

УДК 622.281

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗОЛЯЦИИ  
ОБНАЖЕНИЙ ВЫРАБОТОК ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ШАХТНОЙ АТМОСФЕРЫ**

**Ю. Н. Шапошник, А. И. Конурин, О. М. Усольцева, А. А. Неверов, С. А. Неверов**

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

Рассмотрена проблема изоляции обнаженных участков массива пород при проходке выработки от негативного воздействия шахтной атмосферы и вывалов пород. Лабораторными испытаниями установлено влияние влажности на прочностные свойства горных пород Орловского месторождения. Дана оценка прочности на растяжение образцов изоляционного слоя мембраны, в том числе адгезии к горным породам и торкрет-бетону. В существующей горно-технической обстановке Орловской шахты обоснована технология приготовления и нанесения изоляционного слоя из полимерной мембраны на борта и кровлю выработок на разных по степени нарушенности участках массива пород.

*Горные породы, торкрет-бетон, напыляемая мембрана, прочностные свойства, адгезия, выработка, обнажение, устойчивость*

DOI: 10.15372/FTPRPI20200311

---

В настоящее время для изоляции массива пород от выветривания, окисления, разрушения, и самовозгорания на шахтах Кузбасса [1–8], ЗФ ОАО “ГМК Норильский никель” [9], компании Kaz Minerals и др. широко используют специальные латексно-цементные составы. На рудниках “Комсомольский”, “Октябрьский”, “Скалистый” и “Таймырский” (ЗФ ОАО “ГМК Норильский никель”) наряду с железобетонной анкерной крепью и набрызг-бетоном внедрена технология крепления выработок сталеполимерными анкерами с полимерным покрытием кровли и боков материалом “Текфлекс” толщиной 4–5 мм. Подобная технология освоена при проходке транспортного наклонного ствола шахты “Распадская-Коксовая”. Применение в качестве забутовки закрепного пространства фенольной смолы “Блокфил” позволило уменьшить интенсивность реакции окисления и самонагревание пород до критических температур, а также замедлить процесс нагревания рудничного воздуха от “горячих” массивов до температур, не превышающих нормативные значения [10–13].

Полимерный полиуретановый состав состоит из трех рабочих жидкостей малой вязкости. Нанесением на массив пород создается барьерный экран, препятствующий взаимодействию шахтной атмосферы с вмещающими породами [14–18]. Технология приготовления и нанесения изоляционной полимерной мембраны на обнажения в подземных условиях — перспективный и не полностью исследованный способ изоляции и защиты окружающих выработку пород от шахтной атмосферы. В настоящее время данный вопрос изоляции открытых обнажений пород в выработках актуален.

Вмещающие породы Орловского колчеданно-полиметаллического месторождения около-рудных зон весьма неустойчивые из-за многочисленных разнонаправленных микротрещин, заполненных кальцитом и пиритом, и зеркал скольжения. На контактах с рудными телами прослеживается зона весьма неустойчивых гидротермально измененных пород. При обнажении, снятии больших нагрузок и увлажнении такие породы разуплотняются и обрушаются в горные выработки. Устойчивость пород месторождения понижается в зонах выветривания, тектонических нарушений и на участках гидротермального изменения пород, мощность которых колеблется от нескольких метров до 100 – 150 м [19].

Неустойчивые и весьма неустойчивые породы Орловского месторождения подвержены интенсивному изменению прочностных свойств и потере устойчивости в результате воздействия шахтной атмосферы [20]. От воздействия процессов окисления и выветривания породы теряют устойчивость через одни-двое суток после обнажения. При проходке выработок в метасоматитах, сильно трещиноватых и весьма неустойчивых породах в зонах окварцевания, хлоритизации и серитизации (значение устойчивости по  $Q$ -рейтингу (по Бартону) равно 13.2, RQD=28 (рейтинг по Диру), RMR=36 (рейтинг по Бенявскому)) возможно разрушение кровли и боков проводимых выработок и образование куполов [21]. В настоящее время на нижних горизонтах Орловской шахты в очистных заездах и выработках, пройденных в неустойчивых породах, закрепленных арочной металлической податливой крепью, отмечается активизация процессов развития вывалообразования в их кровле [10]. В [20] определены параметры водопоглощения и сорбции 4 типов пород Орловского месторождения: руды; темноокрашенной породы с прожилками пирита, трещиноватой; темноокрашенной породы с прожилками пирита, трещиноватой, мыльной, хрупкой; темноокрашенной породы с преобладанием пирита, трещиноватой, хрупкой.

