

УДК 622.273.2:553.81

А.Н. Монтянова, А.И. Ефимов, Л.Р. Таланцев

**К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ
ЗАКЛАДОЧНЫХ РАБОТ ПРИ КОМБАЙНОВОЙ
ОТБОЙКЕ РУДЫ КОРЕННЫХ АЛМАЗНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Выполнены специальные исследования по расширенному изучению физико-механических свойств составов закладки, разработанных для алмазодобывающих рудников Якутии.

Ключевые слова: закладка выработанного пространства, кимберлитовые трубы, разрезной штрек, закладочные массивы.

Семинар № 15

При отработке алмазных месторождений Якутии подземным способом используется слоевая система разработки с закладкой выработанного пространства и нисходящей выемкой руды. Применение нисходящего порядка отработки слоев обусловлено неустойчивым состоянием кимберлита в обнажениях. Очистные работы осуществляются механическим способом с применением очистных комплексов, в состав которых входят: комбайн типа АМ - 85 (Австрия) и ПДМ. При комбайновой отбойке исключается динамическое воздействие на искусственный массив, как при взрывном способе, что позволяет снизить нормативные требования к прочности закладки в кровле и стенах выработок. Массивность комбайнового оборудования (до 120 т) обуславливает увеличение нормативных прочностных параметров закладки в почве очистных выработок, одновременно являющейся дорожным полотном [4].

В процессе отработки кимберлитовых трубок по вертикали формируется три разновидности искусствен-

ных слоев (рис. 1): 1 - разрезной (образован при разрезке рудного тела в пределах кимберлитовой трубы в целом, этажа, подэтажа), в кровле и почве закладываемых выработок - кимберлит; 2 - рядовой (образован при отработке слоев в нисходящем порядке), в кровле закладываемых выработок - искусственный массив, в почве - кимберлит; 3 - стыковочный (образован пристыковке разрезных и рядовых слоев), в кровле и почве закладываемых выработок - искусственный массив. При этом разрезные слои формируются трехслойными: несущая часть, низкомарочная часть и дорожное полотно; рядовые слои - двухслойными: несущая часть и низкомарочная часть; стыковочные слои - только из низкомарочных закладочных смесей. Отработка кимберлитовых трубок в плане осуществляется по камерно-целиковой схеме в три стадии: заходки первой, второй и третьей очереди.

При развороте комбайна с разрезного штрека в очистные заходки происходит расширение устьевой части последних. Пролет обнажений закладочного массива в кровле смежных по

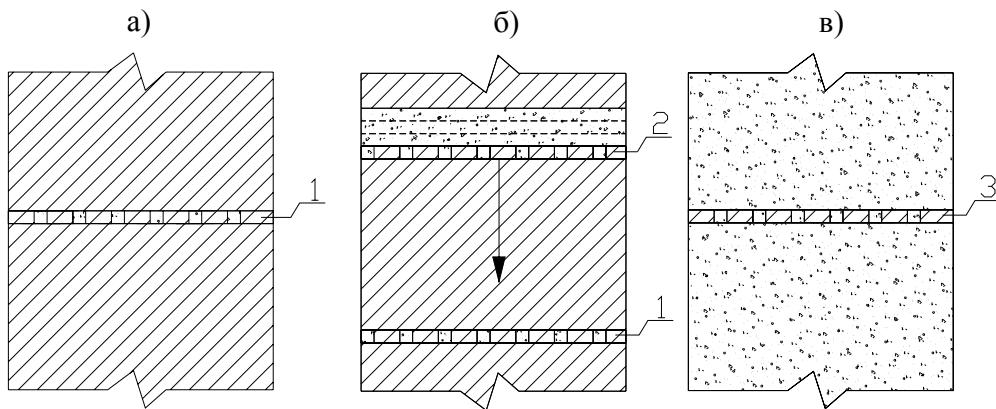


Рис. 1. Схема развития закладочных работ по мере отработки (а, б, в) кимберлитовой трубы по вертикали: 1 - разрезной слой; 2 - рядовой слой; 3 - стыковочный слой

