

УДК 622.281

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЗАБУТОВКИ ЗАКРЕПНЫХ ПУСТОТ
ВСПЕНИВАЮЩИМИСЯ МАТЕРИАЛАМИ

Ю. Н. Шапошник¹, А. А. Неверов¹, С. А. Неверов¹,
А. И. Конури¹, Д. А. Шокарев²

¹Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,

E-mail: nnn_aa@mail.ru, Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия

²ТОО "Expert PRO", ул. Протожанова А. К., 47, 070004, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Проанализирована проблема крепления выработок металлической рамной крепью, пройденных в неустойчивых массивах и подверженных влиянию очистных работ. Применительно к сложным горно-геологическим условиям Орловской шахты (Восточный Казахстан) выполнены лабораторные и опытно-промышленные исследования возможности использования в качестве забутовки пустот крепящего пространства и "куполов", формируемых за счет самообрушений пород кровли, фенольной смолы "Блокфил". Установлено, что благодаря полноте забутовки пустот смолой, проявления динамических нагрузок на крепь от вывалов пород и процессов самонагрева руды и шахтного воздуха не наблюдаются.

Крепль, пустоты, крепящее пространство, забутовка, процессы окисления, технология, фенольная смола, лабораторные эксперименты, опытно-промышленные испытания, безопасность

DOI: 10.15372/FTPRPI20180208

Одним из распространенных видов крепи горизонтальных выработок, находящихся в зоне влияния очистных работ (в области неустановившегося горного давления), а также в сложных геомеханических условиях и массивах, сложенных слабыми и неустойчивыми породами, является металлическая рамная крепь. Для изготовления данной крепи используется специальный желобчатый профиль типа СВП (специальный взаимозаменяемый профиль, в основном из горячекатаной стали Ст. 5).

Анализ отечественного и зарубежного опыта использования металлических крепей [1, 2], изготовленных из профилей типа СВП, выявил следующие основные факторы, снижающие эффективность их применения.

1. Не обеспечивается полный контакт звеньев СВП по всему контуру поперечного сечения (особенно арочной конфигурации), что обуславливает нарушение формы крепи при росте нагрузок, срыв и деформирование основания СВП (стоек рам) и недостаточно высокую несущую способность рам в податливом режиме.

2. При проходке горных выработок с применением буровзрывных работ без контурного взрывания нередко происходит увеличение площади поперечного сечения выработок на 2–4 м² (10–20 %) и выемка дополнительного объема горной массы на 1 п. м до 2–6 м³.

3. Значительный объем незакрепленной части выработки между смежными рамами крепи, который составляет 70–80 % при расстоянии между арками 1 м, вызывает неустойчивость рам и их скручивание.

Принимая во внимание условия проходки выработки, а именно тот факт, что крепление возводится не сразу после проведения буровзрывных работ, а по истечении определенного промежутка времени пока происходит разгрузка окружающих пород от упругих напряжений (смещение пород в сторону открытого обнажения), элементы крепи могут находиться в двух состояниях: в явно недеформированном и деформированном.

Для первого случая характерна полная упругая разгрузка окружающего массива, при которой крепь выполняет функцию изоляции (поддержания) боков и кровли выработки от вывалов пород, т. е. не воспринимает значительные нагрузки. Для второго — частичная разгрузка, при которой элементы крепи учитывают некоторое давление, деформируясь совместно с окружающим массивом пород. На практике крепление выработок, не подверженных значительному влиянию очистных работ, производится в условиях близких к полной разгрузке (крепление осуществляется после “усадки” пород). Однако в более сложных геомеханических условиях смещение пород в выработку может носить незатухающий характер, что свидетельствует об обрушении налегающих пород с образованием в кровле выработок “куполов” больших объемов. Поэтому в зонах повышенных концентраций напряжений, а также при неустойчивых и слабых породах разгрузка массива от упругих напряжений является не полной, вследствие чего возникаемые деформации массива пород передаются горной крепи.

Для условий Орловской шахты проведены натурные исследования по установлению рейтинговой оценки устойчивости массива горных пород по следующим показателям: RQD — критерий Дира (устойчивость массива по данным кернового бурения — “индекс качества породы”); RMR — рейтинговая классификация устойчивости массива по З. Бенявскому (зависимость от фактора времени и пролета обнажения); MRMR — рейтинговая классификация массива пород по Д. Лобширу (определение параметров устойчивости и обрушаемости/самообрушаемости пород); Q — рейтинговая классификация устойчивости массива пород, разработанная Н. Р. Бартоном и др.).

В результате выполненных шахтных измерений определены коды литологии руд и пород (домены — отдельные геомеханические участки, объединяющие разные типы пород с близким строением и свойствами) и интенсивность трещиноватости горного массива. При этом в процессе проходки выработок для сильнотрещиноватых пород количество трещин на 1 м² обнажения и расстояние между ними составили 15–30 шт./м² и 0.5–0.15 м соответственно.