Для анализа процессов, происходящих в массиве пород при взаимодействии его с агрессивной шахтной атмосферой, проведены испытания согласно требованиям [22, 23]. Результаты лабораторных испытаний показали, что прочность горных пород не изменяется при повышенной влажности воздуха. Это объясняется плотностью структуры, отсутствием видимых трещин и нулевым водопоглощением. Установлено, что сильнотрещиноватые породы подвержены процессам метаморфизации. Значение водопоглощения находится в пределах 1 %. Его высокие показатели из-за расклинивающего эффекта резко снижают прочностные свойства руд и пород. Содержание сорбционной влаги в образцах за 48 ч в среде со 100 % влажностью приближалось к 50 % от водопоглощения. По истечении 48 ч поглощение влаги из воздуха горными породами прекращалось. В период 24 – 48 ч процессы водопоглощения в зоне до 0.6 м от контуров выработки затухали. В условиях частичного обрушения пород данной зоны процессы поглощения влаги распространяются на новые более глубокие участки.

Для условий Орловской шахты в породах неустойчивой и весьма неустойчивой категорий, подверженных интенсивному изменению прочностных свойств и потере устойчивости в результате воздействия шахтной атмосферы, рекомендовано после взрывных работ и отгрузки горной массы по периметру вновь образованной заходки в качестве временной изоляционной крепи наносить покрывающий защитный слой торкрет-бетона MasterRoc STS 1510 толщиной 3 см, а уже затем — основной слой торкрет-бетона необходимой толщины (в зависимости от устойчивости руды или вмещающих пород) для производства постоянной крепи. На основании [24] толщина набрызг-бетона, использованного в качестве защитного покрытия против выветривания породного обнажения, должна быть не менее 3 см. В этом случае изоляционный слой торкрет-бетона накладывается на обнаженные участки горного массива только после взрывных работ и отгрузки горной массы, что не обеспечивает необходимую устойчивость пород.

С целью повышения эффективности крепления пород следует ограничить время воздействия внешних факторов, вызывающих потерю устойчивости и снижение прочностных характеристик. Для этого изолирующий слой торкрет-бетона толщиной 3 см может наноситься на борта, кровлю и грудь забоя выработки сразу после проведения взрывных работ в забое и проветривания (после орошения и разбора заколов). Применение торкрет-бетона MasterRoc STS 1510 толщиной 3 см в качестве изоляционного материала характеризуется большими объемами расходного материала. Установлено, что вмещающие породы без изоляции обнажаемых участков массива от рудничной атмосферы и влажности Орловского месторождения теряют первоначальную устойчивость в течение первых двух суток (до 15–50%). Для сохранения первоначальной прочности горных пород рекомендуется изолировать обнажаемые участки горного массива слоем из полимерной мембраны.

При опытно-промышленных испытаниях на Орловской шахте в качестве изоляционного материала использовалась однокомпонентная полимерная напыляемая мембрана MasterRoc TSL 865 производства компании BASF. Низкий удельный расход (при толщине слоя 5–7 мм) при обеспечении надежной изоляции обнажений горных пород от влажной рудничной атмосферы позволил снизить объемы расходного материала. При этом сократились затраты на доставку и хранение, что не повлияло на качество добываемого сырья.

Соблюдение технологического цикла по проходке с минимальным временным отставанием крепления после отбойки позволяет ограничить негативное воздействие шахтной атмосферы и влажности на структурные изменения пород и потерю первоначальной устойчивости. За счет высокой производительности возведения изолирующего слоя и свойств тонконапыляемой мембраны снижается степень воздействия влажности шахтной атмосферы на обнажаемые участки горного массива.

