

УДК 552.68.552.123

д.т.н. Клишин Н. К.,

к.т.н. Касьян С. И.

(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, kasyan_dmti@mail.ru)

Чепурной Д. С.

(Филиал «Шахта «Никанор-Новая» ГУП ЛНР «Центруголь» г. Зоринск, ЛНР)

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТРЕЩИНОВАТЫХ КРОВЕЛЬ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИХ УПРОЧНЕНИЮ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ ШАХТ

Предложенный бесшпуровой способ упрочнения кровли в лавах на основании изучения свойств кровли: трещиноватости, проницаемости пород, морфологии поверхности трещин. Дано обоснование и исследованы параметры бесшпурового способа. Исследованы свойства трещиноватых пород и прохождение сейсмоакустических волн.

Ключевые слова: трещиноватость кровли, распространение сейсмоакустических волн, параметры упрочнения.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

С 1960 г. поставлена задача создать комплексную механизированную безлюдную технологию выемки угля в лавах. Поэтому разработка бесшпурового способа упрочнения кровли основана на изучении трещиноватых кровель. Упрочнение массива пород в шахтах началось в 90-х годах прошлого столетия. Были разработаны способы (упрочнение нагнетанием скрепляющих составов и химическое анкерование), составы для упрочнения и оборудования [1, 2, 3]. Эти способы трудоемкие, так как бурение шпуров по каждой технологии составляет 25 % от общего времени.

Необходимо изучить свойства разрушенных пород и на их основе создать безлюдную выемку угля, для чего нужно проанализировать трещиноватость (шт/м²), анизотропию, состав и прочность или адгезию образцов после упрочнения.

Цель исследования – обосновать бесшпуровую технологию упрочнения породы трещиноватых кровель.

Ниже приведены основные результаты исследования трещиноватых пород.

Трещиноватость пород изучена на обнажениях пород, на сопряжении лав с выработками, на протяженных участках лав. Для изучения влияния геологических факторов и

частоты трещинообразования на сопряжениях лав с выработками проведены исследования в широком диапазоне изменения глубины, мощности пласта и неустойчивой кровли, а также ее предел прочности. Данные исследований обработаны, и получены уравнения множественных и парных регрессий. В результате исследований парных регрессий геологических факторов на частоту трещинообразования установлена слабая теснота связи при оценке коэффициентов корреляции. После этого анализировались зависимости от нескольких факторов и по результатам чего построены уравнения множественных регрессий:

- количество трещин на 1 м параллельно забою лавы

$$n_1 = -9,91 + 7,11m + 0,01H - 1,08h_n + 18,34\sigma_p^{-1} + 0,8h_c^{-1}, \text{ шт/м; (1)}$$

$$R = 0,69; \quad F = 6,62; \quad \alpha = 0,17 \cdot 10^{-3};$$

- количество трещин на 1 м перпендикулярно забою лавы

$$n_2 = -8,81 + 7,1m + 0,02H - 0,74h_n + 3,341\sigma_p^{-1} + 0,6h_c^{-1}, \text{ шт/м; (2)}$$

$$R = 0,65; \quad F = 5,28; \quad \alpha = 0,95 \cdot 10^{-3},$$

где n_1 – количество трещин на 1 м параллельно забою лавы, шт/м; n_2 – количество трещин на 1 м перпендикулярно забою ла-

вы, шт/м; m – мощность пласта, м; H – глубина разработки, м; h_n – мощность непосредственной кровли, м; σ_p – предел прочности на разрыв нижнего слоя непосредственной кровли, МПа; h_c – мощность слоя упрочняемых пород, м; R – коэффициент корреляции; F – значение критерия Фишера; α – уровень надёжности критерия Фишера.