Анализом нарушенности массива и расчетом рейтинговых показателей установлено, что породы, выделенные в код литологии 1 (туфоалевропесчаники, алевролиты кремнистые) имеют значение Q-рейтинга 4.72 и относятся к среднеустойчивым; альбит-порфиры, алевролиты глинисто-кремнистые (код литологии 2), а также туфоалевролиты, вкрапленные руды в метасоматитах-хлоритолитах (код литологии 3) с Q-рейтингом 2.15 и 1.02 соответственно являются неустойчивыми; медно-колчеданная руда, сплошная полиметаллическая руда, сплошная барит-полиметаллическая руда, сплошная медно-цинковая руда, вкрапленная медно-колчеданная руда в кремнистых алевролитах (код литологии — “Руды”) имеют значение Q-рейтинга 13.2 и относятся к устойчивым.

В настоящее время на нижних горизонтах Орловской шахты компании “Kaz Minerals” в очистных заездах и выработках, пройденных в неустойчивых породах, закрепленных арочной металлической податливой крепью, отмечается активизация процессов развития вывалообразования в кровле. В некоторых как рудных, так и полевых штреках выявлена потеря несущей

способности установленных в них ранее металлических рам из СВП, т. е. наблюдается разрушение крепи и заполнение выработки породой. По этой причине часть пройденных выработок отнесена в разряд аварийных, с необходимостью последующего их восстановления и перекрепления или даже проведения обгонных выработок.

В этой связи разработка и развитие технологий забутовки закрепного пространства при креплении горных выработок в сложных горно-геологических условиях являются актуальными и востребованными.

ОПЫТ ЗАБУТОВКИ ПУСТОТ ЗАКРЕПНОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ КРЕПЛЕНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РАМНОЙ КРЕПЬЮ

На Орловском руднике в качестве крепления горизонтальных выработок используются металлические рамы СВП-22 с затяжкой круглым лесом и забучиванием пустот закрепного пространства деревянными “кострами”. При подобном поддержании пустот вручную горнорабочие находятся в незакрепленном пространстве, в связи с чем данная операция является не только трудоемкой, но и весьма травмоопасной. Из-за развития процессов вывалообразования в кровле при отсутствии забутовки закрепного пространства или ее плохого качества (недостаточная плотность, неравномерность и др.) значительно возрастают сосредоточенные локальные динамические нагрузки на крепь, что ведет к деформациям ее элементов, поломкам и даже завалам выработки. Это происходит потому, что материал забутовки пустот не подведен вплотную к контуру обнажения массива пород по кровле и бортам выработки, т. е. формируемые купола “срывают” контакт костровой крепи с массивом пород, допуская динамические формы проявления горного давления. Так, в слоевых заездах горизонта 12 Орловского рудника, пройденных в неустойчивом массиве и подверженных влиянию производства очистных работ, за счет неуправляемого отслоения (вывала) горных пород со стороны кровли наблюдалось нарушение равномерности и плотности контакта “металлические рамы – деревянные костры – горный массив”. В результате произошло разрушение арок из СВП и завал выработок горной породой [3 – 7].

В сложившейся горнотехнической ситуации и особенно на нижних горизонтах рудника, где в условиях интенсивного окисления сульфидных руд (температура рудничного воздуха достигает 70°C) активизируются процессы самонагрева массива пород, наличие “куполов” и деревянной забутовки является недопустимым. В данных условиях требуется изыскивать совершенно новые подходы к ликвидации “куполов” и различного рода пустот. В рамках опытно-промышленных работ по забутовке пустот закрепного пространства, а также “куполов” вспениваемыми материалами при креплении выработок рамными металлическими крепями на Орловской шахте использована фенольная смола “Блокфил” производства компании DSI (Германия). Испытания показали, что при полноте забучивания пустот смолой проявления динамических нагрузок на крепь от вывалов пород не наблюдались.

В 2009 г. на Артемьевском месторождении успешно испытана высокопрочная и быстросхватывающаяся цементная смесь “Текбленд” производства компании “Minova” (Германия) [8]. Смесь хорошо зарекомендовала себя в качестве забутовки закрепного пространства при рамных крепях на руднике “Скалистый” ПАО ЗФ “ГМК “Норильский никель” на горизонте – 850 м. При креплении выработок она подавалась в двойных полипропиленовых мешках, заводимых между рамами и контуром вмещающих пород, обеспечивая полное заполнение пустот [9 – 12].

На основе анализа существующих технологий и наработок специалистами Донского ГОКа для шахты “10 лет независимости Республики Казахстан” выбрана технология возведения арочной крепи с последующим заполнением закрепного пространства пенозабутовкой. Подача вспенивающегося цемента осуществлялась насосным агрегатом марки ПБН-15КПС в специальные гибкие опалубки [13].

В ФРГ для транспортировки вспенивающихся материалов широкое распространение получили рукава типа “Буллфлекс”. Мягкая прочная оболочка вкладывается в желоб арки по всему периметру. Далее в рукав насосом подается быстротвердеющий расширяющийся состав. Через несколько минут (до 2 ч) происходит его расширение и затвердение. Затяжка прижимается к массиву, и арка включается “в работу”. Эффект аналогичен применению набрызг-бетона [14 – 18].