Однокомпонентная полимерная напыляемая мембрана MasterRoc TSL 865, наносимая “сухим” способом на обнажения, предназначена для возведения крепи при проходке горных выработок и защиты пород от воздействия окружающей среды (окисления и выветривания). Начальное твердение изоляционного материала наступает через 5–10 мин. В дальнейшем набрызг-бетон может быть нанесен на мембрану сразу после ее затвердевания. Адгезионная прочность мембраны к бетону составляет не менее 1.0 МПа, что обеспечивает возможность проведения взрывных работ в непосредственной близости от покрытия. Ниже приведены технические данные мембраны MasterRoc TSL 865:

Внешний вид	Порошок
Насыпная плотность (+20 °С), г/л	690 ± 90
Расход материала на 1 м <sup>2</sup> при толщине слоя 1 мм, кг порошка	0.9
Толщина слоя, мм	2–10
Температура применения, °С	5–45
Прочность на растяжение (EN ISO 527-2), МПа:	
через 4 ч	> 0.6
1 день	> 1.5
7 дней	> 3.0
56 дней	> 3.5
Удлинение до разрыва (EN ISO 527-2), %:	
через 4 ч	> 150
1 день	> 150
7 дней	> 60
56 дней	> 50
Адгезионная прочность (DIN 1048-2) к бетону через 14 дней, МПа	1.7
Горючесть (DIN 4102-B2)	Самозатухающая

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД ОРЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В настоящее время существует множество методик прогнозирования и оценки механических свойств горных пород в водонасыщенном состоянии, разработаны программные комплексы для моделирования проницаемости угольных пластов и пород [25–27]. Для испытаний на исследуемом участке Орловской шахты отобраны керны трех типов горных пород: альбит-порфиры, метасоматиты и алевролиты [28–30]. Определение пористости руд проведено в Центре коллективного пользования геомеханических, геофизических и геодинамических измерений СО РАН (ЦКП ГГГИ СО РАН (ИГД СО РАН)) в соответствии со стандартами [31–34].

Для испытаний использовались цилиндрические образцы диаметром 30 мм с соотношением высоты  $h$  к его диаметру  $d$ , равным  $m = h/d = 2.0$ . При изготовлении образцов соблюдались требования к их геометрическим размерам [31]. Нагружение образцов при испытаниях проводилось на сервогидравлическом прессе INSTRON 8802 со скоростью 0.1 мм/с.

Установлено, что предел прочности образцов пород на одноосное сжатие при влажности воздуха 75 % и температуре +28 °С составил 65.3 МПа для альбит-порфиров, 63.8 МПа для алевролитов, 57.3 МПа для метасоматитов. Предел прочности образцов пород на одноосное растяжение при тех же условиях достиг 9.6 МПа для альбит-порфиров, 7.5 МПа для алевролитов, 6.1 МПа для метасоматитов. Предел прочности образцов пород на одноосное сжатие снижается при продолжительности сорбции 12 и 24 ч соответственно на 7.81 и 13.47 % для альбит-порфиров, 41.37 и 45.29 % для алевролитов, 43.8 и 53.05 % для метасоматитов. Предел прочности образцов пород на одноосное растяжение уменьшается при продолжительности сорбции 12 и 24 ч соответственно на 5.2 и 25 % для альбит-порфиров, 19.67 и 40.98 % для алевролитов, 29.33 и 49.33 % для метасоматитов. Естественная влажность горных пород по массе составила 1.23 % для метасоматитов, 1.15 % для алевролитов и 0.73 % для альбит-порфиров, а значения коэффициента открытой пористости — 6.89, 6.69 и 1.2 % [22].

Водопоглощение определялось путем сравнения массы образцов горной породы в насыщенном водой состоянии и после высушивания [22]. Использовано по пять образцов для каждой пробы. Измерения выполнялись через 1, 2, 24 и 48 ч. Выявлено, что водопоглощение через 48 ч находится в пределах 0.5–2.6 %, что негативно сказывается на прочностных характеристиках пород. Наиболее подвержены водопоглощению метасоматиты и алевролиты — до 2.6 % через 48 ч.

