

ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.281.76

ОБОСНОВАНИЕ КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ФРИКЦИОННЫМИ АНКЕРАМИ В ЗАКЛАДОЧНОМ МАССИВЕ

Ю. Н. Шапошник¹, А. И. Конурин¹, А. А. Неверов¹,
С. А. Неверов¹, О. М. Усольцева¹, С. Н. Шапошник²

¹Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
E-mail: shaposhnikyury@mail.ru, Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия

²Восточно-Казахстанский технический университет,
ул. Серикбаева, 19, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Рассмотрен вопрос выбора рационального типа крепи и ее параметров в горных выработках, пройденных в закладочном массиве. Проанализирована существующая технология крепления выработок в закладке на Артемьевской и Орловской шахтах. Проведены лабораторные испытания деформационно-прочностных свойств образцов закладки. Представлены результаты численного моделирования методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния рудного и закладочного массивов вокруг горных выработок с оценкой их устойчивости. Приведены вероятные зоны разрушений закладочного и рудного массивов при слоевой нисходящей системе разработки. Обоснованы рациональные параметры крепления выработок в закладочном массиве I, II, III категории устойчивости. Дана оценка опытно-промышленным испытаниям несущей способности фрикционных анкеров в закладочном массиве. Показана сравнительная экономическая эффективность установки металлической рамной крепи и фрикционных анкеров в закладочном массиве.

Выработка, заходка, слой, закладочный массив, крепление, категория устойчивости закладочного массива, испытания, деформационно-прочностные свойства, моделирование, разрушение, прочность, устойчивость, фрикционные анкера, эффективность

DOI: 10.15372/FTPRPI20210507

На подземных рудниках при выемке запасов богатых руд системами разработки с твердующей закладкой в определенных условиях возникает необходимость проходки горных выработок по закладочному массиву (ЗМ). Учитывая условия выемки и срок службы выработок, крепление их до недавнего времени осуществлялось металлической рамной крепью из спецпрофиля СВП. Увеличение производительности выемки и сокращение времени отработки очистных заходов позволили использовать в качестве основного крепления фрикционные анкера с армокаркасами.

Переход на анкерные крепи обуславливается более низкой их стоимостью, меньшими трудозатратами на установку штанг и обеспечением безопасных условий труда горнорабочих. Однако на практике имеются случаи обрушения закладочного массива при проходке и эксплуатации очистных выработок. Пока еще не в полной мере исследованы и требуют дополнительного изучения деформационно-прочностные свойства закладочного массива, в котором кровля и борта очистных слоев закрепляются фрикционными анкерами.

Цель настоящей работы — разработка новых и уточнение действующих схем и типов крепления выработок, пройденных в закладочном массиве.

ОПЫТ КРЕПЛЕНИЯ ВЫРАБОТОК НА АРТЕМЬЕВСКОЙ И ОРЛОВСКОЙ ШАХТАХ

Проблема выбора типа крепи для выработок, пройденных в закладочном массиве, актуальна для ряда рудников, ведущих отработку руд системами разработки с закладкой выработанного пространства [1]. Натурные наблюдения, выполненные на базе Яковлевского рудника, показали, что активно применяемая для крепления горных выработок рамная крепь в ряде случаев не имеет плотного контакта с массивом и не выполняет функцию предохранения от локальных вывалов, отслоений и просыпаний руды, что явилось причиной создания аварийных ситуаций при проходческих и очистных работах [2–4]. Применение металлической рамной крепи имеет следующие недостатки: высокая стоимость и металлоемкость; большая трудоемкость крепления и забутовки закрепленного пространства; низкая скорость проведения выработок и сложность обеспечения безопасных условий труда горнорабочих. Для повышения эффективности процесса крепления в выработках Яковлевского рудника рекомендованы анкерные крепи, в том числе фрикционно-трубчатые, имеющие ряд положительных качеств: повышение сохранности выработки, пройденной в закладочном массиве, за счет совместной работы системы “крепь – массив”; дополнительное упрочнение искусственного массива; исключение образования пустот между крепью и обнажением ЗМ; уменьшение металлоемкости и снижение стоимости крепления выработок.

Для отработки Артемьевского и Орловского месторождений с учетом горнотехнических и горно-геологических условий приняты слоевые и поэтажно-камерные системы разработки с твердеющей закладкой. Как отмечено в [5, 6], выработанное пространство закладывается твердеющими смесями различного состава с формированием разнопрочного по высоте искусственного закладочного массива. В его конструктиве выделяют следующие слои:

- несущий — часть ЗМ, для которого устанавливается нормативная прочность по условию устойчивости горизонтальных обнажений;
- упрочненный — часть ЗМ, образованного для повышения устойчивости горизонтальных и вертикальных обнажений и уменьшения сроков набора нормативной прочности и времени схватывания;
- пониженной прочности — часть ЗМ выше несущего и упрочненного слоев, служащая для погашения выработанного пространства.

В нормативном документе [7] для снижения сейсмического действия взрывов на обнажении закладочного массива в кровле рекомендуется на почве выработки оставлять слой отбитой руды толщиной 0.3–0.5 м. Такой слой отбитой руды на почве очистных выработок перед их закладкой мощностью более 0.1 м позволяет снизить разубоживание руды закладочным материалом при проведении взрывных работ [8].