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФЕНОЛЬНОЙ СМОЛЫ “БЛОКФИЛ”

Характеристики реакции фенольной вспенивающейся двухкомпонентной смолы “Блокфил”:

Исходная температура	20°C
Соотношение компонентов смеси по объему (компонент А / компонент Б)	4 / 1 – 3 / 1
Плотность при 20°C	1290 ± 50 / 1580 ± 20 кг/м ³
Вязкость при 25°C	200 – 800 / < 50 мПа·с
Начало вспенивания	Моментально
Окончание вспенивания	300 с
Фактор свободного вспенивания	45 ± 10
Расход	35 ± 10 кг/м ³
Прочность на сжатие при 10 % деформации	> 20 (0.02 МПа) кПа
Агрегатное состояние	Жидкость

Теплопроводность образца фенольной смолы “Блокфил” определена в Институте нефтегазовой геологии и геофизики имени А. А. Трофимука СО РАН на измерителе теплопроводности, сканирующем на эталонах полиметилметакриата методом игольчатого зонда, и составила 0.026 Вт/(м·К).

Ниже представлены теплофизические показатели руд и вмещающих пород Орловского месторождения:

Тип руды	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)
Сплошная полиметаллическая руда	5.5 – 5.9
Сплошная барит-полиметаллическая руда	4.88 – 7.44
Сплошная медно-цинковая руда	3.4 – 11.3
Сплошная медно-колчеданная руда	4.21 – 4.204
Алевролит	0.4 – 3.8
Аргиллит	0.2 – 3.0
Глинистый сланец	0.2 – 3.0
Известняк влажный	0.9 – 4.4
Песчаник плотный	2.33

Отмечено, что при контакте массива с рудничным воздухом разогрев поверхности руды в течение года может достигать 200 – 260°C, что близко к температуре самовозгорания пиролизированной древесины. Последнее свидетельствует о том, что температура рудничного воздуха в горных выработках в результате окисления и самонагрева руды может превысить 100°C.

В соответствии с полученным значением коэффициента теплопроводности фенольная смола “Блокфил” может выполнять роль изоляционного материала при забутовке закрепных пустот и “куполов” в горных выработках, пройденных в “горячих” массивах. Последнее обусловлено снижением интенсивности реакции окисления и предотвращением (или существенным замедлением) процессов самонагрева руды и шахтного воздуха до температур, не превышающих нормативные значения.

В [19] показано, что температура термической деструкции фенольной смолы “Блокфил” составляет около 700°C, при этом потеря массы образца не превышает 21.7%. Аналогично в [20] установлено, что затвердевшие фенольные смолы при температуре 130°C заметно теряют массу (усадка фенольного пенопласта составляет приблизительно 1%). Фенольная смола “Блокфил” по классу опасности материала, по значению показателя токсичности продуктов горения относится к высокоопасным, по группе горючести материала — к трудногорючим. Согласно данным экспертизы, она содержит: формальдегид — 0.01 мг/м³, метиловый спирт — 0.5 мг/м³, аммиак — 0.04 мг/м³, фенол — 0.003 мг/м³.

Испытания образцов затвердевшей фенольной смолы “Блокфил”, взятых на Орловской шахте, проводились на сервогидравлическом прессе Instron-8802 в аккредитованном Центре коллективного пользования геомеханических, геофизических и геодинамических измерений Института горного дела СО РАН [21, 22]. Всего изготовлено 10 образцов (рис. 1), которые предварительно взвешивали в течение суток 4 раза до стабилизации массы. Данные измерений приводятся в табл. 1.

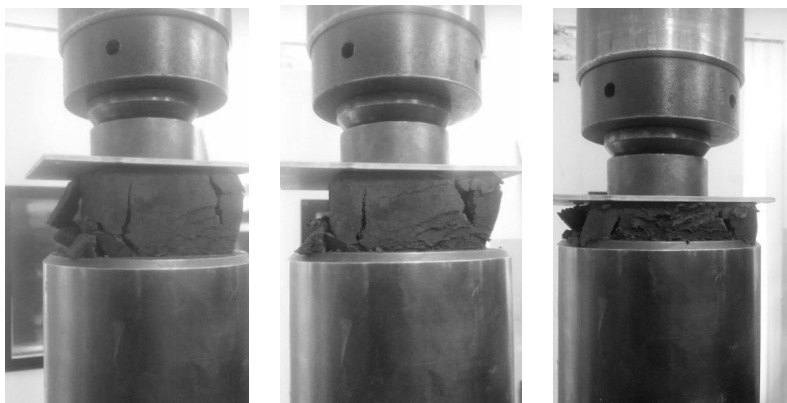


Рис. 1. Образец № 9 в процессе испытания смолы “Блокфил”

ТАБЛИЦА 1. Результаты измерений массы образцов, г

Номер образца	P_1 (в 10 ⁰⁰)	P_2 (в 14 ³⁰)	P_3 (в 16 ⁰⁰)	P_4 (в 10 ⁰⁰ следующего дня)
1	17.2970	17.1690	17.0781	17.0790
2	14.2970	14.1407	14.0668	14.0670
3	12.3444	12.2354	12.1753	12.1749
4	19.5370	19.3952	19.2889	19.2887
5	16.2648	16.1400	16.0545	16.0548
6	17.4492	17.3011	17.1988	17.1988
7	17.0403	16.9207	16.7941	16.7944
8	17.2143	17.0901	16.9726	16.9730
9	12.4775	12.3722	12.3038	12.3041
10	10.1887	10.1031	10.0557	10.0554

Весьма важным является изучение влияния повышенных температур рудничной атмосферы или поверхности разогретого рудного массива на термическую деструкцию фенольной смолы “Блокфил”, а именно потерю ее массы и изменение прочности затвердевшей смеси. Для установления зависимости влияния температуры на изменение массы фенольной смолы “Блокфил” образец № 9 нагревали в течение 8 ч ступенями до температуры 300°C. Взвешивание осуществляли при температурах 50, 90, 150, 200, 250, 300°C. Термограмма термической деструкции фенольной смолы “Блокфил” представлена на рис. 2.