Равновесная сорбционная влажность устанавливалась при влажности воздуха 75 % и температуре +28 °С через 6, 12 и 24 ч [23]. Использовались шесть образцов для каждой пробы. Сущность метода заключается в доведении образцов горных пород, предварительно высушенных до постоянной массы, до равновесного состояния в искусственно созданных паровоздушных средах, имеющих относительную влажность воздуха 40, 60, 80, 90 и 97 % при температуре 20 °С, и последующем определении влажности этих образцов взвешиванием. Содержание сорбционной влаги в образцах за 24 ч в среде с 75 % влажностью составляет от 32 % (альбит-порфиры) до 69 % (метасоматиты) от водопоглощения за 24 ч. По истечении 48 ч впитывание влаги из воздуха горными породами прекращается.

Таким образом, установлено, что вмещающие породы без изоляции обнажаемых участков массива от рудничной атмосферы и влажности Орловского месторождения теряют первоначальную устойчивость в течение первых двух суток (до 15–50 %).

### ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЛИМЕРНОЙ МЕМБРАНЫ И ЕЕ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ

Оценка адгезии мембраны MasterRoc TLC 865 к горным породам и торкрет-бетону MasterRoc STS 1510 методом отрыва проведена в ЦКП ГГГИ СО РАН (ИГД СО РАН) на сервогидравлическом прессе INSTRON 8802 в соответствии со стандартами [35]. Образцы изготовлены из отобранных на Орловской шахте штуфовых образцов горных пород: альбит-порфиоров, метасоматитов и алевролитов, а также торкрет-бетона MasterRoc STS 1510. В качестве мембраны применялась полимерная смесь MasterRoc TLC 865. Время выдержки мембранного покрытия до начала испытания принято 1, 2, 12 и 24 ч. Схема нагружения заготовки для определения адгезии приведена на рис. 1. На образец горной породы или торкрет-бетона наносился равномерный слой мембраны. Поверхность металлического грибка, необходимого для закрепления в захватах прессы, покрывали слоем двухкомпонентного быстросохнущего эпоксидного клея. Затем совмещали покрытую мембраной и клеем поверхность образца с поверхностью металлического грибка, выравнивали в центрирующем устройстве и оставляли на время затвердевания мембраны. После выдержки заготовки ее помещали в испытательный пресс и прикладывали разрывное усилие со скоростью 1 МПа/с перпендикулярно плоскости мембранного покрытия до разрыва заготовки.

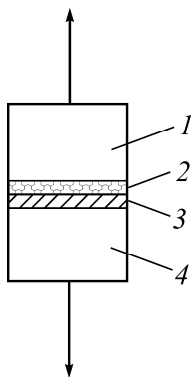


Рис. 1. Нагружение заготовки для определения адгезии: 1 — металлический грибок; 2 — клей; 3 — мембранный слой; 4 — образец горной породы или торкрет-бетона

Прочность при отрыве  $\sigma$  вычислялась по формуле  $\sigma = F / S$ , МПа, где  $F$  — разрывное усилие, кН;  $S$  — площадь поперечного сечения, покрытого мембранным слоем, см<sup>2</sup>. Затем проводился визуальный контроль поверхности для установления типа разрушения:  $A$  — когезионное разрушение образца;  $A/B$  — адгезионное разрушение между образцом материала и мембраной;  $B$  — когезионное разрушение мембраны;  $Y$  — когезионное разрушение слоя клея;  $Y/Z$  — адгезионное разрушение между клеем и металлическим грибком. Характер разрушения поверхности отрыва определялся как средний процент площади с соответствующим типом разрушения испытываемого покрытия. Результаты испытаний по определению адгезии заготовок “горная порода — мембрана” и “торкрет-бетон — мембрана” приведены в табл. 1.

Прочность мембраны MasterRoc TLC 865 на растяжение установлена по методике [36]. Для испытаний изготовлены образцы из мембраны, выдержка которых для затвердевания составляла: 1, 2, 12, 24 и 48 ч. После соответствующей выдержки образец подвергался растяжению на сервогидравлическом прессе, скорость нагружения составляла 0.1 мм/мин. Результаты испытаний образцов из мембраны представлены в табл. 2. Образцы пород в контакте с мембранным слоем при времени выдержки 24 ч изображены на рис. 2.