На рассматриваемых горнодобывающих предприятиях крепление очистных заходок в зависимости от категории устойчивости ЗМ принималось в соответствии с требованиями [9, 10]. Категория устойчивости кровли, представленной ЗМ, при нисходящей слоевой системе разработки определялась по данным табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Категория устойчивости кровли закладочного массива при ширине обнажения кровли 4 м, высоте несущего слоя 1.0–1.5 м и выемке заходок в три очереди

Категория устойчивости массива	Высота несущего слоя, м	Коэффициент запаса прочности	Прочность закладочного массива, МПа	
			Без армирования	С армированием
I — устойчивая	1.0	> 5	Не менее 3.7	Не менее 2.5
	1.2		Не менее 3.1	Не менее 2.1
	1.5		Не менее 2.5	Не менее 1.7
II — средней устойчивости	1.0	3–5	От 2.2 до 3.7	От 1.5 до 2.5
	1.2		От 1.9 до 3.1	От 1.3 до 2.1
	1.5		От 1.5 до 2.5	От 1.0 до 1.7
III — неустойчивая	1.0	< 3	Не менее 2.2	Не менее 1.5
	1.2		Не менее 1.9	Не менее 1.5
	1.5		Не менее 1.5	Не менее 1.5

Коэффициент запаса прочности определяется по формуле

$$K_z = \frac{\sigma_f}{\sigma_n},$$

σ_n , σ_f — необходимая прочность ЗМ без учета запаса прочности и фактическая прочность закладочного массива в несущем слое, МПа.

Выбор типа крепления нарезных и очистных выработок, кровля которых представлена закладкой, и заходок, пройденных в ЗМ, в зависимости от категории его устойчивости осуществлялся по табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Тип крепления нарезных и очистных выработок, кровля которых представлена закладкой, и выработок, пройденных в закладочном массиве

Категория устойчивости массива	Тип крепи, отставание крепи от забоя
I	Без дополнительной крепи
II	Без дополнительной крепи с организацией контроля за состоянием кровли — сигнальные деревянные стойки. Параметры сигнальных стоек: диаметр 180–200 мм; частота установки 2–3 м
III	Установка металлической рамной крепи из СВП. Параметры крепи принимаются по [7, 8] для категории устойчивости массива — неустойчивая

В целях безопасной эксплуатации выработок в закладочном массиве разработана система оценки его устойчивости. Для учета влияющих факторов до вскрытия искусственного массива выработкой использовался рейтинг устойчивости ЗМ:

$$Q_z = 100 I_{sf} I_{sq} I_{ex} I_{sr},$$

где I_{sf} — индекс, учитывающий коэффициент запаса прочности K_z ; I_{sq} — индекс качества выполнения закладочных работ; I_{ex} — индекс, учитывающий влияние буровзрывных работ; I_{sr} — индекс, учитывающий влияние напряженно-деформированного состояния ЗМ.

В [7] коэффициент запаса прочности рекомендуется принимать следующим: при наличии в очистной выработке горнорабочих — 3; для “безлюдной выемки” — 2; в тяжелых условиях работы нижнего слоя ЗМ — 5–10. В существующем технологическом регламенте по выбору типов и параметров крепей и технологии их возведения [9, 10] при определении категории устойчивости ЗМ не учтены следующие факторы:

- стадия отработки, в том числе порядок выемки очистных заходок в слое;
- время твердения искусственного массива;
- слоистость сформированного ЗМ;
- постоянный недозаклад очистных заходок;
- пригрузка от вышележащих слоев закладки при системе горизонтальных слоев в нисходящем порядке и др.

При выборе типа и параметров крепей в расчет принимаются обрабатываемая заходка и смежные с ней заложенные слои или рудный массив. При этом не выявляется и не учитывается общая картина распределения напряжений, например в очистном блоке.

Используемая на рудниках методика определения категории устойчивости ЗМ по рейтингу Q_z с применением дополнительных уточняющих коэффициентов не позволяет точно выявлять устойчивость искусственного массива вокруг очистной заходки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ЗАКЛАДОЧНОГО МАССИВА

Для изучения деформационно-прочностных свойств сформированного закладочного массива на Артемьевской и Орловской шахтах отобраны штучные и керновые образцы закладки из разных его слоев. Керновые образцы отбирались с помощью аккумуляторного перфоратора и буровой коронки с удлинителем для производства отбора проб. Схема отбора образцов ЗМ для проведения лабораторных исследований показана на рис. 1.

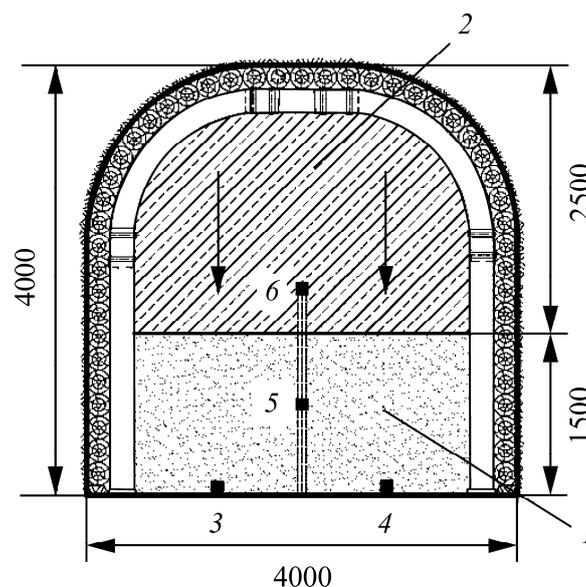


Рис. 1. Схема отбора образцов закладочного массива для проведения лабораторных исследований: 1 — несущий слой; 2 — слой дозалива; 3, 4 — точки отбора образцов в слое рудной мелочи, пропитанной закладочной смесью; 5 — точка отбора образца в несущем слое на глубине 1 м; 6 — точка отбора образца в слое дозалива на глубине 1.5–1.8 м

Наличие разломов в массиве горных пород негативно влияет на прочность сформированного ЗМ. Напряженные и зажатые участки разломов препятствуют истечению воды из закладочной смеси, в связи с чем в ЗМ формируются места с высокой плотностью и минимальной пористостью. Ненагруженные участки разломов и зоны дробления служат местами оттока воды из ЗМ, поэтому в нем образуются пористые и ослабленные области [11].