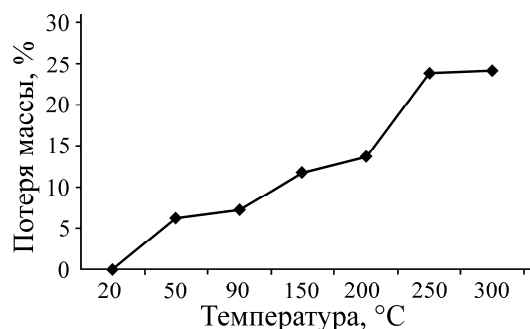


Рис. 2. Термограмма термической деструкции фенольной смолы “Блокфил”

Как видно из рис. 2, процесс термической деструкции фенольной смолы “Блокфил” начинается с температуры около 150°C. В данном случае потеря массы образца составляет 11,8%, при достижении температуры 300°C — 24,2%.

Далее выполнены эксперименты по определению прочностных и деформационных характеристик смолы. Исследования проводились на одноосное сжатие и растяжение, при которых задавалась скорость движения подвижного захвата.

Для испытаний при прямом растяжении образца № 7 изготовлены специальные захваты. Последние представляли собой полые цилиндры, в которые образец клеивался с помощью стоматологического гипса (предел прочности 60 МПа), база измерения деформации — 7 мм. Пиковая нагрузка составляла $\sigma = 0.008$ МПа. На диаграмме “напряжение–деформация” наблюдался участок запредельного деформирования. Образец был разрушен при напряжении $\sigma = 0.003$ МПа и значении деформации $\varepsilon = 0.24$.

При одноосном сжатии образцы затвердевшей фенольной смолы “Блокфил” испытывались со скоростью нагружения 5 мм/мин с различными значениями температуры (20, 40, 60, 80, 100, 120, 140°C). Результаты испытаний приведены в табл. 2. Для всех образцов на диаграммах “напряжение–деформация” при значении деформации $\varepsilon = 0.03 - 0.05$ отмечалась площадка текучести, т. е. при практически постоянном напряжении деформация возрастала до значений $\varepsilon = 0.5 - 0.6$. При дальнейшем нагружении происходило некоторое увеличение напряжений. Эксперимент прекращали при значениях деформаций $\varepsilon = 0.8 - 0.9$, образцы изменяли линейный размер в направлении сжатия на 80–90%, но при этом не разрушались и на них не наблюдалось каких-либо дефектов.

Таким образом, полученные в ходе лабораторных испытаний значения прочности на одноосное сжатие затвердевшей фенольной смолы “Блокфил” соответствуют заявленным компанией-производителем смолы DSI (Германия) — более 0,02 МПа. Тенденция к повышению предела прочности смолы при высоких температурах объясняется тем, что при сжатии материал уменьшает свой линейный размер в направлении действия силы и становится более плотным, т. е. при воздействии температуры до 140°C происходит уменьшение массы материала до 10%, за счет чего плотность его увеличивается.

ТАБЛИЦА 2. Результаты испытаний образцов при одноосном сжатии с различными температурами

Номер образца	Высота	Длина	Ширина	Температура, °С	Предел прочности	Модуль деформации
					МПа	
1	85	83	82	20	0.029	0.904
8	70	84	80	20	0.039	0.901
2	75	85	75	40	0.035	1.007
3	72	70	76	60	0.035	0.829
4	85	90	90	80	0.032	0.961
5	83	83	85	100	0.033	1.261
6	86	85	85	120	0.035	1.258
10	51	71	60	140	0.050	1.061
9	65	75	75	20°С после нагрева до 300°С	0.020	0.528

Образец № 9 (после предварительного нагрева до 300°С) испытан при 20°С. В отличие от остальных образцов, за пределом прочности (0.02 МПа) произошло небольшое снижение нагрузки (до 0.016 МПа), затем она начала возрастать и при напряжении $\sigma = 0.033$ МПа, деформации $\varepsilon = 0.75$ эксперимент был остановлен. В данном случае при нагружении образца появились трещины и произошло частичное его разрушение. Согласно паспорту прочности затвердевшей фенольной смолы “Блокфил”, при температуре 20°С сцепление составило 0.008 МПа, угол внутреннего трения — 38.4°.

Смещения, компенсируемые за счет сжатия забутовочного материала, зависят от сжимаемости материала, толщины забутовочного слоя и расчетной нагрузки на крепь и должны определяться опытным путем. Результаты испытаний образцов фенольной смолы “Блокфил” в виде диаграмм “напряжение – деформация” приведены на рис. 3, 4.