ТАБЛИЦА 1. Результаты испытаний по определению адгезии заготовок

Номер образца	Тип заготовки для испытаний	Время выдержки до испытания, ч	Прочность при отрыве, МПа	Характер разрушения поверхности отрыва, %
Горная порода – мембрана MasterRoc TLC 865				
1	Альбит-порфир – мембрана	1	0.12	100 В
2		2	0.13	100 В
3		12	0.25	43 А/В, 57 В
4		24	0.31	85 А/В, 15 В
Метасоматит – мембрана				
5	Метасоматит – мембрана	1	0.11	100 В
6		2	0.12	100 В
7		12	0.22	3 А, 4 А/В, 93 В
8		24	0.25	10 А, 70 А/В, 20 В
Алевролит – мембрана				
9	Алевролит – мембрана	1	0.10	73 А, 27 В
10		2	0.12	64 А, 36 В
11		12	0.21	1 А, 17 А/В, 82 В
12		24	0.34	5 А, 20 А/В, 75 В
Торкрет-бетон – мембрана MasterRoc TLC 865				
1	Торкрет-бетон – мембрана	1	0.11	100 В
2		2	0.23	100 В
3		12	0.34	100 В
4		24	0.81	100 В

Таким образом, по данным лабораторных испытаний в ЦКП ГГГИ СО РАН (ИГД СО РАН) получены следующие прочностные показатели:

— адгезия заготовок “горная порода – мембрана MasterRoc TLC 865” при времени выдержки от 1 до 24 ч: для альбит-порфиров — 0.12–0.31 МПа; метасоматитов — 0.11–0.25 МПа; алевролитов — 0.1–0.34 МПа;

— адгезия заготовок “торкрет-бетон – мембрана” при времени выдержки 1–24 ч — 0.11–0.81 МПа;

— прочность на растяжение образцов из мембраны MasterRoc TLC 865 при затвердевании в пределах 1–48 ч — 0.49–1.87 МПа.

ТАБЛИЦА 2. Результаты испытаний по определению прочности образцов из мембраны

Номер образца	Время затвердевания образца, ч	Размер поперечного сечения, мм	
		Ширина	Толщина
1	1	22.3	1.6
2	1	22.6	12.3
3	2	25.2	14.5
4	2	23.4	12.8
5	12	21.2	12.1
6	12	20.2	11.5
7	24	22.5	11.3
8	24	23.3	11.6
9	48	22.1	9.2
10	48	22.4	12.1

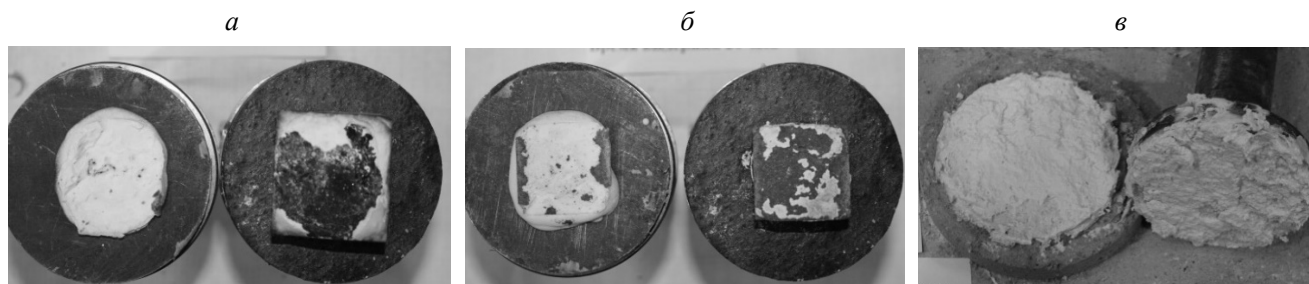


Рис. 2. Образцы в контакте с мембранным слоем при времени выдержки 24 ч: *а* — альбит-порфир; *б* — метасомит; *в* — торкрет-бетон

### ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ

Опытные-промышленные испытания технологии приготовления и нанесения изоляционного слоя из полимерной мембраны на обнаженный массив в условиях Орловской шахты проведены в выработках различного назначения. В одних случаях защитная мембрана с помощью торкрет-установки Meuso Piccola наносилась на протяженном участке горной выработки (34 м), в других слой напылялся на борта и кровлю выработки до уборки отбитой горной массы из проходческого забоя и зачистки ее с навала взорванной породы, а также после.