высоте заходок A_p (м) рассчитывается по аналогии с работой [1] из условий примыкания или пересечения выработок в ниже лежащем слое, рис.2. При этом учитывается радиус разворота комбайна, очередность отработки заходки в слое и глубина установки в ней изолирующей перемычки:

для примыкания:

$$\text{при } (B+d) < (A+nl) \quad A_p = A + nl \quad (1)$$

$$\text{при } (B+d) \geq (A+nl) \quad A_p = B + d \quad (2)$$

для пересечения:

$$A_p = \sqrt{(A + nl + ml)^2 + B^2}, \quad (3)$$

где A –ширина разрезного штрека, м; B - ширина очистной заходки, м; l -глубина установки перемычки в очистных заходках, м; n –очередность отработки заходки слева от разрезного штрека (заходки первой, второй или третьей очереди); m – очередьность отработки заходки справа от разрезного штрека (заходки первой, второй или третьей очереди); d - величина разрушения или сработки углов между выработками при развороте комбайна, м.

С целью снижения затрат на закладочные работы проработаны мероприятия по их оптимизации. По-

скольку привозной портландцемент на рудниках Компании является определяющей позицией в стоимости возведения закладочных массивов (70-86 %), сравнение различных вариантов их формирования произведено по критерию «средний расход цемента на закладочные работы».

На рис. 3 приведены результаты расчетов вариантов технологий формирования закладочных массивов, на примере рудника «Интернациональный». Выявлено, что используемая на руднике «Интернациональный» технология имеет резервы для оптимизации.

В частности, экономии цемента можно достичь при формировании разнотрещинного несущего слоя закладочных массивов с локализацией высокопрочной его части в районе со-пряжений с помощью ограждающих перемычек (рис. 3, варианты 2 - 4); увеличении толщины несущего слоя до 2,5 м (варианты 4 - 6) и высоты закладываемых выработок до 8 м (показатели отмечены более темным цветом). Максимальная высота резания комбайна - 5,3 м, поэтому достижение требуемой высоты выработки надлежит осуществлять в два приема.

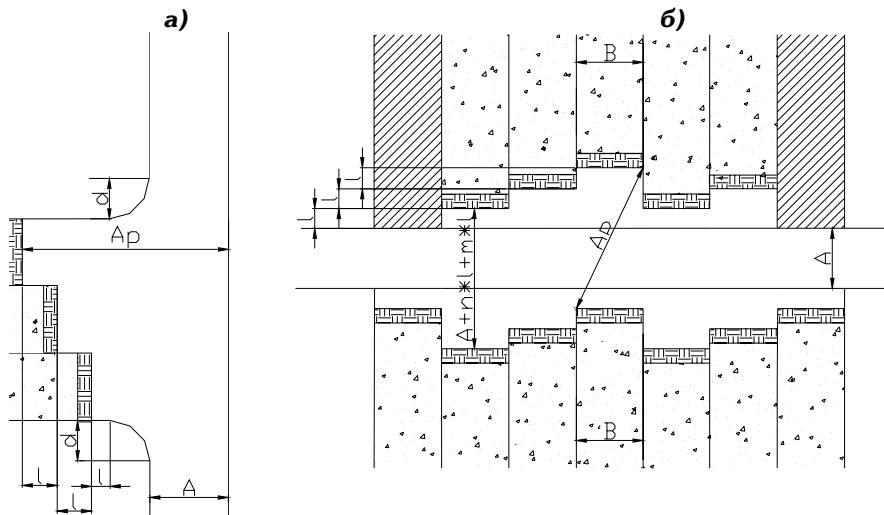


Рис. 2. Схемы к определению пролета обнажения искусственной кровли в месте будущих сопряжений разрезного штранка с очистными заходками для условий:
а) примыкания выработок б) пересечения выработок

Ограничение высоты выработок – до 8 м, обусловлено существующими данными об устойчивости кимберлита в вертикальных обнажениях. Увеличение ширины выработок с 5 (вариант 4) до 8 м (вариант 5) и до 10 м (вариант 6) приводит к увеличению потребления цемента: на 3-5 % и 8-15 % соответственно. При этом реализация варианта 6 сопряжена с необходимостью отработки выработки в плане также в два приема, поскольку максимальная ширина резания комбайна (горизонтальный угол поворота $\pm 37^\circ$) составляет 8,3 м. Исходя из изложенного, принято решение на первой стадии внедрения ограничить ширину выработок - 8 м.