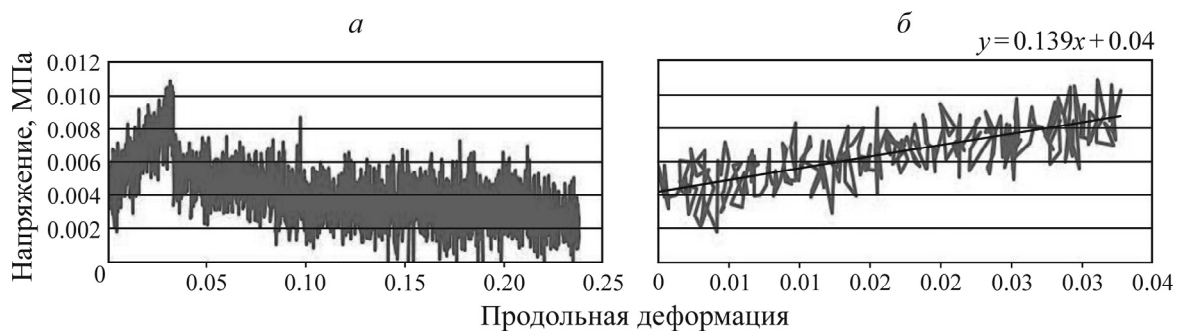


Рис. 3. Данные испытаний при прямом растяжении образца: *a* — диаграмма “напряжение – деформация”; *б* — определение модуля деформации

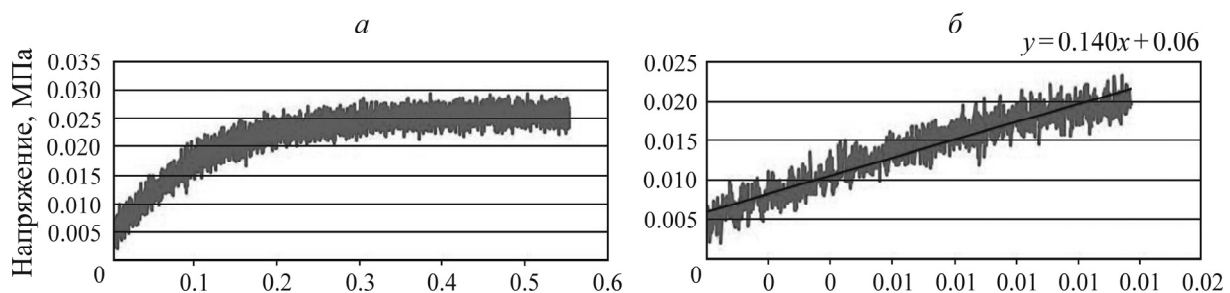


Рис. 4. Данные испытаний при одноосном сжатии образца при скорости нагружения 0.5 мм/мин: *a* — диаграмма “напряжение – деформация”; *б* — определение модуля деформации

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ РАМНОГО КРЕПЛЕНИЯ ПРИ УДАРНЫХ НАГРУЗКАХ

Опыт применения рамных крепей свидетельствует о том, что даже при использовании эффективных средств обеспечения контактного взаимодействия крепи с массивом (тампотаж закрепного пространства, рукава “Буллфлекс”, предварительный распор и др.) обеспечить равномерно распределенную нагрузку на крепь не удастся из-за различия смещений пород по контуру выработки. Это приводит к возникновению неравномерных усилий в элементах рамы по ее периметру [23].

Реальная схема нагружения крепи в сложных горно-геологических условиях Орловского месторождения имеет характерные особенности. Как правило, при проходке выработок в “околорудной рубашке” буровзрывным способом без применения контурного взрывания наблюдаются переборы породы за проектный контур поперечного сечения. Приконтурный слой руды под влиянием взрывных работ разуплотняется и со временем отслаивается от массива, нагружая крепь. Отслоение руды за пределами зоны разуплотнения постепенно затухает по мере подбучивания контура обнажения разрушенной рудой и приближения очертания кровли к форме устойчивого свода естественного равновесия [24]. По данным натурной съемки поперечных сечений выработок, переборы в “околорудной рубашке” колеблются в боках от 0.3 до 0.5 м, в кровле — от 0.7 до 1.0 м; мощность зоны разуплотнения до 2.5 м.

Процесс развития зоны нарушенной руды в кровле и величина вертикальной нагрузки на арочную крепь зависят от размера переборов за проектное сечение выработки и плотности заполнения закрепного пространства.

В зависимости от качества забутовки возможны две схемы нагружения крепи: плотно или неплотно закрепное пространство заполнено забутовочным материалом. Последний случай на практике является основным. В боках выработки забутовка выполняется удовлетворительно, однако в кровле систематически остаются пустоты, которые являются причиной отслоения руды с контура обнажения. Эффект заполнения закрепного пространства разрушенной рудой зависит от объема пустот, оставленных при установке крепи без забутовки, и коэффициента разрыхления руды.

С учетом натуральных наблюдений напластования пород и трещиноватости массива в шахте возможные вывалы принимают кубическую форму с линейными размерами 0.5 и 0.7 м. В этом случае их объем составляет 0.125 и 0.343 м³, а вес 5.32 и 14.60 кН соответственно. В расчете рассматривается обрушение с высоты от 1 до 3 м.

