

622.257.1

Крепление капитальных выработок с использованием твердеющих смесей на основе шахтной породы

Представлена ресурсосберегающая технология обеспечения устойчивости капитальных горных выработок для шахт Западного Донбасса с использованием твердеющих смесей на основе пород, оставляемых в шахте. Приведены составы тампонажных, торкрет- и набрызг-бетонных смесей на основе дробленых пород. Описаны результаты опытного внедрения и перспективы применения твердеющих смесей при креплении капитальных выработок в сложных геомеханических условиях.

Ключевые слова: измельченные породы, тампонажный раствор, торкрет-бетон, набрызг-бетон, устойчивость выработок.

Контактная информация: alex.solodyankin@mail.ru

Хозяйственная деятельность человека, связанная с добычей и переработкой полезных ископаемых, существенно влияет на окружающую среду промышленно развитых территорий. Добыча угля сопровождается выдачей породы на поверхность. На территории Донбасса сейчас находится 1500 породных отвалов, общая площадь которых 700 га. Отвалы угольных шахт горят, пылят, радиоактивны, они – один из основных источников загрязнения атмосферы, почвы, грунтов, водоемов, ухудшения санитарного состояния городов и поселков.

На шахтах Центрального Донбасса объем выдаваемой породы по отношению к добытому углю составляет 60 % и более, на шахтах Западного Донбасса – около 100 % [1]. Согласно прогнозам объем выдаваемой породы будет возрастать, что обусловлено переходом к отработке пластов меньшей мощности, снижением устойчивости боковых пород, расширением объемов полевой подготовки и т. д. Переход горных работ на более глубокие горизонты повлек за собой возрастание площади сечения выработок по условиям вентиляции, безремонтного поддержания, увеличения габаритов горнопроходческого и транспортно-оборудования.

Наиболее эффективное технологическое решение для угольной промышленности Украины – оставление полученной породы в шахте и переработка отвальных пород, которые размещены на дневной поверхности.

Анализ направлений возможного использования шахтной породы в технологическом комплексе шахты. В 1980-е годы – в период наивысшего развития угольной отрасли в СССР и в Украине – была разработана программа сокращения выдачи породы из шахт [2]. Она предусматривала строитель-



А. В. СОЛОДЯНКИН,
доктор техн. наук
(Национальный горный университет)



С. Н. ГАПЕЕВ,
доктор техн. наук
(Национальный горный университет)



М. А. ВЫГОДИН,
канд. техн. наук
(Национальный горный университет)



С. А. ВОРОНИН,
инженер
(ЧАО «ДТЭК Павлоградуголь»)



С. В. МКРТЧЯН,
инженер
(ПСП «Шахтоуправление имени Героев космоса»
ЧАО «ДТЭК Павлоградуголь»)

ство стационарных дробильных комплексов для закладки породы в выработанное пространство лав и погашаемых выработок, возведение околотрековых бутовых полос с размещением в них породы, получаемой от прохождения и ремонта выработок. Однако этот комплекс работ неполный, поскольку породу как инертный материал можно использовать в качестве заполнителя для приготовления твердеющих смесей.

Одно из главных направлений повышения эффективности горных работ – обеспечение устойчивости капитальных и основных подготовительных выработок. Данный вопрос чрезвычайно актуален для шахты имени Героев космоса ЧАО «ДТЭК Павлоградуголь», где условия отработки угольных пластов относятся к категории очень сложных. Наличие геологических нарушений, развитая трещиноватость, слабые вмещающие породы, значительная потеря их прочности при увлажнении приводят к тому, что в шахте на глубине 300–500 м сложно поддерживать выработки. Это предопределяет необходимость применения замкнутых конструкций крепи, в частности КШПУ-17,7 из СВП-27 с обратным сводом (с шагом установки 0,5 м, в зоне геологических нарушений – через 0,33 м), при сооружении капитальных выработок. Затяжка крепи – железобетонная, которая при проведении обязательных тампонажных работ выполняет функции опалубки. Существенный недостаток крепи – высокая стоимость и трудоемкость возведения.

Следует отметить, что в условиях интенсивного пучения пород подошвы выработки происходит деформация обратного свода. При

проведении подрывки подошвы наличие деформированного обратного свода осложняет ремонт выработок.

Наиболее эффективный способ повышения устойчивости выработок на шахтах Западного Донбасса – тампонаж закрепного пространства. Рассматривается также возможность применения набрызг-бетонной крепи, но реализация указанных работ возможна только при своевременной доставке большого количества материалов: цемента, песка и глины – для тампонажных растворов; цемента, щебня и песка – для набрызг-бетонных смесей.