Увеличение поперечного сечения очистных выработок с параметров 5x5 на 8x8 м позволит: 1- использовать для формирования несущей части слоев единую марку закладки (см.рис.3, вариант № 5), что технологично; 2- в условиях комбайновой отбойки руды размещать в очистных заходках участковые трубопроводы с целью подачи закладочных смесей че-

рез перемычки, а не по скважинам; 3- интенсифицировать добычные работы, поскольку сокращается количество заходок в слое, этаже, а следовательно, и время на перегон комбайнов из одного очистного забоя в другой; 4- интенсифицировать закладочные работы, поскольку сокращается суммарное время на технологические перерывы при возведении разнoprочных частей закладочных массивов в пределах слоя, этажа; 5- сократить количество очистных комплексов (комбайн + ПДМ) при сохранении производительности по добыче руды.

В результате выполненной работы предусмотрены к реализации технические решения, способствующие сокращению расхода цемента при возведении закладочных массивов $\sim 15\%$ и затрат на добычные работы в целом.

В настоящее время марочная прочность закладочных смесей, называемых в производство, устанавливается умножением на коэффициент адаптации [4]. Коэффициенты адаптации определяются отношением

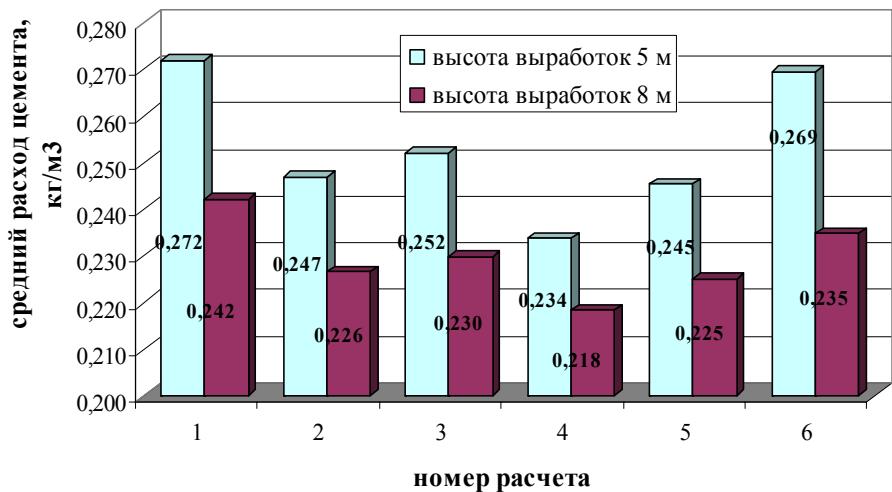


Рис. 3. Изменение удельного расхода цемента в закладочных смесях при различных вариантах формирования рядовых закладочных массивов (нисходящая выемка, сопряжения учтены): 1 - ширина заходок и разрезного штрека по 5 м; несущая часть слоев формируется из одной марки закладки М 60., толщина несущего слоя 1,5 метра (схема формирования искусственного массива, используемая на руднике "Интернациональный"); 2 - ширина заходок и разрезного штрека по 5 м, но несущая часть слоев – разнотрочная: марка несущего до первой перемычки - М35, остаток заходки и разрезной штрек - М70. Толщина несущего слоя 1,0 м; 3 - то же, но марка закладки до первой перемычки - М30, остаток заходки и разрезной штрек - М60; толщина несущего слоя 1,5 м; 4 - то же, но марка закладки до первой перемычки - М20, остаток заходки и разрезной штрек - М30; толщина несущего слоя 2,5 м; 5 - ширина заходок и разрезного штрека по 8 м, несущая часть слоев формируется из одной марки закладки М 30; толщина несущего слоя 2,5 метра; 6 - ширина заходок и разрезного штрека по 10 м, несущая часть слоев формируется из одной марки закладки М 50; толщина несущего слоя 2,5 м