Всего проработано 23 модели с 54 участками условий. На основании обработки результатов моделирования на всех моделях получено уравнение множественной регрессии для определения реакции скрепляющего слоя (в размерностях природы):

$$R_c = 9,7 - 1,45r^{-1} + 0,031(\beta + 0,017)^{-1} - 0,29a^{-1} + 1,7h^{-1} - 8,3\varphi^{-1}, H / \text{мм}, \quad (3)$$

где r – ширина захвата комбайна, м; β – угол встречи трещин с лавой, рад; a – расстояние между трещинами, м; h – мощность склонных к обрушению пород, м; φ – угол наклона трещин к напластованию, рад.

Постановка задачи. Детальное изучение свойств трещиноватых пород для достижения поставленной цели.

Изложение материала и его результаты. Донбасс – важнейший угольный бассейн страны, один из крупнейших промышленных центров, который находится на юге европейской части, в пределах Донецкой и Луганской областей [4].

Донецкий угольный бассейн каменноугольного возраста. В основании угленосных отложений залегают докембрийские изверженные и метаморфические породы, а также осадочные образования девона. Последующая толща представлена отложениями карбона, перми, триаса, юры, мела, палеогена, неогена и четвертичным покровом.

В структурном отношении Донбасс представляет крупный синклиорий, вытянутый почти в широтном направлении и осложненный системой складчатых структур.

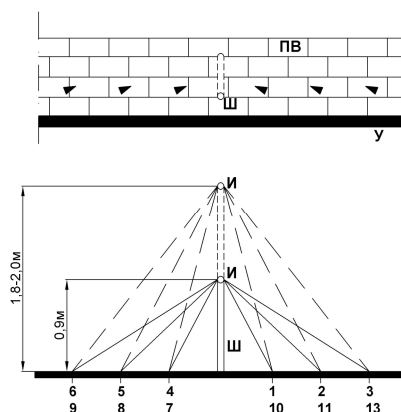
В кровле пластов залегают аргиллиты, иногда – алевролиты и песчаники, редко – известняки. Почва пластов угля представле-

на аргиллитами или алевролитами, многие угольные пласты имеют простое строение.

Бассейн разделен на геолого-промышленные районы. Выделение районов обосновано геологическими, географическими, экономическими и историческими особенностями.

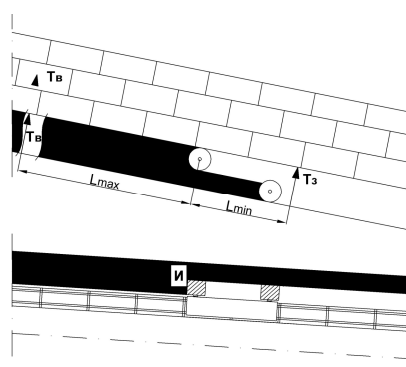
Во многих случаях шахтные поля граничат одно с другим, поэтому шахты разрабатываются с одинаковыми условиями, и полученные результаты трещиноватости по шахте «Никанор-Новая» можно распространить и на другие условия.

Сейсмоакустические свойства изучены по схемам (рис. 1 – 2).