Под действием изгибающего момента и продольной силы в крайних волокнах опасного сечения рамной крепи возникают нормальные напряжения:

$$\sigma_{из} = \frac{M_{max}}{W} + \frac{N}{F},$$

где M_{max} — максимальный изгибающий момент; W — момент сопротивления; N — нормальная сила, действующая в этом сечении; F — площадь поперечного сечения рамы.

Прочность профиля при изгибе $\sigma_{из}$ в опасном сечении с максимальным изгибающим моментом M_{max} с учетом нормальной силы N , действующей в этом сечении, определяется из условия: $\sigma_{из} < R_{и}$ (сопротивление стали изгибу, $R_{и} = 270 \cdot 10^3$ кПа) — рама прочная, $\sigma_{из} > R_{и}$ — рама непрочная. Коэффициент запаса устойчивости $k_{зы} = R_{и} / \sigma_{из}$. При падении отслоившихся пород на раму возникающие напряжения и деформации выше, чем в случае статического нагружения (рис. 5) [25].

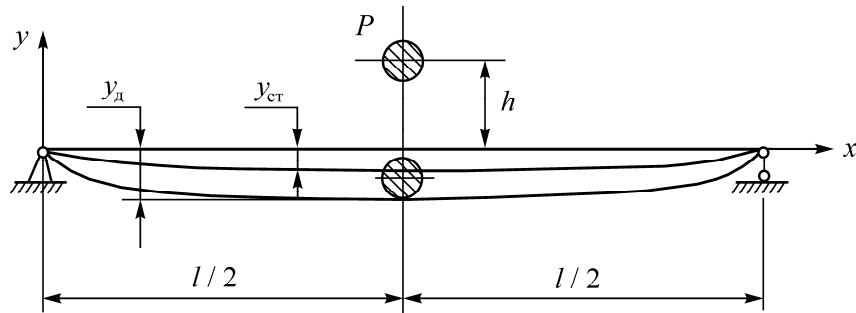


Рис. 5. Действие ударной нагрузки на балку: P — вес вывалов горных пород; y_d , $y_{ст}$ — динамическая и статическая деформации; h — высота падения груза

Методика определения динамических напряжений и деформаций состоит в следующем. Находятся статические напряжения и деформации, затем коэффициент динамичности. Динамические напряжения σ_d и деформации y_d вычисляются умножением на коэффициент динамичности: $\sigma_d = \sigma_{ст} K_d$, $y_d = y_{ст} K_d$.

Формула для расчета коэффициента динамичности учитывает вес падающего груза P , вес рамы Q и конструкцию рамы, на которую падает груз [26]:

$$K_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{y_{ст} \left(1 + K_n \frac{Q}{P}\right)}}$$

где K_n — коэффициент приведения веса рамы (для двухопорной рамы с нагрузкой посередине пролета $K_n = 0.5$, с нагрузкой на расстоянии $1/4$ пролета $K_n = 0.8$ [27]).

Проведенные расчеты устойчивости рамных крепей при различных условиях нагружения показали, что в рассматриваемых условиях Орловской шахты нарушения крепи из спецпрофиля СВП-22 могут наблюдаться при обрушении породы объемом более $V = 0.343 \text{ м}^3$ с высоты 2 м и объемом более $V = 0.125 \text{ м}^3$ с высоты 3 м.

Снижение напряжений при ударе обрушенных пород в закрепном пространстве достигается следующими образом:

- увеличением объема закрепного материала, подвергаемого удару за счет равномерного покрытия рам пеной;
- максимально возможным заполнением объема закрепного пространства пеной;
- заполнением прибортовых пустот материалом с высоким модулем упругости для обеспечения устойчивости крепи.

По мнению [23, 28], несущая способность забутовочного материала должна быть немного меньше несущей способности самой крепи, что позволит более равномерно распределять возможные сосредоточенные нагрузки при обрушении горных пород кровли. В нашем случае несущие способности забутовочного материала (вспененной и затвердевшей фенольной смолы “Блокфил”) и рамной крепи СВП-22 существенно различаются. Для условий Орловской шахты рекомендуется в качестве забутовочного материала использовать пенобетоны производства компании BASF (Германия). При практической реализации способа забутовки закрепных пустот пенобетоном при креплении выработок рамной крепью необходимо использовать полипропиленовые оболочки (возможно, эластичные), располагаемые по контуру закрепляемой части выработки и предназначенные для размещения в них пенобетона.

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЗАПОЛНЕНИЯ ПУСТОТ ЗАКРЕПНОГО ПРОСТРАНСТВА ВСПЕНИВАЮЩИМИСЯ МАТЕРИАЛАМИ

В условиях Орловской шахты широко распространен способ заполнения закрепного пространства в своде проводимых выработок “костровой” деревянной крепью. С целью исключения основных недостатков данного способа, а именно отсутствия плотности и равномерности забутовки, приводящих к поломкам крепи и завалам выработки, а также наличия интенсивного окисления сульфидных руд, самонагревания рудничного воздуха и возможного самовозгорания древесины, опробована технология забутовки пустот (“куполов”) вспенивающимися материалами.