В настоящее время производительность подъема по стволам, а также пропускная способность внутришахтного транспорта подземных выработок на шахте не позволяет бесперебойно поставлять требуемое количество компонентов твердеющих смесей. Кроме того, в связи с большим объемом ручного труда и отсутствием необходимой механизации при выполнении пикетажа в комплексе тампонажных работ допускалось их значительное отставание от проведения выработок, что сказывалось на эффективности, снижало устойчивость выработок, требовало проведения дорогостоящих работ по перекреплению и подрывке породы.

Цель исследований и экспериментальных работ, результаты которых представлены в статье, состояла в усовершенствовании технологии крепления капитальных выработок за счет внедрения твердеющих смесей на основе шахтной породы от проведения выработок без выдачи ее на поверхность.

Полный комплекс усовершенствованной технологии предполагает использование новых составов твердеющих смесей, механизацию ручных операций во время тампонажа, а также внедрение дробильного комплекса, включающего оборудование для приема, дробления, складирования и доставки породы к забоям выработок.

Новые составы твердеющих смесей на основе шахтной породы. На первом этапе работ были разработаны следующие составы твердеющих смесей на основе углевмещающих пород [3, 4]:

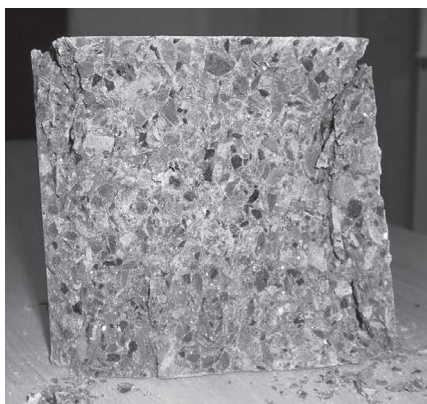


Рис. 1. Испытание образцов из торкрет-бетона на сжатие.

- для тампонажа – состав с использованием породы фракции менее 1,6 мм – цемент : : порода : песок (Ц : Пр : П) = 1 : 2 : 1, который в возрасте 28 сут имеет прочность на сжатие 17,68 МПа, обеспечивает достаточную пластичность и проникающие способности раствора;

- для торкретирования – составы Ц : Пр : П = 1 : 2 : 1 и 1 : 2,45 : 0,55 при В/Ц = 0,45 с породой фракциями 1,6–5 и 5–10 мм. Максимально возможная прочность торкрет-бетона в этом случае на сжатие 18,65 и 16,67 МПа, на изгиб 5,02 и 4,65 МПа соответственно (рис. 1);

- для набрызг-бетонирования – состав Ц : Пр : П = 1 : 2,25 : 0,75 при В/Ц = 0,5 (прочность на сжатие до 18 МПа) при применении дробленой породы всех фракций, кроме фракции менее 1,6 мм.

Полученные твердеющие материалы устойчивы к контакту с минерализованной шахтной водой и являются качественной противодиффузионной завесой, так как применяемый заполнитель (смесь аргиллитов и алевролитов) обладает способностью поглощать и удерживать воду.

Совершенствование технологии тампонажа закрепного пространства при креплении капитальных выработок. Опытно-промышленную проверку качественных показателей торкрет-тампонажа на основе шахтной породы проводили в 2014 г. во 2-м западном магистральном откаточном штреке на горизонте 370 м. Крезь выработки – КШПУ–17,7 с обратным сводом и железобетонной затяжкой, шаг установки рам крепи 0,5 м.

На экспериментальном участке вместо ручной чеканки швов железобетонной затяжки выполняли механизированное торкретирование поверхности выработки с применением торкрет-установки АС-1П (рис. 2). Торкретирование осуществляли «сухим» способом. Для этого приготавливали сухую смесь из цемента, породы и небольшого количества песка, необходимого для повышения прочности и структурной однородности наносимой смеси. Дробленую породу для приготовления смеси (штыб) получали путем зачистки пересыпов конвейерных цепочек в проходческих забоях. К месту приготовления и торкретирования ее доставляли в шахтных вагонетках ВГ-3,3.



а



б



в

Рис. 2. Выполнение работ по торкретированию: а – доставка дробленой породы; б – нанесение торкрет-бетонной смеси на стены выработки; в – качество поверхности.