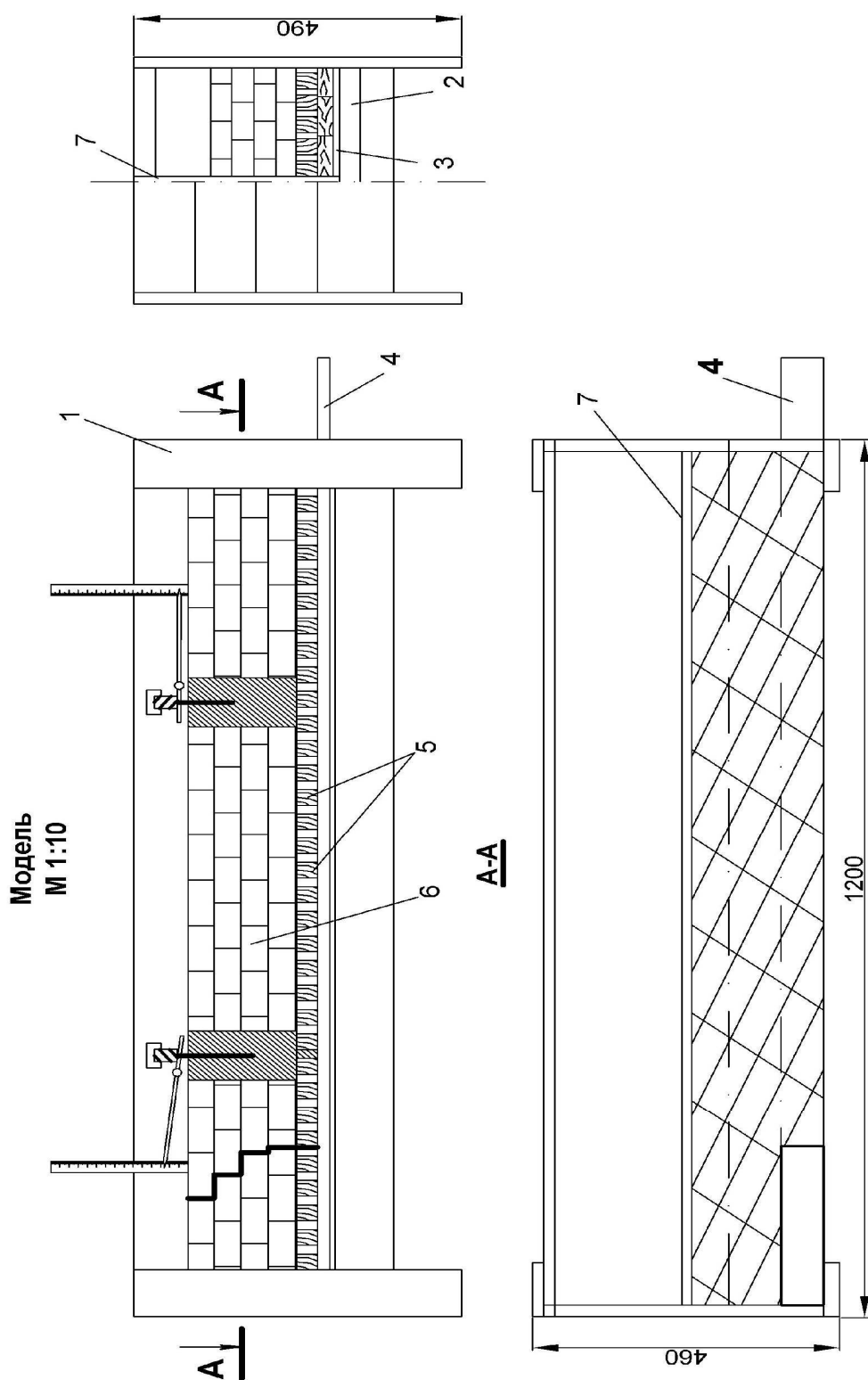
Обозначения: И - источник сигнала; У - уголь; ПВ – поверхность вывала; 1-12 – очередность замеров

Рисунок 1 Схема сейсмоакустического зондирования кровли в лаве



Обозначения: И - источник сигнала; Тв – передний репер; Тз – задний репер

Рисунок 2 Схема сейсмоакустического профилирования кровли в лаве



Обозначения: 1 – опора; 2 – поперечный брус; 3 – фанера; 4 – выдвижная рейка;
5 – деревянные призмы; 6 – нарушенный массив; 7 – перегородка

Рисунок 3 Конструкция стенда для моделирования эквивалентными материалами

В лаборатории создана трещиноватость пород и изучено обрушение кровли после выемки определенного объема угля (рис. 3).

Сущность способа: обнажив поверхность, на нее набрасывают скрепляющий состав, после затвердевания которого создается твердый прочный слой.

Одним из основных направлений развития подземной добычи угля является переход на малооперационные технологии, комплексную механизацию и автоматизацию производственных процессов. При создании угледобывающих агрегатов, работающих без постоянного присутствия людей в забое, решаются задачи дистанционного автоматического контроля и управления всеми силовыми установками, местоположением выемочной машины и исполнительного органа по гипсометрии, параметрами и передвижением секций механизированной крепи, прямолинейностью агрегата.