При формировании дозалива расход вяжущего составляет 100–150 кг/м³, тогда как для несущего слоя он достигает 250 кг/м³. Кроме того, в процессе гидратации твердеющей закладки из участка дозалива по трещинам в ЗМ цементное молочко просачивается в несущий слой, укрепляя его и ослабляя вышележащий. Результаты лабораторных испытаний ЗМ приведены в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. Деформационно-прочностные характеристики образцов закладочного массива на Артемьевской и Орловской шахтах

Образец	Предел прочности (растяжение), МПа	Предел прочности (сжатие), МПа	Модуль Юнга (сжатие), ГПа	Коэффициент Пуассона (сжатие)	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град
Артемьевская шахта						
1*	1.1	5.3	0.690	0.136	1.278	42.3
2*	1.1	14.2	2.080	0.111	1.995	59.8
3*	1.1	8.3	1.715	0.164	1.606	51.9
4*	0.9	7.0	0.693	0.116	1.306	51.9
5*	0.2	2.4	0.086	0.239	0.351	59.3
6*	0.5	2.2	0.366	0.183	0.545	39.8
Орловская шахта						
1**	0.1	1.1	0.025	0.205	0.168	57.6
2**	1.8	7.5	1.151	0.179	1.977	39.3
3**	2.8	21.6	2.575	0.181	4.136	52.4
4**	1.6	12.5	1.938	0.155	2.374	52.6
5**	2.5	23.3	3.986	0.159	3.986	55.4
6**	0.9	6.1	0.447	0.174	1.245	49.7
7**	0.8	10.2	1.523	0.189	1.442	59.7
8**	0.7	6.3	0.548	0.160	1.085	54.5
9**	1.4	8.8	0.912	0.168	1.881	48.4
10**	0.9	13.4	1.877	0.158	1.707	61.6
11**	1.8	9.3	1.921	0.178	2.178	44.0

*1 — из разрезного штрека № 1 отм. – 163 м (категория устойчивости I); 2 — то же; 3 — из разрезного штрека № 2 отм. – 167 м (категория устойчивости II); 4 — то же; 5 — из разрезного штрека № 3 отм. – 164 м (категория устойчивости III); 6 — то же;

**1 — из рудной мелочи на почве вентиляционного штрека № 6, пропитанной закладочной смесью; 2 — из слоевой заходки № 81 горизонта 13 (категория устойчивости I); 3 — то же; 4 — из рудной мелочи на почве слоевой заходки № 81, пропитанной закладочной смесью; 5 — из разрезного штрека № 6; 6–8 — то же (категория устойчивости III); 9–11 — из разрезного штрека № 18 горизонта 13 (категория устойчивости II).

Часть образцов рудной мелочи, пропитанных закладочной смесью, находилась в жидкопластичном состоянии и была непригодна для проведения лабораторных испытаний. Из табл. 3 видно, что качество закладочных работ на Орловской шахте гораздо выше, чем на Артемьевской, что подтверждается результатами визуального обследования выработок, пройденных в закладочном массиве.

Паспорта прочности закладочного массива на Артемьевской и Орловской шахтах категории устойчивости I, построенные на основе лабораторных испытаний, представлены на рис. 2.

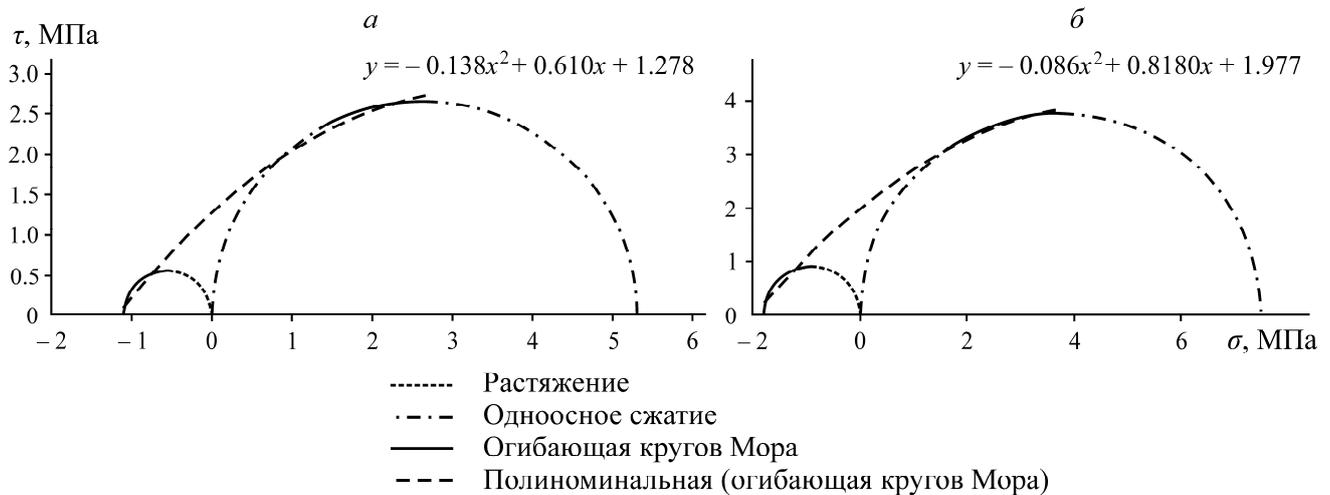


Рис. 2. Паспорт прочности пробы № 1 Артемьевской шахты (а): сцепление $C_0 = 1.278$ МПа, угол внутреннего трения $\varphi = 42.3^\circ$ и пробы № 2 Орловской шахты (б): сцепление $C_0 = 1.977$ МПа, угол внутреннего трения $\varphi = 39.3^\circ$

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ РУДНОГО И ЗАКЛАДОЧНОГО МАССИВОВ НА ОСНОВЕ ИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ НИСХОДЯЩЕЙ СЛОЕВОЙ ВЫЕМКЕ

Для оценки состояния очистных заходок в зависимости от категории устойчивости закладочного массива применительно к слоевой нисходящей отработке пологого участка Орловского месторождения на глубине свыше 800 м выполнено численное моделирование с использованием для решения краевой задачи теории упругости метода конечных элементов [12] в трехмерной постановке с помощью лицензионного программного обеспечения ANSYS. Выбор математической модели сплошной упругой среды, характеризующей ее поведение под нагрузкой, основан на деформационных свойствах породного и закладочного массивов (полной диаграммы деформирования), согласно которым их разрушение происходит хрупко без видимых пластических деформаций.