Удельный расход сухого порошка для нанесения слоя толщиной 1 мм на обнаженные поверхности выработки полимерной мембраны MasterRoc TSL 865 в соответствии с натурными исследованиями на Орловской шахте составил 1.25 кг/м<sup>2</sup>. В сравнении с технической характеристикой мембраны от компании-производителя BASF фактический расход порошка увеличился на 35–40 %. Это обусловлено дополнительным торкретированием изоляционной мембраной поверхности проходческого забоя и неровным контуром горной выработки (шероховатостью боков и кровли выработки).

Анализ результатов опытно-промышленных испытаний на Орловской шахте показал, что расход сухого порошка для нанесения мембраны на борта и кровлю выработок достиг 8.78 кг/м<sup>2</sup> при средней толщине наносимого слоя 5–8 мм. При сечении выработки в черне 17.1 м<sup>2</sup>, в свету 12.9 м<sup>2</sup>, закрепленной рамной металлической крепью из профиля СВП-22, расход изоляционной мембраны толщиной 7 мм (с учетом потерь) составил 93.8 кг/п.м.

С помощью хронометражных наблюдений за процессом крепления горных выработок Орловской шахты установлено, что трудоемкость нанесения напыляемой мембраны MasterRoc TSL 865 толщиной слоя 5 мм достигает 0.04 чел./ч на 1 м<sup>2</sup>; торкрет-бетонной смеси MasterRoc STS 1510 толщиной слоя 5 см — 0.16 чел./ч на 1 м<sup>2</sup>. При этом стоимость расходного материала торкрет-бетона MasterRoc STS 1510 — 10.452 тыс. долл./т; мембраны MasterRoc TSL 865 — 463.809 тыс. долл./т.

Материально-трудовые затраты на выполнение работ по возведению слоя из полимерной мембраны и торкрет-бетона на длину изоляции выработки в 30 п. м:

- количество расходного материала — 1.62 и 45.72 т;
- сметная стоимость крепления выработки — 824.743 и 573.215 тыс. долл.;
- стоимость крепления выработки с учетом накладных расходов и сметной прибыли (8 %) — 811.481 и 516.136 тыс. долл.;
- стоимость крепления с учетом налога на добавленную стоимость (12 %) — 942.186 и 654.841 тыс. долл.

В ходе шахтных испытаний установлено, что изоляционную мембрану необходимо использовать при проходке капитальных и подготовительных выработок в целиках, что обусловлено следующими причинами:

- созданием безопасных условий труда горнорабочих при последующем возведении постоянной крепи (от обрушения кусков породы и заколов);
- необходимостью изоляции законтурного массива горных пород выработки от влажности рудничной атмосферы;
- безопасной эксплуатацией капитальных горных выработок в течение длительного срока за счет снижения количества обрушений пород на постоянную металлическую рамную крепь.

Принятая технология крепления выработки обеспечила быстрый цикл нанесения мембраны на ее кровлю и борта (в течение 0,5 ч), а также практическое отсутствие отскока возводимого слоя. Выявлено, что полимерная мембрана MasterRoc TSL865 не может использоваться в обводненных забоях и при наличии водопритоков, так как после ее нанесения вмещающие породы размокают и вместе с ней отслаиваются от основного массива. Мембрану MasterRoc TSL865 не рекомендуется применять в местах куполообразований, при сильно раздробленном массиве и на контактах с закладочным массивом.

Как показали испытания, в сильно раздробленном массиве мембрана закрывает все трещины, однако при этом полностью не устраняет опасность обрушения вмещающих пород (на некоторых участках наблюдалось вывалообразование). При проведении взрывных работ отмечены единичные случаи отслаивания полимерной мембраны от бортов и кровли выработок. На некоторых участках (в нарушенных местах) при больших объемах обрушения вмещающих пород изоляционный слой мембраны разрушался. Установлено, что в условиях Орловской шахты для обеспечения безопасности горных работ в очистных выработках с увеличенным сечением, при формировании куполов в их кровле, в том числе перемятом массиве в качестве опережающего крепления, рекомендуется использовать торкрет-бетон с толщиной слоя до 10 см.