Донбасским горно-металлургическим институтом исследованы закономерности фильтрационных, сейсмоакустических, структурно-механических свойств нарушенной кровли в очистных забоях для разработки системы контроля состояния и параметров технологии упрочнения кровли нагнетанием составов.

Предложен бесшпуровой способ упрочнения кровли в лаве [5], сущность которого заключается в следующем. При отработке угольного пласта после выемки угля в лаве происходит обрушение кровли у угольного забоя (рис. 4). На разлом этих пород сплошную наносится синтетический клей, который после отверждения образует скрепляющий слой 1; затем клей наносится на обнажаемую при выемке угля поверхность кровли для создания защитного слоя 2. Скрепляющий и защитный слои предотвращают вывалы породы в призабойное пространство лавы.

Толщина скрепляющего слоя зависит от прочности отвержденного состава. Наиболее прочными являются составы на основе эпоксидных смол, которые нашли приме-

нение для гидроизоляции выработок, но не применяются для упрочнения пород набрызгом из-за большой вязкости, стоимости и токсичности.

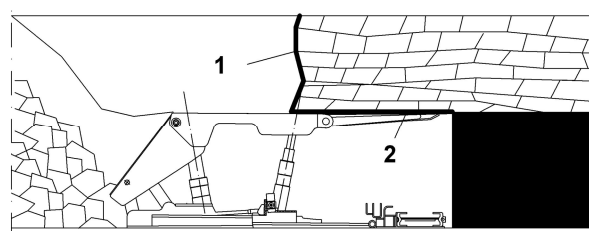


Рисунок 4 Схема бесшпурового упрочнения пород

В результате анализа геологической документации по 18 разрывным нарушениям с амплитудой от 0,3 до 10 м установлено, что в лежачем крыле на расстоянии 25–10 м наблюдается тенденция к значительному росту интенсивности трещиноватости, а в непосредственной близости (5–7 м) — мертвая зона, где интенсивность трещиноватости равна нормальному фону; в висячем крыле интенсивность трещиноватости наблюдается на расстоянии 20–60 м от разрыва [6].

Сигнал от работающего шнека комбайна распространяется в кровле на расстояние от 6 до 12 м; по мере удаления комбайна от приемника волн интенсивность сейсмоакустических волн уменьшается. На всех участках с устойчивой кровлей показания прибора ЛС-01 были в 1,5–2,0 раза больше, чем на участках нарушенной неустойчивой кровли, которая обрушалась после выемки угля.

Сущность моделирования: участок лавы длиной 12 м моделируется в натуре в месте вывала трещиноватой неустойчивой кровли, часть которого упрочняется бесшпуровым способом путём создания на поверхности вывала скрепляющего слоя; во время выемки угля трещиноватая неустойчивая кровля обрушается, а упрочненная зависает и не обрушается; измеряется усилие, необходимое для удержания кровли от обрушения, возникающее в скрепляющем слое при различных параметрах

трещиноватости, высоте обрушающихся пород, ширине захвата комбайна и др.

Состав эквивалентного материала, массовых частей: песок – 75; смола марки МФФ-М – 18; 6% раствор щавелевой кислоты – 7; объемная масса эквивалентного материала 1550 кг/м^3 .

При изготовлении и отработке моделей соблюдаются требования геометрического, кинематического и динамического подобия. Масштаб моделирования 1:10. Для соблюдения граничных условий протяженного вывала кровли вдоль лавы связь материала с торцевой стенкой модели разрушается перед началом отработки модели. Соблюдены граничные условия сверху и со стороны массива: над склонными к обрушению породами находится необрушающийся слой кровли; с задней стороны модели – массив пород. Начальные условия выполняются путем создания трещиноватости, слоистости массива, обеспечивающих обрушение пород под действием собственного веса на неупрочненном участке после выемки угля.