Обоснование граничных условий краевой задачи базируется на результатах ранее выполненных исследований по определению параметров исходного природного поля напряжений на рассматриваемых месторождениях [13, 14].

В пределах породовмещающего массива Артемьевской шахты установлено:

- исследуемое поле напряжений прогнозируется не природным, а близким к нему (частично наведенным);
- максимальные горизонтальные тектонические напряжения σ_x , действующие вкrest простираия рудных зон, превышают вертикальную гравитационную составляющую γH в 1.16 раза;
- вертикальные гравитационные напряжения γH (от веса вышележащих пород) промежуточные;
- горизонтальные напряжения σ_z , действующие по простираию рудной зоны, минимальны по величине с коэффициентом бокового давления 0.95.

Аналогично для условий Орловского месторождения параметры природного поля напряжений характеризуются следующими соотношениями: $\sigma_x : \sigma_y : \sigma_z = 1.12 : 1.00 : 0.98$.

В связи с этим граничные условия краевой задачи приняты в соответствии с гидростатическим (равнокомпонентным) типом геомеханических условий разработки, которые представляются как сжимающие усилия и ограничения нормальных перемещений на границах расчетной области и хорошо описываются гипотезой Гейма.

Для учета веса горных пород и закладочного массива задавалась объемная сила γg . На границах контакта разнородных пород выполнялось условие жесткого сцепления. Контуры открытых обнажений (выработок) свободны от внешних нагрузок ($\sigma_n = \tau_n = 0$). Границы модели выбраны согласно принципу Сен-Венана (отсутствует влияние области отработки на внешние границы модели).

Расчеты выполнялись в соответствии с установленной литологической моделью массива Орловского месторождения и его деформационно-прочностными свойствами. В задачах предполагалось, что закладка несет определенную нагрузку и имеет сцепление с рудным телом и вмещающими породами. Последнее позволило принять ее низко модульным упругим материалом (см. табл. 3), обеспечивающим сплошность очистного пространства с окружающим массивом. В первом приближении можно считать, что отсутствуют какие-либо разрывные смещения по контактам закладки и вмещающих пород.

В качестве объекта исследования принята система разработки горизонтальных слоев с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями с нисходящей выемкой с учетом стадийности работ (рис. 3).

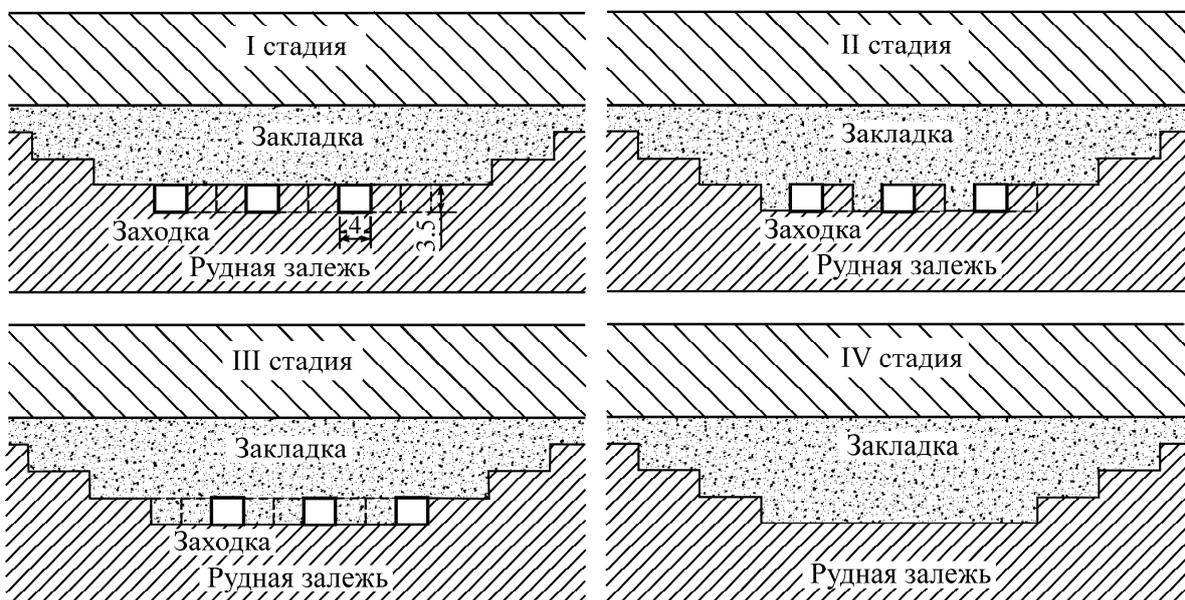


Рис. 3. Стадийность работ в очистном слое

В качестве критериев оценки потери устойчивости массива пород и ЗМ, отражающих их напряженно-деформированное состояние, использовались:

- 1) условие Кулона – Мора в главных максимальных и минимальных напряжениях [13 – 16]: состояние устойчивости —

$$2C \cos \phi + \sigma_{\min} (1 + \sin \phi) \geq \sigma_{\max} (1 - \sin \phi)$$

или

$$2C \cos \phi + \sigma_{\max} (\sin \phi - 1) \geq -\sigma_{\min} (1 + \sin \phi).$$

Если учесть, что

$$\frac{2C \cos \phi}{1 - \sin \phi} = \sigma_c,$$

то критерий устойчивости пород примет вид

$$\sigma_c + \frac{\sigma_{\min} (1 + \sin \phi)}{1 - \sin \phi} \geq \sigma_{\max},$$

где σ_{\max} , σ_{\min} — максимальные и минимальные главные напряжения, полученные из упругого решения, МПа; C , ϕ , σ_c — соответственно сцепление пород и закладочного массива, угол внутреннего трения пород и закладочного массива, предел прочности пород и закладочного массива на сжатие;

2) наибольшие растягивающие напряжения:

$$|\sigma_{\min}| \leq K_c \sigma_p,$$

здесь σ_p — предел прочности породы и ЗМ на растяжение, МПа; K_c — коэффициент структурного ослабления для породного массива (в расчетах принята средняя степень нарушенности $K_c = 0.3$).