прочности закладочного массива, твердеющего в условиях криолитозоны подземного рудника, к прочности образцов закладки, хранящихся в нормальных условиях твердения. Мониторингом шахтных температурных условий выявлено, что с развитием горных работ во времени и пространстве месторождения происходит рас тепление криолитозоны в результате длительного комплексного воздействия теплоты не только от закладочных работ, но и от работающей горной техники, вентиляции и других факторов. На вновь вводимых в эксплуатацию площадях кимберлитовой трубы «Интернациональная» блоков 5–8 отрицательных температур горного мас-

сива не зафиксировано. В новой редакции регламентов технологических процессов при ведении закладочных работ на алмазодобывающих рудниках АК «АЛРОСА» (2008 г.) коэффициенты адаптации подлежат адекватному изменению.

Наличие на рассматриваемых месторождениях вышележащих открытых карьерных пространств, на дне которых скапливаются значительные количества пульпы из паводковых вод и осипей, а также мощных высокоминерализованных подземных водоносных комплексов, предопределяют необходимость исключения прорыва воды в подземные выработки. При этом предъявляются требования к

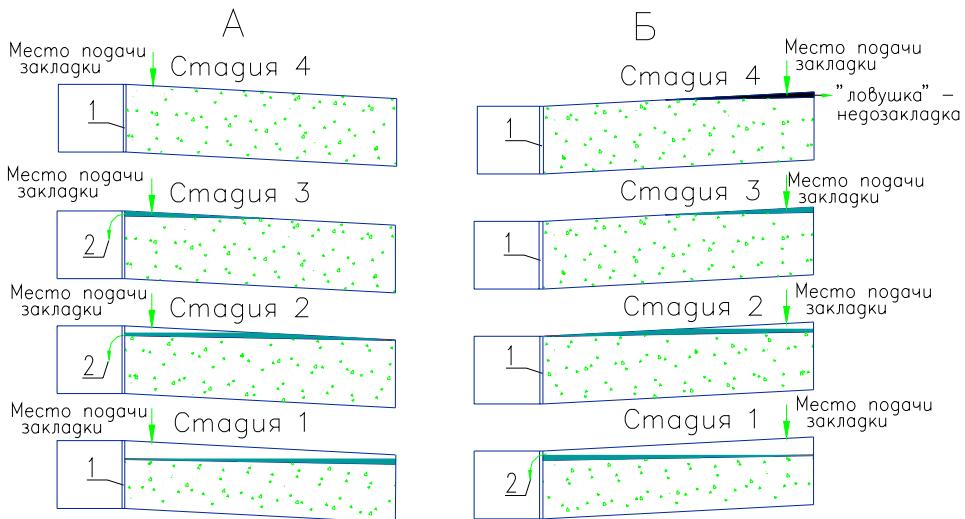


Рис. 4. Схема минимизации недозакладки при формировании закладочного массива: А) от перемычки; Б) на перемычку; 1 - перемычка; 2 - вода от закладочного массива

компрессионным свойствам и монолитности искусственных массивов. Требования к компрессионным свойствам закладки предопределяет и нисходящий порядок отработки субвертикальных кимберлитовых тел, характеризующихся незначительными параметрами в плане (90x60 ч 300x300 м), но протяженными параметрами по глубине (глубина отработки $\sim 1000 \div 1400$ м). Формируемые закладочные массивы должны характеризоваться жесткостью с целью минимизации сдвижения (оседания) искусственной кровли.

Известно [2, 3], что жесткость и монолитность закладочного массива возрастают с уменьшением его пустотности. Пустотность многослойного закладочного массива – суммарный объем всех пустот, включая поры, трещины и полости. С целью минимизации пустотности многослойного закладочного массива, как единого элемента, целесообразно соблюдать определенную технологию формирования каждого составляющего элемента массива, рис.4.