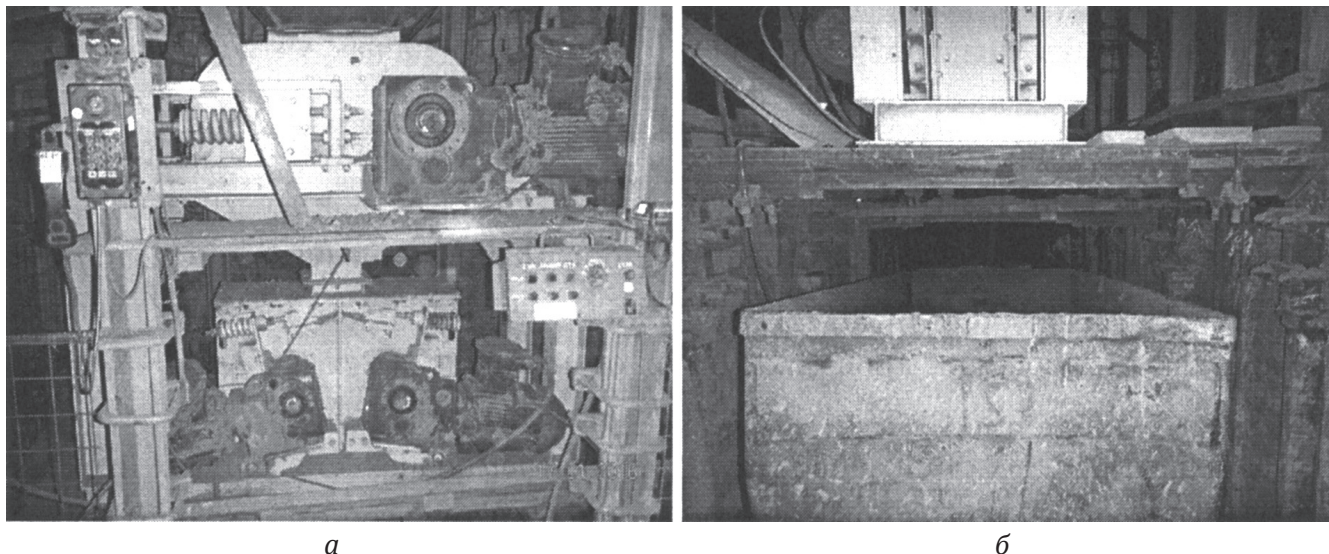


Рис. 3. Подземный дробильный комплекс шахты имени Героев космоса: *а* – двухуровневая дробилка валкового типа 2ВД; *б* – узел загрузки дробленой породы.

Обследование экспериментального участка показало, что торкрет-пикотаж на основе шахтной породы не имеет трещин, обладает хорошей адгезией с железобетонной затяжкой и элементами крепи, создает антикоррозионную оболочку для металлических элементов крепи. Фактически достигнутые темпы по тампонажу выработки с механизированным торкрет-пикотажем превышали 90 м/мес, что позволяло выполнять работы без отставания от проведения выработки.

В 2016 г. в рамках выполняемого комплекса работ специалисты шахты в 6-м западном магистральном откаточном штреке горизонта 490 м установили подземный дробильный комплекс с экспериментальной двухуровневой дробилкой валкового типа 2ВД (рис. 3). Это позволило в полном объеме выполнять тампонажные работы с использованием торкрет-бетонных и тампонажных смесей.

Эффективность выполнения комплекса тампонажных работ оценивали во 2-м западном магистральном конвейерном штреке горизонта 470 м. На этом участке установлены крепь КШПУ-17,7 с шагом 0,5 м и ряд анкеров (13 шт.) между рамами крепи. Затяжка: кровля – железобетонная; борта – дерево + сетка. При проведении выработки в настоящее время отставание тампонажных работ от забоя составляет не более 40 м. В комплексе

с усилением пород кровли анкерами это благоприятно сказывается на состоянии выработки – отсутствуют деформации элементов крепи, нет деформированной и поломанной затяжки.

На момент проведения тампонажных работ смещения породного контура снижаются в 2–3 раза по сравнению с контрольным участком без анкерования. Таким образом, тампонажные работы выполняются в более благоприятных условиях, когда породный массив не имеет больших разрушений и в значительной степени сохраняет несущую способность, а крепь выработки (главным образом затяжка) не нарушена и не требует дополнительного ремонта. В дальнейшем данное обстоятельство дает возможность сохранить выработку в устойчивом состоянии при меньших объемах работ, связанных с подрывкой подошвы и перекреплением.

Перспективы применения набрызг-бетона при креплении капитальных выработок. Использование дробильного оборудования и твердеющих материалов с применением породы позволяет внедрить крепь АСН+А (арка + сетка + набрызг + анкер) [5], в технологии возведения которой ликвидируются такие операции, как установка железобетонной затяжки и забутовка закрепного пространства.