На рис. 4 приведены вероятные зоны разрушений закладочного и рудного массивов вокруг выработок (отрабатываемых заходок).

Из полученных результатов следует, что категория устойчивости закладки оказывает влияние на зоны концентрации и разгрузки напряжений как в рудном, так и в искусственном массиве. Установлено, что чем выше жесткость (модульность) закладочного массива, тем большую нагрузку он воспринимает и, соответственно, напряжения в нем являются повышенными. Использование менее прочной закладки обуславливает, во-первых, зарождение в ней растягивающих усилий и, во-вторых, формирование более высокого уровня напряженно-деформированного состояния в окружающей закладку массиве горных пород и в особенности повышенной концентрации напряжений на краевых участках зоны отработки, что свидетельствует о значительном опорном давлении вблизи них. Отметим, что действующие главные напряжения в более прочном закладочном массиве являются сжимающими, что положительно сказывается на его устойчивости. При всестороннем сжатии закладочный массив сохраняет устойчивое состояние при величине сжимающих напряжений в 1.8–2.5 раза больше, чем при одноосном.

В целом полученные параметры напряженно-деформированного состояния и устойчивости закладочного, а также вмещающего породного массивов вокруг очистной выработки (заходки) прямоугольной формы с учетом стадийности работ свидетельствуют о необходимости принятия мер безопасности в виде использования различного рода крепей. Обусловлено это тем, что в закладочном массиве в бортах и кровле выработки действующие напряжения превышают прочностные характеристики закладки.

Так, состояние очистной заходки, имеющей контакт с закладкой со стороны бортов и кровли (III стадия), характеризуется следующим.

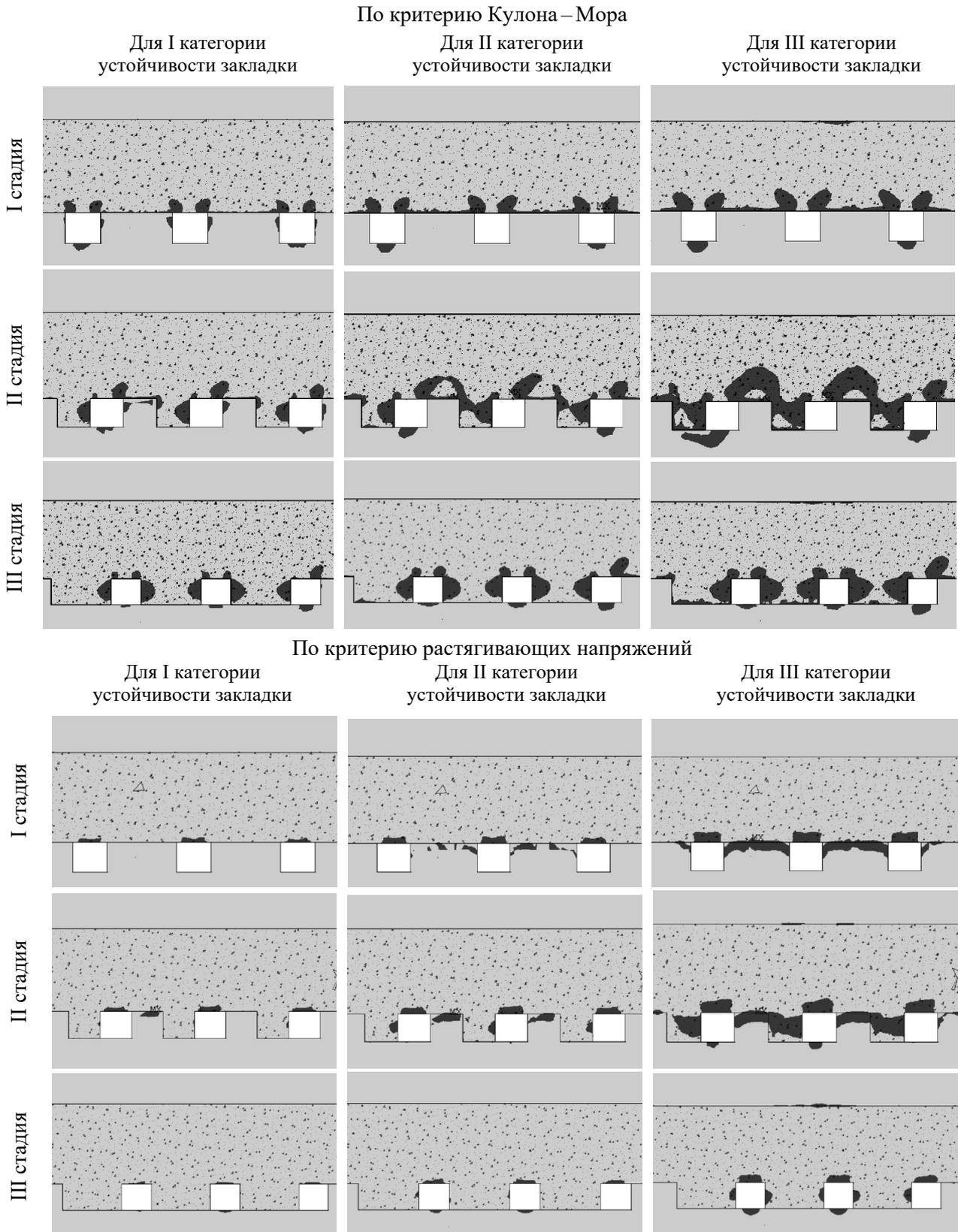


Рис. 4. Вероятные зоны разрушений закладочного и рудного массивов вокруг обрабатываемых заходов для разных стадий ведения очистных работ и категорий устойчивости закладочного массива при слоевой нисходящей системе разработки (коэффициент структурного ослабления породного массива $K_c = 0.3$)

Для I категории устойчивости закладки:

— формированием в бортах выработки со стороны закладочного массива и угловых участках кровли зон возможных разрушений закладки;

— отсутствием участков потерь устойчивости закладочного массива за счет растягивающих усилий.