## **ВЫВОДЫ**

Выполненные лабораторные и натурные исследования свидетельствуют о перспективности применения в качестве временной изоляционной крепи горных выработок полимерной мембраны. В геологических условиях Орловской шахты лабораторными испытаниями свойств горных пород установлена возможная потеря прочности при поглощении (сорбции) влаги из шахтной атмосферы. Обнаружено, что разрушение массива пород в течение первых двух суток может достигать 15–50 % в зависимости от их типов и степени нарушенности.

Изучение прочности на растяжение и адгезии полимерной мембраны с массивом пород и торкрет-бетоном показало устойчивую связь роста их значений с увеличением времени твердения образца. При этом полученные показатели оцениваются как достаточные для изоляции обнажений боков и кровли выработок от негативного воздействия шахтной атмосферы, а также заколообразования и вывалов пород.

Опытно-промышленными испытаниями на Орловском месторождении на разных по степени нарушенности участках массива пород установлены условия и область использования разработанной технологии приготовления и нанесения изоляционного слоя из полимерной мембраны на борта и кровлю выработок. Целесообразность ее применения на шахте подтверждена при проходке капитальных и подготовительных выработок при отсутствии обводненных участков, куполообразований и раздробленных контактовых зон, а также в условиях влияния буровзрывных работ на окружающий массив.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Климчук И. В.** Внедрение новых полимерных технологий на угледобывающих предприятиях Кузбасса // Глюкауф. — 2007. — № 1 (2). — С. 88–90.
2. **Климчук И. В., Маланченко В. М.** Решение проблем безопасности на горных предприятиях России // Глюкауф. — 2008. — № 2 (3). — С. 95–97.
3. **Чубриков А. В., Риб С. В.** Развитие и совершенствование полимерных технологий на угольных шахтах Кузбасса // Вестн. Сиб. гос. индустр. ун-та. — 2016. — № 2. — С. 3–6.
4. **Чубриков А. В.** Использование полимерного покрытия Текфлекс для профилактики эндогенных пожаров // Безопасность труда в промышленности. — 2006. — № 5. — С. 11–12.
5. **Хямяляйнен В. А., Майоров А. Е.** Концепция консолидирующего крепления горных выработок // ГИАБ. — 2010. — № 8. — С. 170–174.
6. **Хямяляйнен В. А., Майоров А. Е.** Новые способы цементационного упрочнения горных пород // ГИАБ. — 2010. — № 9. — С. 212–217.
7. **Климчук И. В., Маланченко В. М.** Опыт применения полимерных технологий на горнодобывающих предприятиях России // Горн. пром-сть. — 2007. — № 4. — С. 22–25.
8. **Майоров А. Е.** Консолидация приконтурного массива пород при креплении горных выработок // Вестн. КузГТУ. — 2007. — № 1. — С. 6–11.
9. **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.
10. **Шапошник Ю. Н., Неверов А. А., Неверов С. А., Конурин А. И., Шокарев Д. А.** Разработка технологии забутовки закрепных пустот вспенивающимися материалами // ФТПРПИ. — 2018. — № 2. — С. 63–74.
11. **Мартыненко И. И., Мартыненко И. А.** Анализ применяемых способов и средств заполнения закрепного пространства твердеющими материалами // Совершенствование технологии сооружения горных выработок: межвуз. сб. науч. тр. / отв. ред. П. В. Сдобников, Кузбас. политехн. ин-т. — Кемерово, 1986. — С. 115–126.
12. **Мартыненко И. А., Золотько П. М., Мартыненко И. И.** Тампонаж закрепного пространства твердеющими материалами // Строительство шахт, рудников и подземных сооружений: межвуз. сб. науч. тр. / Свердлов. горн. ин-т. — Свердловск, 1987. — Вып. 9. — С. 70–73.
13. **Мартыненко И. И.** Заполнение закрепного пространства твердеющими материалами в подготовительных выработках // Научно-технические проблемы сооружения горных выработок: межвуз. сб. науч. тр. / Кузбас. политехн. ин-т. — Кемерово, 1991. — С. 18–28.
14. **Сердюков С. В., Шилова Т. В., Дробчик А. Н.** Полимерный изоляционный состав для создания противодиффузионных экранов в породном массиве // ФТПРПИ. — 2016. — № 4. — С. 196–203.
15. **Курленя М. В., Сердюков С. В., Шилова Т. В., Патутин А. В.** Повышение качества герметизации дегазационных скважин угольных пластов // Тр. IV Междунар. науч.-практ. конф. “Перспективы инновационного развития угольных регионов России”. — Прокопьевск, 2014. — С. 116–118.
16. **Курленя М. В., Шилова Т. В., Сердюков С. В., Патутин А. В.** Герметизация дегазационных скважин угольных пластов методом барьерного экранирования // ФТПРПИ. — 2014. — № 4. — С. 189–194.
17. **Курленя М. В., Сердюков С. В., Шилова Т. В., Патутин А. В.** Технические и методические средства герметизации дегазационных скважин методом барьерного экранирования // ФТПРПИ. — 2014. — № 5. — С. 203–210.
18. **Шилова Т. В., Сердюков С. В.** Защита действующих дегазационных скважин от поступления воздуха из горных выработок через вмещающие породы // ФТПРПИ. — 2015. — № 5. — С. 179–186.