При формировании закладочных массивов «от перемычки», рис. 4 (А), вода, выделяющаяся из закладочного массива, выдавливается смесью из выработанного пространства через фильтрующую перемычку. При формировании массивов «на перемычку», последняя перекрывается смесью задолго до окончания закладочных работ в выработке, и вода оказывается в «ловушке» в верхней ее части, рис.4 (Б, стадия 4). В последнем случае вода из «ловушки» постепенно фильтрует через горный массив и (или) размывает соленасыщенные вмещающие породы. В результате в выработке образуются: полость – недозакладка и полость от нарушения адгезии закладочного массива с вмещающими породами. Образующиеся полости частично погашаются при формировании смежных в плане закладочных массивов. Но в заходках последней очереди их ликвидировать не удается.

С целью минимизации пустотности многослойного закладочного массива, как единого элемента, целесообразно

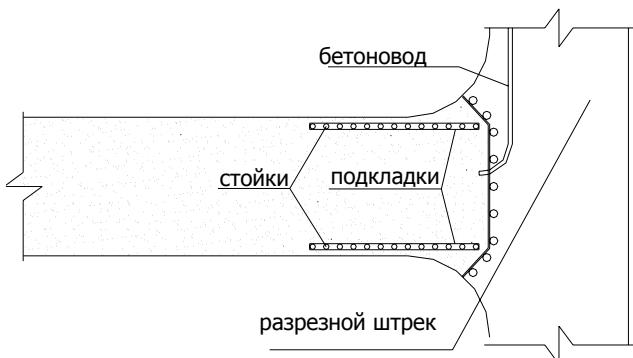


Рис. 5. Поддержание искусственной кровли при недозакладке очистных заходок у разрезного штрека

подавать твердеющие смеси в выработки «от перемычки», причем порционно: 1- непрерывно, до окончания возведения несущего слоя; 2- формирование остальной части массива; 3- дозакладка заходки. Перерыв в подаче порций закладки – не менее 6 часов. При этом порционная подача закладочных смесей в выработанное пространство минимизирует недозакладку, обусловленную усадкой закладочного массива.

Как показывает практика формирования закладочных массивов на руднике «Айхал», недозакладка при реализации данной схемы визуально не фиксируется, т.е. минимальна. В качестве дополнительного средства снижения негативного влияния недозакладки на вертикальные смещения искусственного массива применяется техническое решение, разработанное институтом ВНИИЦветмет. Суть решения - в районе подачи закладки в выработку искусственная кровля поддерживается с помощью стоек, устанавливаемых на почву несущего слоя закладки (рис. 5).

Известно, что наряду с жесткостью закладочные массивы должны характеризоваться податливостью. Следовательно, требуется расширенное

изучение физико-механических свойств закладки для более продуктивного ее использования, как средства управления горным давлением.

В период 2005-2007 гг. совместно с ВНИМИ выполнены специальные исследования по расширенному изучению физико-механических свойств составов закладки, разработанных для алмазодобывающих рудников Якутии, рис. 6 и различающихся: видом вяжущего, заполнителя, фракционным составом заполнителя; содержанием вяжущего, воды, добавки.

Проведены испытания образцов закладки и определены следующие физико-механические свойства:

$\sigma_{ск}$ – предел прочности закладки при одноосном сжатии, МПа; σ_i – предел прочности при изгибе, МПа; σ_p – предел прочности при растяжении, МПа; σ_∞ – предел длительной прочности при одноосном сжатии, МПа; E_y – модуль упругости, МПа; E_d – модуль деформации, МПа; μ – коэффициент Пуассона; D – модуль спада несущей способности при одноосном сжатии, МПа; $\sigma_{ост}$ – предел остаточной прочности при одноосном сжатии, МПа; C – сцепление, МПа; ϕ – угол внутреннего трения, град.; $C_{ усл}$ – условное сцепление, МПа; $\phi_{ усл}$ – условный угол внутреннего трения, град.; E_k – модуль компрессионной деформации, МПа; A_o – коэффициент сжимаемости, МПа⁻¹.

Анализом физико-механических свойств закладки подтверждено, что они во многом определяются пределом прочности образцов при одноосном сжатии.