Технология изготовления и отработки модели следующая. На основание стенда укладываются рейки, ширина которых равна ширине захвата комбайна (0,08, 0,06, 0,04 м), а поверх реек – такой же ширины призмы, имитирующие угольный пласт. Здесь и далее приведены размеры модели. На призмы насыпается слой песка толщиной от 1 до 3 мм. С фасада модели устанавливается опалубка и закрепляется защелками, а у задней продольной перегородки по всей её длине укладываются деревянные прокладки толщиной 5 мм.

Песок, смола, раствор кислоты тщательно перемешиваются в течение 60–120 с до получения однородной массы. Эквивалентный материал высыпается за опалубку, разравнивается, слегка уплотняется, присыпается песком, проглаживается катком через картон, уплотняется до получения ровной поверхности и равномерной плотности слоя. После этого извлекаются деревянные прокладки у задней перегородки стенда, в результате чего образуется

компенсирующая полость. Далее слой разделяется на отдельные блоки шириной 0,08 м поперек модели и длиной 0,1 м вдоль её продольной стороны. Блоки раздвигаются для образования компенсирующих полостей, которые необходимы для облегчения нанесения трещин и для предотвращения их смыкания.

Первоначально наносится вспомогательная система трещин. Шаблоны имеют прорези через 0,01 м, расположенные под заданными углами. Шаблон накладывается на поверхность слоя, через прорези вставляются металлические ножи, начиная от середины блока к торцу, т. е. в сторону компенсирующей щели. После установки от 4 до 5 ножей они извлекаются, но в обратном порядке. Этим предотвращается закрытие трещин при их нанесении. Затем шаблон переставляется на другой участок поверхности слоя.

Основная система трещин наносится по описанной выше технологии после нанесения трещин вспомогательной системы. Трещины этих систем взаимно перпендикулярны. Следующий слой закатывается через сутки. Чтобы не произошло сцепление слоя, перед закаткой на отвержденный слой насыпается слой песка толщиной 2–3 мм. Самый верхний слой трещинами не разрушается, модель не пригружается, так как моделируется небольшая толща пород, обрушающихся под действием собственного веса после выемки угля комбайном в лаве.

Разрез перпендикулярен протяженному участку лавы после выемки угля (породы в прямоугольнике) на ширину r , сохраняется связь с необрушающимся слоем.

Рассматриваются неустойчивые породы, которые обрушаются при выемке угля, если они предварительно не упрочнены.

Для комбинированного упрочнения пород на поверхности создается скрепляющий слой, который прикрепляется к необрушающимся породам.

При разработке быстроотверждающихся составов для набрызга на поверхность предъявляются несколько требований, а

именно: не стекать с поверхности пород и быстро отверждаться. В ДГМИ исследованы составы на основе карбамидных, полиуретановых, эпоксидных смол; установлено, что применяемые на практике для нагнетания полиуретановые и карбамидные составы не отвечают приведенным выше требованиям. На основании патентного поиска быстроотверждающихся смол установлена возможность модификации карбамидных составов поливинилацетатной дисперсией для получения прочного быстроотверждающегося состава.

Мочевинно-формальдегидная фурфуролом модифицированная смола МФФ-М марки Б является основой полимерной композиции, содержащей также поливинилацетатную дисперсию ДФ-48/5с, служащую для растворения щавелевой кислоты. Диапазон содержания отдельных компонентов, массовых частей: МФФ-М – 28...70; ПВА дисперсия – 28...70; щавелевая кислота – 1,8...6,2. По отношению к смоле содержание кислоты в композиции от 2,85 до 14,3 %.

После обработки данных испытаний на растяжение 116-ти отвержденных образцов получено уравнение множественной регрессии:

$$\sigma_p = 015 + 0,00035x_c^2 + 1,32x_k, \text{ МПа}, \quad (5)$$

где σ_p – предел прочности на растяже-

ние, МПа; x_c – содержание смолы, %; x_k – содержание кислоты, %.

Коэффициент множественной регрессии 0,46, его надежность 2,7. Согласно уравнению наибольшая прочность образца при содержании смолы 70 %, кислоты 2 %, т. е. при граничных значениях содержания смолы и кислоты. Через сутки предел прочности на растяжение составил от 0,9 до 3,7 МПа.