При закрепленной выработке металлической рамной крепью сначала проводилась затяжка круглым лесом по ее кровле для обеспечения безопасности ведения крепежных работ под покрытием. Далее затяжка осуществлялась по бортам с частичной забутовкой породой или деревом с оставлением пространства между покрытием из круглого леса по кровле и стенкам выработки (рис. 6).

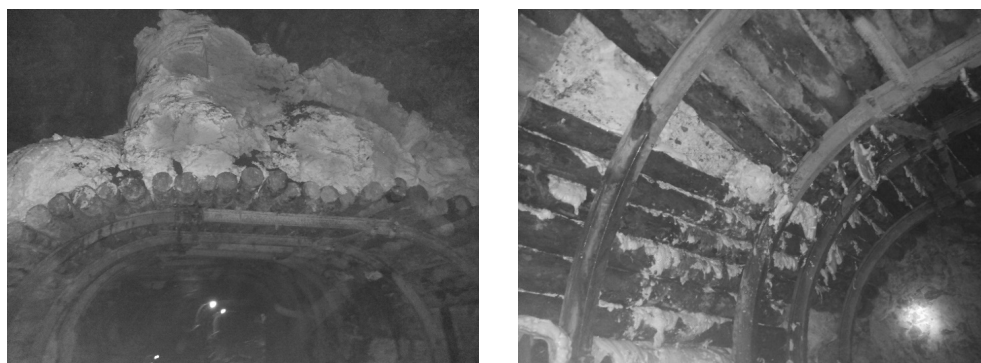


Рис. 6. Заполнение закрепного пространства вспенивающимися материалами через пустоты между покрытием из круглого леса по кровле и бортам выработки (заезд на слой № 5, блока 12 с, горизонта 12)

В пространство между покрытием по бортам и кровлей вводились инъекционные пластиковые трубки и с помощью насоса подавался вспенивающийся материал (двухкомпонентная фенольная смола). Подача смолы “Блокфил” в пустоты закрепного пространства осуществлялась инъекционным насосом с пневмоприводом типа PGP. Вспенивающийся материал, благодаря своей жидкой консистенции, заполнял все неровности и пустоты закрепного пространства горных выработок, обеспечивая полноту и равномерность. Осмотр забоя выработок после производства взрывных работ показал, что на расстоянии от него около 1.0–1.5 м разрушения забутовочного материала из фенольной смолы “Блокфил” не наблюдалось.

На основании опытно-промышленных испытаний на Орловской шахте удельный расход материалов при забутовке пустот закрепного пространства вспенивающимися материалами для выработки сечением $S_{пр} = 16 \text{ м}^2$ составил 0.045 т/м^3 или 0.45 т/п. м .

Практическая реализация данной технологии на руднике обеспечила безопасность ведения работ по забутовке, так как горнорабочие в процессе заполнения пустот находились в пределах закрепленного пространства горной выработки. Контроль за процессом и объемом работ забутовки проводился визуально. Для заполнения пустот закрепного пространства и “куполов” в объеме 1200 м^3 на руднике израсходовано 54 т фенольной смолы “Блокфил”.

ВЫВОДЫ

На основании рассчитанного коэффициента теплопроводности установлено, что фенольная смола “Блокфил” соответствует изоляционному материалу. Это свидетельствует о необходимости ее эффективного применения при забутовке пустот закрепного пространства и “куполов” в горных выработках, пройденных в “горячих” массивах. Выявлено, что процесс термической деструкции смолы начинается с температуры около 150°C, при этом потеря массы образца составляет 11.8 %, при достижении температуры 300°C — 24.2 %.

Показано, что предел прочности на одноосное сжатие затвердевшей фенольной смолы “Блокфил” соответствует заявленным показателям компанией-производителем смолы DSI — более 0.02 МПа. Предел прочности затвердевшей фенольной смолы при прямом растяжении составил 0.003 МПа при деформации 0.24.

Внедрение технологии забутовки закрепного пространства и “куполов” фенольной смолой “Блокфил” при креплении выработок рамной металлической крепью на Орловской шахте позволило не только исключить возможность проявления динамических нагрузок на крепь, но и существенно снизить контакт обнаженной поверхности рудного массива с рудничным воздухом. Процесс заполнения закрепного пространства вспенивающимися материалами механизирован, горнорабочие находятся в закрепленной части горной выработки.