Конструкция крепи включает металлическую арочную податливую крепь из легкого профиля СВП-17 или СВП-19 (рис. 4) и металлической сетчатой затяжки (рис. 5). Рамы крепи устанавливают с шагом 1 м. Закрепное пространство заполняют с помощью набрызг-бетона, наносимого на породный контур через ячейки затяжки с помощью торкрет (набрызг-бетонной) установки. Чтобы в приконтурном пространстве могли развиваться системы наведенной трещиноватости, набрызг-бетонное покрытие наносят после того, как забой выработки подвинулся на 30–50 м.

В этом случае твердеющая смесь по трещинам проникает в массив, скрепляя и упрочняя его, т. е. выполняя по существу тампонаж. Для того чтобы набрызг-бетонные работы можно было отодвинуть на достаточное расстояние от зоны работающих механизмов и предупредить большие смещения и деформации приконтурного массива, отслаивание и обрушение пород кровли, непосредственно в забое выработки устанавливают сталеполимерные анкеры.

При возведении крепи целесообразно использовать два слоя набрызг-бетона. Первый слой, высокопластичный материал, проникающий сквозь металлическую сетку в образовавшиеся трещины породного массива, наносят с небольшим отставанием от забоя. Второй слой – несущий, жесткий, наносят с большим отставанием от забоя и с большей толщиной слоя. При его нанесении желательно вводить армирующие компоненты (фибру) или высокопрочные заполнители.

В настоящее время можно применять разные виды фибры – металлическую, полипропиленовую, стекловолоконную, полиамидную, базальтовую. Дисперсное армирование позволяет увеличить прочность набрызг-бетона при изгибе в 2–3 раза. Прочность набрызг-бетона (за счет его уплотнения при нанесении) на 30–35 % выше, чем образцов бетона того же состава, уплотненного на виброплощадке.

Набрызг-бетон, наносимый на поверхность выработки, омоноличивает породу, укрепляет ее поверхностный слой, повышает сцепление между отдельными блоками породы и препятствует дальнейшему расщеплению и обрушению приконтурного массива. Кроме того, монолитный слой набрызг-бетона предотвращает доступ воздуха и влаги к породе, т. е. препят-

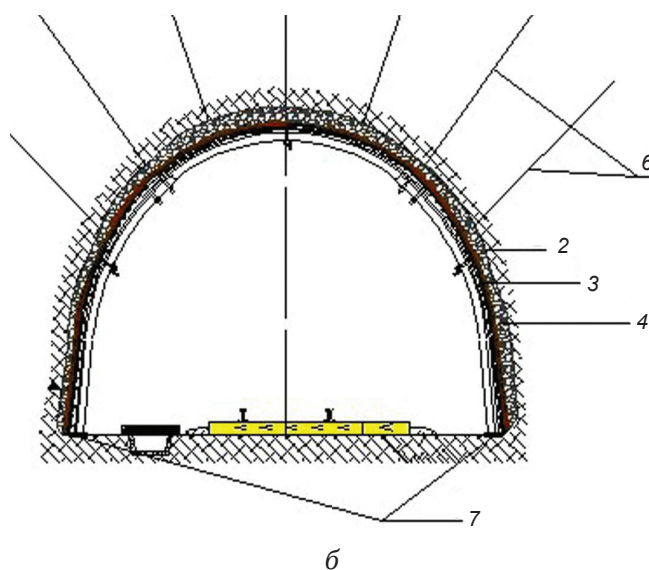
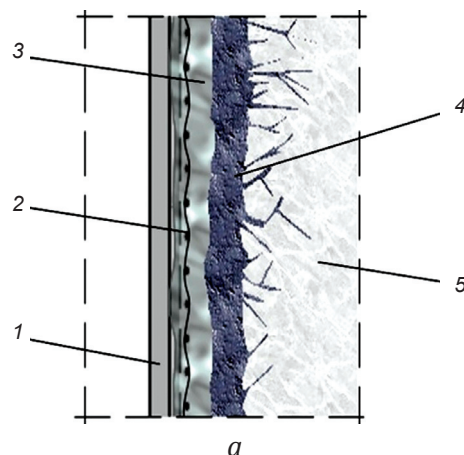


Рис. 4. Конструкция крепи АСН+А (арка+сетка+набрызг+анкер): а – структура крепи; б – схема установки элементов крепи; 1 – рама металлической сетчатой затяжки; 2 – металлическая сетчатая затяжка; 3 – второй слой набрызг-бетона (несущий); 4 – первый слой набрызг-бетона (высокопластичный, податливый); 5 – приконтурный породный массив; 6 – анкеры; 7 – подпятники.