Рис. 6. Разработанные составы закладочных смесей для алмазодобывающих рудников Якутии

В частности, имеются сведения, что прочность на растяжение закладки меньше прочности на сжатие в 7-10 раз [2]. Данное соотношение для закладки, разработанной для алмазодобывающих рудников также справедливо, рис. 7, а зависимость «предел прочности при растяжении – предел прочности при одноосном сжатии» наиболее точно аппроксимируется выражением вида:

$$\sigma_p = 0,086 \sigma_{сж} + 0,222 \quad (4)$$

Известно, что существует зависимость между пределами прочности закладки при изгибе и одноосном сжатии, имеющая вид: $\sigma_{из} = 0,4 \sigma_{сж}$ [2]. Обработкой результатов выполненных экспериментов [3] выявлено, что соотношение между данными величинами для исследованной закладки (рис. 8) несколько иное и наиболее точно описывается зависимостью вида:

$$\sigma_{из} = 0,253 \sigma_{сж} + 0,1267 \quad (5)$$

Установлены также закономерности наиболее точно аппроксимирующие взаимосвязи между прочностью и деформационными характеристиками закладки:

- «модуль упругости – предел прочности при одноосном сжатии» (рис. 9)

$$E_y = 1,165 \sigma_{сж} + 1,238 \quad (6)$$

- «модуль деформации – предел прочности при одноосном сжатии», рис. 10):

$$E_d = 1,215 \sigma_{сж} - 0,925 \quad (7)$$

- «модуль компрессионной деформации – предел прочности при одноосном сжатии» (рис. 11):

$$E_{кл} = 0,047 \sigma_{сж} + 0,025 \quad (8)$$

Из приведенных зависимостей (6)-(8) следует, что на деформационные характеристики закладки ее вещественный состав влияет в той мере, в какой он влияет на ее прочностные показатели. Следовательно, управлять деформационными свойствами закладочных массивов возможно теми

средствами, которые наработаны для управления их прочностью. Так, например, для получения на руднике «Мир» жестких закладочных массивов необходимо использовать при производстве закладочных смесей по «мельничной» технологии диабазовые породы фракции 0-40 мм, а не 0-20 мм. Напротив, при снижении класса крупности заполнителя, направляемого в мельницу – увеличивается доля тонкодисперсных фракций в составе закладки, снижается модульность и прочность, т.е. повышается податливость формируемых закладочных массивов.

Известно [2, 3], что деформационные характеристики закладки, установленные на образцах, существенно отличаются от фактических свойств закладочного массива. Незначительным количеством экспериментов выявлено, что модуль упругости, определенный керновым опробованием на месторождении «Интернациональный» ~ на 40 % ниже, чем модуль упругости, выявленный по результатам испытаний образцов закладочных смесей, сформованных в лабораторных условиях. Причем известно, что в реальном массиве физико-механические свойства не постоянны, а зависят, например, от местоположения рассматриваемой точки (в глубине массива, на контуре и т.д.): «на контуре выработки модуль упругости имеет меньшее значение, чем в точках, более удаленных от нее до определенного расстояния. Коэффициент Пуассона наоборот, у контура выработки выше, чем в глубине массива» [3]. Очевидно, что выявленные физико-механические характеристики образцов закладки требуется адаптировать к свойствам закладки в различных частях сформированных искусственных массивов. Коэффициенты адаптации надлежит установить дальнейшими, в т.ч. частью натурными, исследованиями.

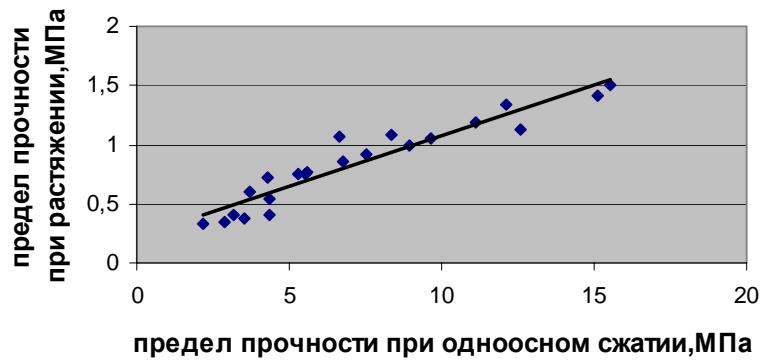


Рис. 7. Зависимость предела прочности закладки на растяжение от предела прочности при одноосном сжатии