Для II категории устойчивости закладки:

— увеличением размеров зон возможных разрушений закладки и рудного массива в сопоставлении с I категорией устойчивости закладочного массива в среднем на 35–50 %;

— наличием зарождений незначительных участков обрушений кровли закладочного массива за счет растягивающих усилий.

Для III категории устойчивости закладки:

— зоны возможных разрушений закладки в выработке в бортах и угловых участках со стороны кровли в сравнении с I категорией устойчивости закладочного массива возрастают в среднем на 60–80 %;

— усиленным отслаиванием закладки в кровле заходки за счет формирования трещин отрыва.

Применение при нисходящей слоевой выемке закладочного массива I категории устойчивости на глубоких горизонтах позволяет обеспечить безопасные условия ведения горных работ в заходках, а также существенно снизить опорное давление на краевых участках (флангах) зоны отработки. Однако применительно к условиям использования закладки II и III категорий устойчивости в заходках требуется принятие дополнительных мероприятий по их креплению, например широко зарекомендовавшей себя анкерной крепи.

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ АНКЕРОВ В ЗАКЛАДОЧНОМ МАССИВЕ

На основании проведенных расчетов [17] установлены и рекомендованы для проведения опытно-промышленных испытаний по креплению выработок, кровля которых представлена закладочным массивом I, II, III категорий устойчивости, следующие параметры крепи:

- полная длина анкера в кровле и по бортам — 2.2 м;
- количество анкеров в ряду в кровле — 7 шт.;
- расстояние между анкерами в ряду в кровле — 0.95 м;
- расстояние между рядами анкеров — 0.95 м (квадратная сетка установки анкеров);
- количество анкеров в борту — 4 шт. (расстояние между анкерами 0.93 м);
- расстояние от почвы выработки до анкера в ее борту — 0.8 м;
- сигнальные стойки (деревянные) диаметром 180–200 мм, частота установки стоек 2–3 м;
- металлическая сетка диаметром проволоки 8 мм и ячейкой 100×100 мм или армокаркасы.

В результате математического моделирования методом конечных элементов в программном комплексе Rocscience установлено, что анкерное крепление с длиной штанг 2.4 м обеспечивает необходимую несущую способность при нормативной прочности закладки 1.7–4.0 МПа. Следует отметить, что на отдельных участках поверхности выработки (на контактах слоев закладки, породы и закладки, между анкерами в кровле) коэффициент запаса прочности колеблется от 1.0 до 1.3, что может приводить к локальным разрушениям, выражающимся в повышенной трещиноватости и вывалах без общей потери устойчивости закладочного массива. В связи с этим рекомендуется одновременно с анкерами применять металлическую сетку или армокаркасы.