19. Шапошник Ю. Н., Неверов С. А., Неверов А. А., Конури́н А. И., Шапошник С. Н. Геомеханическое обоснование поэтажно-камерной системы разработки при отработке нижних горизонтов Орловского месторождения // Мат-лы всеросс. конф. “Геодинамика и напряженное состояние недр Земли”. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2019.
20. Косых В. В., Волков П. В., Мажитов А. М., Шишкин В. И., Буреева Т. В., Пудовкин Н. Е. Исследование свойств горных пород месторождения “Орловское” ТОО “Востокцветмет” // Актуальные проблемы горного дела. — Магнитогорск: ФГБОУ ВО “Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова”, 2018 — № 1(5). — С. 33–37.
21. Barton N. R. Some new Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 2002, Vol. 39(2). — P. 185–216.
22. ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний (с изменениями № 1, 2, с поправками).
23. ГОСТ 24816-2014. Материалы строительные. Метод определения равновесной сорбционной влажности.
24. ВСН 126-90. Крепление выработок набрызг-бетоном и анкерами при строительстве транспортных тоннелей и метрополитенов. Нормы проектирования и производства работ, Минтрансстрой СССР, М., 1991.
25. Adhikary D. P. and Guo H. Modelling of longwall mining-induced strata permeability change, Rock Mech. and Rock Eng., 2015, Vol. 48, No. 1. — P. 345–359.
26. Kayabasi A, Yesiloglu-Gultekin N, and Gokceoglu C. Use of non-linear prediction tools to assess rock mass permeability using various discontinuity parameters, Eng. Geo., 2015, Vol. 185. — P. 1–9.
27. Xiong D. G., Zhao Z. M., and Su C. D. Experimental study on effect of water-saturated state on mechanical properties of rock in coal measure strata, Chinese J. Rock. Mech. and Eng., Vol. 30, 2011. — P. 998–1006.
28. ГОСТ 21153.0-75. Породы горные. Отбор проб и общие требования к методам физических испытаний.
29. ГОСТ 12071-2014. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов.
30. ГОСТ 12071-84. Грунты отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов.
31. ГОСТ 28985-91. Породы горные. Методы определения деформационных характеристик при одноосном сжатии.
32. ГОСТ 21153.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии.
33. ГОСТ 21153.3-85. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении.
34. ГОСТ 21153.8-88. Породы горные. Методы определения предела прочности при объемном сжатии.
35. ГОСТ 32299-2013 (ISO 4624:2002). Определение адгезии методом отрыва.
36. ГОСТ 11262-2017. Пластмассы. Метод испытания на растяжение.

*Поступила в редакцию 30/IV 2020*

*После доработки 23/V 2020*

*Принята к публикации 29/V 2020*