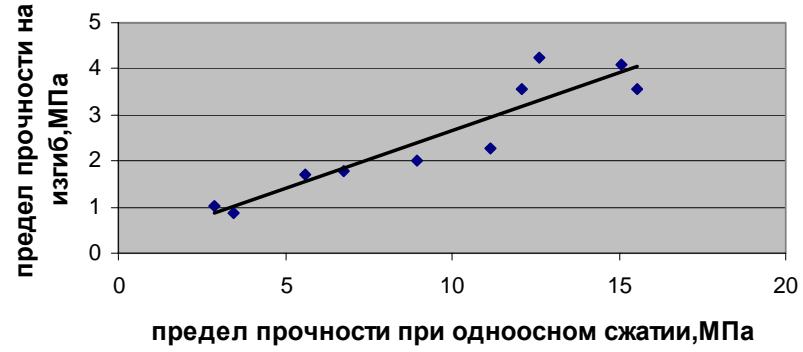


Рис. 8. Зависимость предела прочности закладки на изгиб от предела прочности при одноосном сжатии

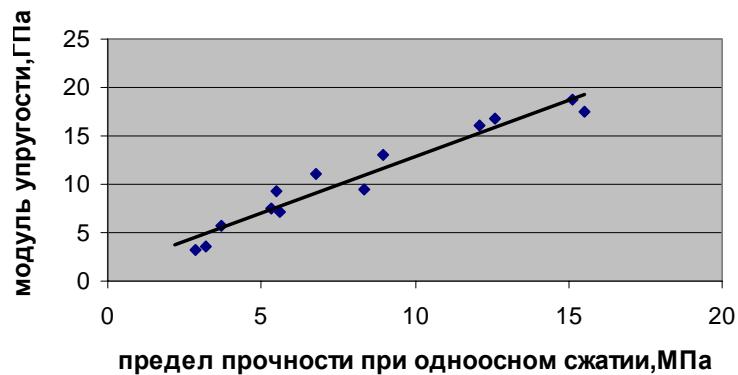


Рис. 9. Зависимость модуля упругости закладки от предела прочности при одноосном сжатии

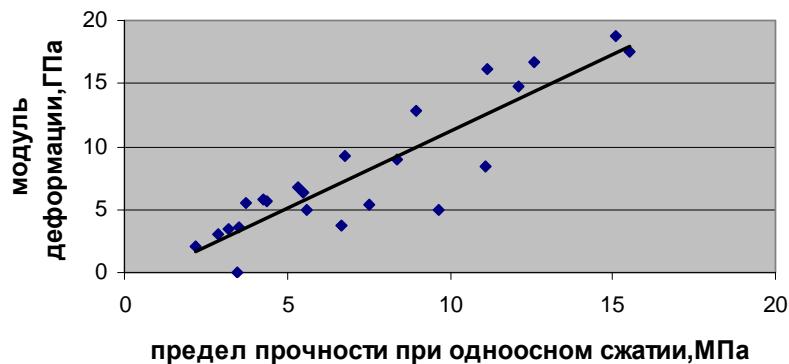


Рис. 10. Зависимость модуля деформации закладки от предела прочности при одноосном сжатии

