейдерский вестник. – 2012. – № 6 (92). – С. 47-49.

11. Miletenko N.A., Odintsev V.N., Fedorov E.V. Snowmelt Water Break-through into Coal Mine in Sub-Artic Region. В сборнике: Mine Water: Technological and Ecological Challenges. Proceedings of International Mine Water Association Conference. – Perm:International Mine Water Association, 2019, Pp. 591-596.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ ПУТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ И ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОСНОВНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Соболев А.А.

ИГД ДВО РАН, г. Хабаровск

Минимизация человеческого участия в процессах горных работ, является основным мировым трендом модернизации горного производства, а автоматизация и роботизация горных предприятий, быстро развивающимся и перспективным направлением [1].

В нашей стране, работы по разработке и созданию технологий для автоматизации горного производства достаточно активно ведутся [2-4], однако уровень их коммерциализации и внедрения в производство остается относительно невысоким. В этой связи, остается все еще не решенным ряд производственных задач, таких как: сохранение здоровья сотрудников и повышение безопасности на горных работах; увеличение продуктивности и эффективности производства; снижение производственных затрат; экономически эффективная отработка геологически

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|---|
| Приветствие Директора ИПКОН РАН, члена-корреспондента РАН В.Н.Захарова | 3 |
|---|---|

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

| | |
|---|----|
| <i>Академик РАН К.Н. Трубецкой</i> Состояние и основные направле- ния комплексного освоения и сохранения ресурсов земных недр | 5 |
| <i>Галченко Ю.П.</i> Природоподобные технологии, как технологиче- ская парадигма развития минерально-сырьевого комплекса в условиях экологического императива | 12 |
| <i>Каплунов Д.Р., Рыжов С.В.</i> Обоснование рациональной производ- ственной мощности по добыче и переработке золотоносных руд..... | 15 |
| <i>Иофис М.А.</i> Становление и развитие геомеханики в школе акаде- мика РАН К.Н. Трубецкого | 18 |
| <i>Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Залевская К.Н.</i> Новые подходы к освоению техногенных месторождений..... | 19 |
| <i>Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я.</i> Новые цифровые технологии управления промышленной безопасностью на открытых горных работах | 22 |
| <i>Федотова Ю.В., Аникин П.А., Соболев А.А.</i> Анализ геодинамиче- ской активности в районе месторождения Южное (Приморский край) под влиянием техногенного воздействия..... | 27 |

ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР

| | |
|--|----|
| <i>Одинцев В.Н.</i> Природоподобные технологии и геомеханика..... | 31 |
| <i>Буктуков Н.С., Волков А.П.</i> Технологии разработки рудных ме- сторождений с использованием сеledоставки горной массы | 36 |
| <i>Матвеева Т.Н., Гетман В.В., Каркешкина А.Ю.</i> Повышение эф- фективности флотационного извлечения золота из упорной золо- тосодержащей руды с применением реагента дитиопирилметана | 39 |
| <i>Киселев Н.Н., Радченко А.Г., Радченко А.А.</i> Обобщенная кривая изменения степени метаморфизма углей в процессе их углефика- ции | 42 |
| <i>Шумилова Л.В., Хатькова А.Н.</i> Факторы интенсификации ресур- сопользования при реализации принципов наилучших доступных технологий | 45 |

| | |
|---|-----|
| <i>Кубрин С.С., Закорименный И.М., Блохин Д.И., Закорименный А.И.</i> Моделирование взаимодействия подвесных транспортных устройств с породным массивом | 84 |
| <i>Кочанов А.Н., Кургузова Е.В.</i> Экспериментальная оценка структурных и прочностных характеристик горных пород в условиях неразрушающего динамического воздействия | 87 |
| <i>Кирков А.Е.</i> Применение геоинформационных систем для построения карт интенсивности провалообразования и оценки параметров провалов по результатам многолетнего мониторинга | 90 |
| <i>Касымканова Х.М., Джангулова Г.К., Женибек Е., Милетенко Н.А.</i> Учёт фактора времени при определении устойчивости карьерных откосов | 93 |
| <i>Соболев А.А.</i> Совершенствование технологии ведения горных работ путем автоматизации и внедрения искусственного интеллекта в основные производственные процессы | 97 |
| <i>Осокин А.А.</i> Новый подход к оценке сейсмического воздействия взрывных работ при добыче полезных ископаемых | 101 |
| <i>Нескреба Д.А., Стариков Г.П.</i> Экспресс метод определения прочности горных пород | 103 |
| <i>Федоров Е.В., Вартанов А.З., Милетенко Н.А., Никифорова И.Л.</i> Перспективы использования оптоволоконных измерительных систем для комплексного геомеханического мониторинга..... | 106 |
| <i>Хащеватская Н.В.</i> Фазовое состояние водородосодержащих компонент в горных породах и углях | 110 |
| <i>Кутуев В.А., Жариков С.Н.</i> Исследование сейсмоустойчивости грунтов на площадках охраняемых объектов и определение допустимых скоростей колебаний для зданий в условиях Кыштымского месторождения кварца | 113 |
| <i>Бобин В.А., Бобина А.В.</i> Научная база для создания горных машин гироскопического типа | 116 |
| <i>Емельянов Р.В., Иляхин С.В.</i> Использование НРС в скважинах диаметром более 56 мм..... | 119 |
| <i>Докутович М.И.</i> Результаты практического применения теории разрушения горных пород взрывом..... | 122 |
| <i>Клементьева И.Н.</i> Установление собственной частоты упруго-демпфирующего устройства в механизме тяги драглайна | 124 |

Лицензия ЛР №21037. Подписано в печать с оригинал-макета 29.10.2020 г. Формат 60x84 1/16. Бумага «Мега Сору Office». Печать офсетная. Набор компьютерный. Объем 32.75 п.л. Тираж 300 экз. Заказ № 259.

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

Издание ИПКОН РАН, 111020, Москва, Крюковский тупик, 4.