Выводы и направление дальнейших исследований.

В результате исследований обоснована технология бесшпурового упрочнения пород кровли на моделях из эквивалентных материалов и доказана возможность ее осуществления. Фактором, влияющим на количество трещин, является предел прочности на разрыв нижнего слоя непосредственной кровли, при уменьшении которого ниже 2 МПа наблюдается резкое увеличение количества трещин на 1 м и, как следствие, разрушение монолитности породы и вывалообразование. Установлено, что толщина упрочнения слоя 0,5–2,0 мм и больше, а время отвердевания скрепляющего состава до 30 секунд.

Направление дальнейших исследований – создание автоматизированной безлюдной технологии во времени с упрочнением неустойчивых пород набрызгом скрепляющих составов.

Библиографический список

1. *Химический способ упрочнения пород в очистных забоях угольных шахт [Текст] / И. Т. Бутенко и др. — Киев : Техника, 1978. — 69 с.*
2. *Сальников, В. К. Опыт работы угольных шахт Украины по упрочнению неустойчивых горных пород: Экспресс-информация [Текст] / В. К. Сальников, В. В. Леонов. // ЦНИЭИуголь. — М. : Недра, 1982. — 21 с.*
3. *Васильев, В. В. Физико-химическое укрепление неустойчивых горных пород [Текст] / В. В. Васильев, В. К. Сальников, Л. П. Томашевский // Уголь. — № 1. — 1983. — С. 25–27.*
4. *Шахты Донецкого бассейна [Текст] / Под ред. А. П. Судоплатова, А. М. Курносова. — М. : Недра, 1965. — 611 с.*
5. *А.с. СССР 810971, М.Кл. ЗЕ 21С 41/04. Способ поддержания кровли / Н. К. Клишин, А. А. Ефименко, А. А. Пятаченко, Ю. Ф. Савенко. — № 2763100/22-03; заявл. 04.05.79; опубл. 07.03.81, Бюл. № 9. — 3 с.: ил.*
6. *Крамаренко, А. И. Особенности проявлений разрывных нарушений и методика изучения [Текст] / А. И. Крамаренко // Уголь Украины. — 1979. — № 10. — С. 55–56.*

© Клишин Н. К.

© Касьян С. И.

© Чепурной Д. С.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А.,
к.т.н., доц. СУНИГОТ ЛГУ им. Даля Штанько Л. А.*

Статья поступила в редакцию 18.11.16.

**д.т.н., проф. Клішин М. К., к.т.н. Касьян С. І., Чепурний Д. С. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)
ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРІЩИНУВАТИХ ПОКРІВЕЛЬ СТОСОВНО ДО ЇХ
ЗМІЦНЕННЯ В ОЧИСНИХ ВИБОЯХ ШАХТ**

Запропонований бесшпуровий спосіб зміцнення покрівлі в лавах на підставі вивчення властивостей покрівлі: тріщинуватості, проникності порід, морфології поверхні тріщин. Дано обґрунтування та досліджено параметри бесшпурового способу. Досліджено властивості тріщинуватих порід і проходження сейсмоакустичних хвиль.

***Ключові слова:** тріщинуватість покрівлі, поширення сейсмоакустичних хвиль, параметри зміцнення.*

**Doctor of Tech.Sc. Klischin N.K., PhD Kasiiian S.I., Chepurnoi D.S. (DonSTU, Alchevsk, LPR)
INVESTIGATION THE PROPERTIES OF FRACTURE-INDUCED ROOFS CONSIDERING
THEIR STRENGTHENING IN MINE WALL FACE**

The proposed spurless method for roof strengthening in wall is based on studying roof properties: fracture-induced, rock permeability, cracking surface morphology. The parameters of spurless method have been argued and studied. There have been studied the properties of fracture-induced roofs and occurrence of seismoacoustic waves.

***Key words:** roof fracturing, advance of seismoacoustic waves, strengthening variables.*