Рекомендуется изменить подход к строительству выработок в сложных горно-геологических условиях, а именно внедрить на шахте комплексные технологии георадиолокационных исследований структуры горного массива и обнаружения пустот, а также проходки выработок в сильнотрещиноватых и раздробленных породах с применением способов их предварительного инъецирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крупник Л. А., Шапошник Ю. Н., Шокарев Д. А., Шапошник С. Н., Конурин А. И. Совершенствование технологии крепления выработок на Артемьевской шахте ТОО “Востокцветмет” // ФТПРПИ. — 2017. — № 6. — С. 140–148.
2. Тапсиев А. П., Усков В. А. Об основных критериях выбора типа крепи горизонтальной выработки в зоне влияния очистных работ рудника “Заполярный” // ФТПРПИ. — 2014. — № 4. — С. 78–88.
3. Мартыненко И. И., Мартыненко И. А., Минакова Ж. А. Влияние заполнения закрепного пространства на работу крепи // ГИАБ. — 2005. — С. 160–163.
4. Ерофеев Л. М., Мирошникова Л. А. Повышение надежности крепи горных выработок. — М.: Недра, 1988. — 245 с.
5. Максимов А. П., Шашенко А. Н., Рожко А. Н. Влияние качества забутовки на несущую способность металлической арочной крепи // Шахт. стр-во. — 1987. — № 3. — С. 21–23.
6. Луганцев Б. Б., Мартыненко И. И., Мартыненко И. А. О влиянии пустот за крепью на смещения кровли штреков // Уголь Украины. — 1994. — № 10. — С. 11–12.
7. Александров А. Н. О влиянии заполнения закрепных пустот на устойчивость горных выработок // Шахт. стр-тво. — 1986. — № 8. — С. 7–9.
8. Крупник Л. А., Шапошник Ю. Н., Шапошник С. Н. Опыт внедрения технологии заполнения “куполов” вспенивающимися смолами на шахтах ТОО “Востокцветмет” // Безопасность труда в пром-сти. — 2017. — № 5. — С. 62–67.
9. Климчук И. В., Маланченко В. М. Опыт применения полимерных технологий на горнодобывающих предприятиях России // Горн. пром-сть. — 2007. — № 4. — С. 22–25.

10. **Климчук И. В.** Внедрение новых полимерных технологий на угледобывающих предприятиях Кузбасса // Глюкауф. — 2007. — № 1 (2). — С. 88–90.
11. **Климчук И. В., Маланченко В. М.** Решение проблем безопасности на горных предприятиях России // Глюкауф. — 2008. — № 2 (3). — С. 95–97.
12. **Ефимов А. И., Маланченко В. М., Климчук И. В. и др.** Внедрение новых технологий крепления горных выработок на рудниках Заполярного филиала // Горн. журн. — 2005. — № 2. — С. 38–42.
13. **Семенов С. Н.** Новые методы заполнения закрепного пространства горизонтальных горных выработок в условиях проходки и увеличение безопасности труда при ликвидации вывалообразования на шахтах Донского ГОКа // Проблемы недропользования: материалы V Всерос. молодежной науч.-практ. конф. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2011. — С. 478–484.
14. **Гетце Э. А.** Опыт использования различных систем заполнения закрепного пространства в проходческих забоях // Глюкауф. — 1982. — № 1. — С. 17–19.
15. **Брайт Ф., Шроер Д.** Заполнение пустот рамами штрековой крепи методом Буллфлекс // Глюкауф. — 1980. — № 13. — С. 12–17.
16. **Пир Ю., Паль М. Х.** Тампонаж закрепного пространства легким строительным пенораствором, возможности и ограничения // Глюкауф. — 1988. — № 11. — С. 7–12.
17. **Шрер Д., Ингенабель К.** Механизированное заполнение материалом закрепного пространства штреков // Глюкауф. — 1974. — № 8. — С. 8–11.
18. **Шрер Д.** Методы заполнения пустот заштрековой крепью и их эффективность // Глюкауф. — 1977. — № 15. — С. 21–24.
19. **Уварова В. А.** Методологические основы контроля пожароопасных и токсических свойств шахтных полимерных материалов: дис. ... д-ра техн. наук. — М., 2016. — 300 с.
20. **Кноп А., Шейб В.** Фенольные смолы и материалы на их основе / под ред. Ф. А. Шутова. — М.: Химия, 1983. — 280 с.
21. **Коврижных А. М., Усольцева О. М., Коврижных С. А., Цой П. А., Семенов В. Н.** Исследование прочности анизотропных горных пород в условиях осевого сжатия с боковым давлением // ФТПРПИ. — 2017. — № 5. — С. 37–43.
22. **Опарин В. Н., Усольцева О. М., Семенов В. Н., Цой П. А.** О некоторых особенностях эволюции напряженно-деформированного состояния образцов горных пород со структурой при их одноосном нагружении // ФТПРПИ. — 2013. — № 5. — С. 3–19.
23. **Литвинский Г. Г., Гайко Г. Л., Малеев М. Л., Волошин В. Б.** Межрамные ограждения шахтной крепи. — Алчевск: ДонГТУ, 2000. — 110 с.
24. **Огородников Ю. Н., Очкуров В. И., Максимов А. Б.** Расчет нагрузок на арочную крепь КМП-А3 выработок, пройденных по рудному массиву Яковлевского железорудного месторождения // Зап. Горн. ин-та. — 2007. — Т. 172. — С. 33–38.
25. **Миренков В. Е.** Взаимодействие вмещающих пород и крепи при ведении очистных работ // ФТПРПИ. — 2017. — № 5. — С. 15–22.
26. **Дарков А. В., Шапошников Н. Н.** Строительная механика. — М.: Высш. шк., 1986. — 607 с.
27. **Ачеркан Н. С.** Справочник машиностроителя. — М.: Машгиз, 1956. — Т. 3. — 566 с.
28. **Солодянкин А. В., Гапеев С. Н.** Численное моделирование влияния параметров податливой забутовки на напряженно-деформированное состояние вмещающего выработку массива // Проблемы горного дела и экологии горного производства: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. — 2009. — С. 115–123.

Поступила в редакцию 13/II 2018