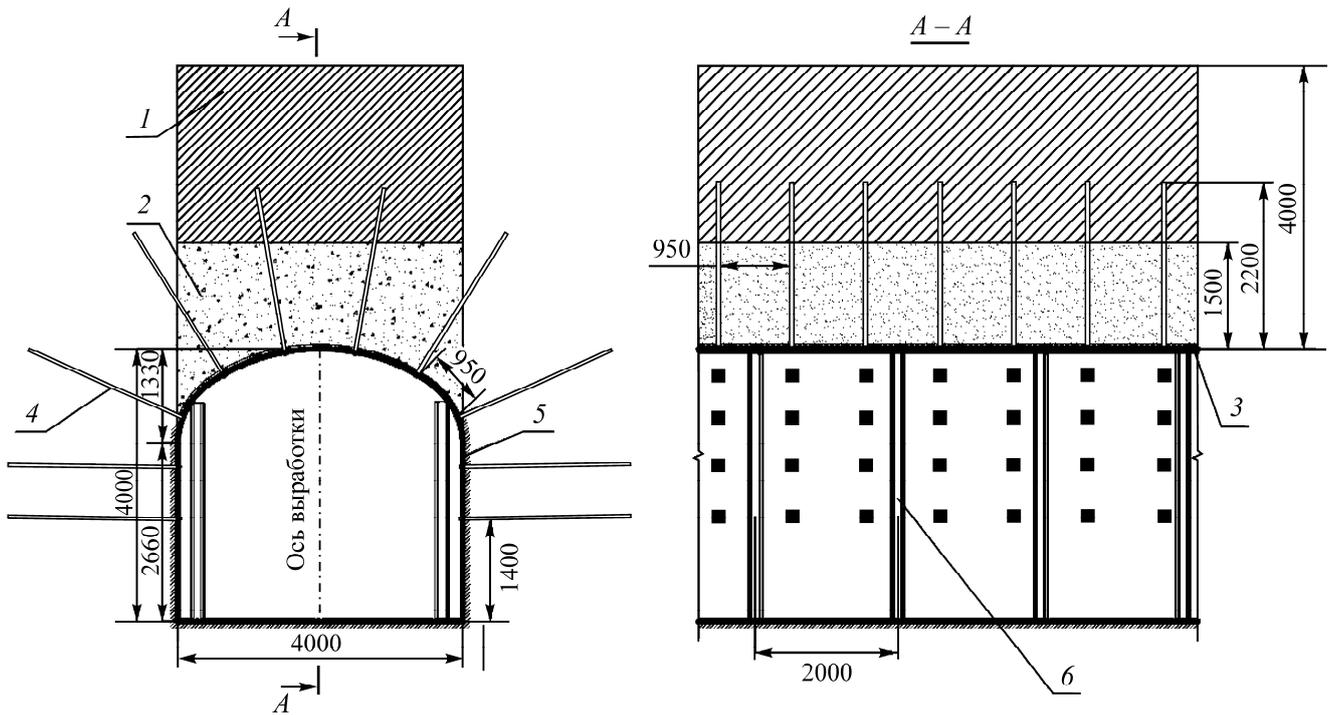


Рис. 5. Типовой паспорт крепления выработки, кровля которой представлена закладочным массивом: 1 — слой дозалива $h=2.5$ м прочностью 1.5 МПа; 2 — несущий слой $h=1.5$ м прочностью 4.0 МПа; 3 — слой рудной мелочи $h=0.1$ м, пропитанный закладочной смесью; 4 — фрикционные анкеры длиной 2.2 м; 5 — сетка с диаметром проволоки 8 мм, ячейка 9×9 или 10×10 мм; 6 — сигнальные стойки диаметром 200 мм

Согласно требованиям международного стандарта [18], минимальная несущая способность анкеров с фрикционным закреплением в породах крепостью $f \geq 4$ должна быть не менее 50 кН (5 т). Проведенные испытания анкеров на несущую способность в условиях ЗМ на Орловской шахте подтверждают достижение минимально допустимой несущей способности фрикционных анкеров со значениями 8–10 т (рис. 5, табл. 5).

ТАБЛИЦА 5. Несущая способность фрикционных анкеров, установленных в закладочном массиве на Орловской шахте

Номер анкера	Место установки анкеров	Нагрузка на анкер, т	Смещение анкера в шпуре, мм
1	Разрезной штрек № 10, слой 7, блок 1, горизонт 13, кровля которого представлена ЗМ разрезного орта № 2, слоя 6 (III категория устойчивости кровли ЗМ)	6.8	5, повторно прикладываемая нагрузка после смещения анкера составила ту же величину
2	Разрезной штрек № 10, слой 7, блок 1, горизонт 13, кровля которого представлена ЗМ разрезного штрека № 10, слоя 6 (I категория устойчивости кровли ЗМ)	8.3	—
3	Разрезной штрек № 10, слой 7, блок 1, горизонт 13, кровля которого представлена ЗМ разрезного штрека № 9, слоя 6 (II категория устойчивости кровли ЗМ)	7.6	—

Аналогичные результаты определения несущей способности фрикционных анкеров в закладочном массиве с помощью штанговывергивателя на Артемьевской шахте характеризуются следующим. В кровлю заезда в камеру № 138 на отметке –308 м, представленную ЗМ категории устойчивости III (прочность на одноосное сжатие в возрасте 90 сут — 2.2 МПа), не удалось установить анкеры. Фрикционные анкеры досылались в обуренный шпур, однако не раскрепились в нем. Диаметр шпура и анкера обосновывались паспортом крепления и технической спецификацией: анкера — 48 мм, шпура — 45 мм.

Закрепление фрикционного анкера осуществляется за счет упругих свойств металла путем установки его в шпур меньшего диаметра, чем диаметр штанги. Это создает передачу усилия от тела анкера на стенки шпура. Причинами того, что анкеры не раскрепились в шпурах, как показали визуальные обследования, явились нарушения рецептуры закладочной смеси и прочности закладочного массива, а также низкое качество самих фрикционных анкеров. В дальнейшем рекомендовано провести исследования в этом направлении и определить минимальное значение прочности закладочного массива, при котором фрикционный анкер будет распирается в шпуре (в зависимости от компонентного состава закладки и характеристик ее материалов). Кроме того, в обнажениях ЗМ III категории устойчивости отмечено выволообразование.

В буровом штреке камеры 152, кровля по северной стороне которого представлена ЗМ разрезного орта № 1 (категория устойчивости II) блока 28, горизонта 12, отм. –328 м, в несущий армированный слой установлены три фрикционных анкера. На основании лабораторных испытаний среднее значение предела прочности закладки на одноосное сжатие составило 3.37 МПа.

Несущая способность фрикционных анкеров в ЗМ бурового штрека камеры 152 составила 20–60 кН. Проведенные ранее специалистами шахты испытания штанг на несущую способность в условиях рудопородного массива подтверждают достижение минимально допустимой несущей способности фрикционных анкеров со значениями 48–76 кН.

Таким образом, крепление выработок на Артемьевской шахте, кровля которых представлена на ЗМ, рекомендуется для закладочных массивов I и II категорий устойчивости. Для ЗМ III категории устойчивости (при существующей технологии приготовления закладочной смеси) крепление выработок фрикционной крепью недопустимо.

Крепление выработок на Орловской шахте с искусственной кровлей рекомендуется для ЗМ I, II и III категорий устойчивости. Для крепления выработок фрикционными анкерами в ЗМ III категории устойчивости должно учитываться и выполняться следующее:

- увеличение интенсивности отработки очистных заходов;
- систематические работы по установлению напряженно-деформированного состояния рудного и закладочного массивов вокруг горных выработок и контроль конвергенции их обнажений методами инклинометрии, а также с помощью наблюдательных станций.

СРАВНЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УСТАНОВКИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РАМНОЙ КРЕПИ И ФРИКЦИОННЫХ АНКЕРОВ В ЗАКЛАДОЧНОМ МАССИВЕ

На основе проведенных на Орловской шахте хронометражных наблюдений время на монтаж двух рам СВП-22 (расстояние между рамами 1 м) составляет 249 мин; время на установку двух рядов фрикционных анкеров длиной 2.2 м и диаметром 48 мм (сетка установки 0.95×0.95 м, количество анкеров в ряду 11 шт.) — 194 мин (на установку одного анкера — 8.82 мин).

Разница в продолжительности технологических операций при установке фрикционных анкеров при протяженности участка выработки 2.0 м по сравнению с монтажом металлической рамной крепи СВП-22 при той же протяженности заходки равна 55 мин. Число горнорабочих в процессе крепления выработок существенно снижается.