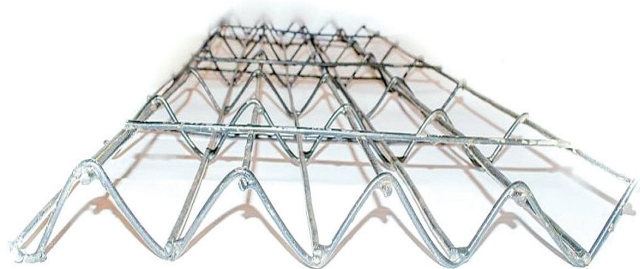


Рис. 5. Пространственная металлическая затяжка.

ствуется выветриванию и увлажнению наиболее нарушенной зоны пород.

Механизация процесса заполнения закрепленного пространства слоем набрызг-бетона увеличит темпы проведения выработки, позволит существенно повысить качество работ, работоспособность крепи и, в конечном счете, обеспечит длительную устойчивость капитальных выработок.

В качестве затяжки планируется использовать пространственную металлическую сетчатую затяжку, что совместно с набрызг-бетоном дает возможность в несколько раз повысить несущую способность межрамного ограждения, т. е. снизить металлоемкость рамной металлической крепи. Набрызг-бетон целесообразно наносить слоем 5–15 см за один прием.

Выводы. Из анализа предложенных технологических схем дробления пустой породы и ее использования для приготовления твердеющих смесей следует, что их внедрение несколько усложнит цикл работ. Однако эти сложности не критичны, так как в результате снижается нагрузка на подъем ствола и транспортную сеть шахты. Кроме того, предлагаемое оборудование доступное и простое в эксплуатации.

Применение механизированного торкретирования внутренней поверхности крепи с торкрет-установкой АС-1П, а также замена песка дробленой шахтной породой позволило устранить отставание тампонажных работ от горнопроходческого комплекса, что положительно сказалось на состоянии выработки, увеличило срок службы и уменьшило затраты на ее последующий ремонт. Одновременно с переходом от крепей с обратным сводом на рамно-анкерную крепь это на 15 % снизило стоимость проведения 1 м капитальной горной выработки даже с учетом затрат на комплект сталеполимерной анкерной крепи.

Совершенствование технологии и организации проведения работ по торкретированию и тампонажу, а также увеличение объемов дробленой породы в торкрет-бетонных и тампо-

нажных смесях дало возможность существенно (до 500 грн на 1 м выработки) уменьшить стоимость тампонажных работ.

Дальнейшее увеличение доли использования дробленой породы в твердеющих смесях для тампонажа капитальных и основных подготовительных выработок, а также переход на крепь АСН+А с заменой железобетонной затяжки на набрызг-бетонное покрытие и использование облегченных видов спецпрофиля позволит получить значительный экономический эффект.

Следует также отметить экологический аспект рассмотренной технологии. Использование породы в шахте снижает негативное влияние на природный ландшафт прилегающих территорий за счет сокращения выбросов в атмосферу опасных газов и пыли, уменьшения степени загрязнения грунтов, водоемов и подземных вод. Это благотворно влияет на здоровье людей, проживающих вблизи горнодобывающих предприятий. Кроме того, сохраняются площади земель, ранее отводимые под породные отвалы, эффективнее используются в качестве строительных материалов земельные и природные ресурсы – песок, щебень, глина.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бойко В. В.* Економічна оцінка впливу зольності вугілля на вибір способу проведення виробок / В. В. Бойко, О. А. Аскарів, О. П. Теницька // Уголь України. – 2006. – № 10. – С. 7–9.
2. *Щеєр М. Г.* Соповщення по оставленію породи в шахте // Уголь України. – 1987. – № 2. – С. 5–6.
3. *Коваленко В. В.* Особенности использования шахтной породы в качестве замены части заполнителя при приготовлении торкрет-бетона / В. В. Коваленко, В. С. Гаркуша // Уголь України. – 2014. – № 12. – С. 38–42.
4. *Тампонажные и торкрет-бетонные смеси для крепления капитальных выработок / А. В. Солодянкин, М. А. Выгодин, В. С. Гаркуша [и др.] // Вісн. Криворізького нац. ун-ту. – 2015. – Вип. 39. – С. 111–116.*
5. *Смирнов А. В.* Оценка экономической эффективности использования различных вариантов конструкции крепи типа АСН-А // Форум гірників: матеріали міжнарод. конф., 5–8 жовтня 2016 р. – Дніпропетровськ: ЛізуновПрес, 2016. – Т. 1. – С. 46–49.