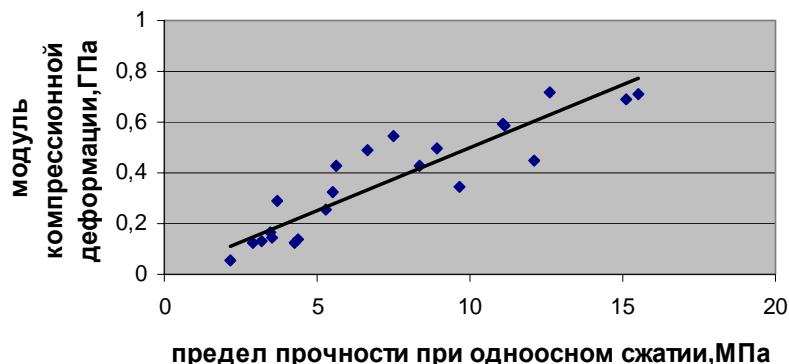


Рис. 11. Зависимость модуля компрессионной деформации от предела прочности при одноосном сжатии

В последние годы предпринята попытка оптимизировать технологию закладочных работ на рудниках АК «АЛРОСА» с позиций геомеханики. Например, в работе ОАО «Галургия» рекомендовано выработки первой очереди формировать более прочной закладкой, чем выработки второй очереди. В работе ВНИМИ отмечено, что наибольшая опасность обрушения, связанная с концентрацией напряжений, возникает в разрезных слоях и при их подработке. Опасность несколько снижается с увеличением мощности (количество слоев) создаваемого искусственного массива, что предопределяет воз-

можность использования менее прочных составов закладки в 4-6, следующих за разрезным слоях.

Однако, имеющиеся выводы и рекомендации со стороны геомехаников – теоретиков пока еще не достаточно выверены, нуждаются в уточнении. Количество и качества исследований по данному направлению явно недостаточно. Целесообразно дальнейшими исследованиями активно развивать данное направление, что в перспективе позволит сократить стоимость закладочных работ и повысить эффективность управления закладкой горным давлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сыркин П.С., Минин В.А., Данилкин М.С., Садохин А.Н. Строительство со-пряжений горных выработок: ОАО «Изда-тельство «Недра» - Москва, 1997.
2. Юн Р.Б., Юн А.Б., Макаров А.Б. Управление горным давлением – М: , 2005.
3. Казикаев Д.М. Геомеханика под-земной разработки руд. – М.: Издательство МГГУ, 2005.- 542 с.
4. Монтиanova A.H. Формирование за-кладочных массивов при разработке алмаз-ных месторождений в криолитозоне. - М.: Горная книга, 2005. – 597 с. **ГИАБ**

Коротко об авторах –

Монтиanova A.H. – доктор технических наук, зав. лабораторией технологий закладки института Якутнипроалмаз;
Ефимов А.И. – кандидат технических наук, главный инженер АК «АЛРОСА»;
Таланцев П.Р. – инженер лаборатории технологий закладки.



НУ НЕ ПОСТАВЯТ МНЕ ПАМЯТНИК В СКВЕРЕ, ГДЕ-НИБУДЬ У НИКИТСКИХ ВОРОТ

B. Высоцкий

Тому, кто увлечен делом, знаки отличия не очень нужны. Работа или учеба заполняют его жизнь. Но наблюдающие за Мастером со стороны любят возносить или низвергать активных людей, теряя при этом чувство меры. Средний россиянин не признает нейтрального тона рассуждений о государственных деятелях, писателях, художниках, композиторах. И особенно о деятелях кино, эстрады и балета. К тому же меняет свое мнение со скоростью маятника.

Зачем было сначала убивать царскую семью, адмирала Колчака, маршалов Гражданской войны, высыпать и мучить академика Сахарова, а потом с шумом их реабилитировать, называть их именами улицы и города. Помню был такой стих:

Что за праздник у ребят?

Ликует пионерия.

Это в гости к нам пришел

Лаврентий Пальч Берия.

А через несколько лет пластинку сменили:

Лаврентий Пальч Берия

Потерял доверие,

А товарищ Маленков

Надавал ему пинков.

После этого поиздевались над самим Маленковым. Пройдет еще несколько лет, и новыми героями станут Гайдар, Чубайс, Ельцин, может быть, и Ходорковский. Правда, страсти по реабилитации убитых выглядят фарсом, а с живыми надо бы поделикатнее. Только бизнесменов оставьте в покое, они и без почестей проживут.

Из книги Л.Х. Гитиса «Верхом на тигре». М.: Горная книга, 2009. С. 249