По данным производителя анкеров ООО «ОКС» (г. Кемерово) цена фрикционного анкера АТФ-48 длиной 2200 мм с ШС 4×200×200 составляет 442.25 руб. за штуку без учета налога на добавленную стоимость. Ориентировочно примем себестоимость установки фрикционной анкерной крепи равной возведению сталеполимерных штанг — 880.87 руб. за штуку. Себестоимость установки металлической рамы СВП-22 [19] — 33 503.01 руб. за штуку (по данным Орловской шахты). Тогда себестоимость крепления 2 п. м выработки, кровля которой представлена ЗМ, составит:

фрикционными анкерами: $880.87 \text{ руб.} \times 11 \text{ шт.} \times 2 \text{ ряда} = 19\,379 \text{ руб.}$,
металлическими рамами СВП-22: $33\,503.01 \text{ руб.} \times 2 \text{ шт.} = 67\,006 \text{ руб.}$

Таким образом, разница в себестоимости крепления 1 п. м выработки рассмотренными типами крепей на Орловской шахте равна 23 813.5 руб./п. м.

ВЫВОДЫ

Лабораторными испытаниями образцов для условий Артемьевской и Орловской шахт определены деформационно-прочностные характеристики закладочного массива, относящиеся к разным категориям устойчивости. Показано, что чем выше категория устойчивости закладочного массива, тем большей жесткостью и прочностью он обладает.

Дано геомеханическое обоснование устойчивости закладочного массива вокруг очистной заходки в зависимости от его категории и стадийности добычных работ при слоевой нисходящей выемке. Установлена связь пригруженности закладочного и породного массивов от категории устойчивости ЗМ, а также влияние ее на размеры зон концентраций и разгрузки напряжений в конструктивных элементах участка отработки. Доказано, что в менее прочной закладке (III категория) в кровле очистной заходки следует ожидать обширное послойное вывалообразование за счет формирования трещин отрыва.

В условиях Артемьевской шахты крепление очистных заходов фрикционными анкерами, кровля которых представлена твердеющей закладкой, допустимо только для закладочных смесей I и II категорий устойчивости, в условиях Орловской шахты — для закладочных смесей I, II и III категорий устойчивости.

Разработаны и внедрены в производство технология и параметры крепления выработок фрикционными анкерами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рубчевский Ю. И. Геомеханическое обоснование способов поддержания выработок в закладочном массиве при разработке Яковлевского месторождения: дис. ... канд. техн. наук. — СПб.: СПГУ, 2016. — 173 с.
2. Матвеев А. В., Луговской Ю. Н., Очкуров В. И., Максимов А. Б. Рациональные параметры поддерживающей крепи горизонтальных выработок // Зап. ГИ. — 2006. — Т. 168. — С. 191–195.
3. Огородников Ю. Н., Зыков Д. Б. Устойчивость горизонтальных выработок в рудах Яковлевского рудника // Изв. ТГУ. — 2003. — № 5. — С. 200–203.

4. **Зыков Д. Б.** Геомеханическое обоснование типов и параметров крепи для крепления выработок в слабых рудах // Зап. ГИ. — 2005. — Т. 167. — С. 129–132.
5. **Технологический регламент** производства закладочных работ на Артемьевской шахте Артемьевского производственного комплекса ТОО “Востокцветмет”, 2018.
6. **Технологический регламент** производства закладочных работ на Орловской шахте Орловского производственного комплекса ТОО “Востокцветмет”, 2017.
7. **Руководство** по определению нормативной прочности твердеющей закладки на рудниках цветной металлургии. — СПб.: ВНИМИ, 1993. — 38 с.
8. **Голик В. И., Дмитрак Ю. В., Габараев О. З., Разоренов Ю. И.** Использование остаточной прочности пород в несущих конструкциях при подземной добыче руд // Вестн. РУДН. Серия: Инженерные исследования. — 2019. — № 20 (2). — С. 193–203.
9. **Технологический регламент** по выбору типов и параметров крепей и технологии их возведения при отработке Артемьевского месторождения ТОО “Востокцветмет”, 2017.
10. **Технологический регламент** по выбору типов и параметров крепей и технологии их возведения при отработке Орловского месторождения ТОО “Востокцветмет”, 2017.
11. **Аршавский В. В.** Формирование дискретной блочной среды в закладочном массиве // ГИАБ. — 2005. — № 11. — С. 145–153.
12. **Зенкевич О.** Метод конечных элементов в технике. — М.: Мир, 1975. — 543 с.
13. **Шапошник Ю. Н., Неверов А. А., Неверов С. А., Никольский А. М.** Оценка влияния накопившихся пустот на безопасность доработки Артемьевского месторождения // ФТПРПИ. — 2017. — № 3. — С. 108–118.
14. **Шапошник Ю. Н., Неверов С. А., Неверов А. А., Конурин А. И., Шапошник С. Н.** Геомеханическое обоснование поэтажно-камерной системы разработки при отработке нижних горизонтов Орловского месторождения // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2019. — Т. 6. — № 2. — С. 310–316.
15. **Казикаев Д. М.** Геомеханика подземной разработки руд. — М.: МГГУ, 2005. — 542 с.
16. **Неверов С. А., Неверов А. А.** Геомеханическая оценка устойчивости выработок выпуска руды при системах с обрушением // ФТПРПИ. — 2013. — № 2. — С. 113–122.
17. **Руководство** по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи. — М.: Стройтехиздат, 1983. — 272 с.
18. **ГОСТ 31559-2012.** Крепи анкерные. Общие технические условия (с изменениями № 1).
19. **ГОСТ 18662-83.** Государственный стандарт “Профили горячекатаные СВВ для крепи горных выработок. Сортамент”.

Поступила в редакцию 27/VI 2021

После доработки 30/VII 2021

Принята к публикации 10/IX 2021