

УДК 622.268.2

А.В. СОЛОДЯНКИН (д-р. техн. наук, проф.)

К.В. КРАВЧЕНКО (канд. техн. наук)

А.З. ПРОКУДИН (аспирант)

Государственное ВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

А.М. ВЫГОДИН (инженер)

Частное предприятие фирма «МЛАД», г. Днепропетровск

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ТАМПО- НАЖА ЗАКРЕПНОГО ПРОСТРАНСТВА

Определены основные направления повышения устойчивости капитальных горных выработок для условий шахт Западного Донбасса. Рассмотрены проблемные моменты технологии тампонажа закрепного пространства. На основании натурных наблюдений предложены две технологические схемы производства тампонажа. Рекомендации и технические решения 1-й схемы, прошли опытно-промышленное внедрение, показав хорошие результаты и качество работ. Для реализации 2-й схемы разработана методика численного моделирования, на основании которой определена зависимость влияния числа установленных в кровле анкеров и расстояния от забоя, на величину пучения пород почвы.

Ключевые слова: капитальная горная выработка, комбинированная крепь, тампонаж закрепного пространства, торкретирование.

Интенсификация горных работ на шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» направлена на повышение объемов добычи угля, что требует реализации комплекса мероприятий, обеспечивающих надежное и эффективное выполнение всех операций технологического цикла, в том числе обеспечения устойчивости протяженных выработок. Однако эта задача усложняется тяжелыми горно-геологическими условиями Западного Донбасса, в частности наличием слабометаморфизированных вмещающих пород и их склонностью к размоканию с потерей несущей способности; ярко выраженной тонкослоистой текстурой массива пород и слабым контактом между слоями (в отдельных случаях отсутствием его); интенсивным пучением пород почвы, расслоением и обрушением пород кровли [1].

Анализ состояния протяженных горных выработок показывает, что влияние горного давления не в полной мере компенсируется крепью, поэтому сохранение выработок в удовлетворительном состоянии достигается лишь благодаря регулярному проведению ремонтных работ. Для уменьшения их объема или полного исключения, необходимо применение эффективных способов поддержания горных выработок.

Основные направления повышения устойчивости выработок для условий Западного Донбасса: рациональное расположение очистных и подготовительных выработок; разработка новых и совершенствование традиционных конструкций крепей; использование окружающего выработку породного массива в совместной работе с крепью.

Опыт сооружения и эксплуатации шахт в сложных горно-геологических условиях показывает, что наибольший эффект в повышении устойчивости выработок дают мероприятия, направленные на создание взаимодействующей системы крепь-массив, упрочнение и предупреждение расслоений приконтурных пород: частичное или полное заполнение закрепного пространства, глубинное или приконтурное упрочнение массива вяжущими веществами либо анкерами.

Наиболее эффективным способом создания системы крепь-массив является полное заполнение закрепного пространства. При этом в результате равномерного распределения нагрузки, устранения вредного влияния сосредоточенных нагрузок и перекоса, более рационально используется материал самой металлической крепи, снижаются изгибающие моменты, эффективнее работают узлы податливости, появляется дополнительный несущий слой из затвердевшего (уплотненного) материала. Крепь работает не на поддержание потерявших устойчивость пород, а в режиме взаимовлияния с окружающим массивом. Несущая способность крепи в этом случае увеличивается в несколько раз. Как показал опыт применения разных способов заполнения закрепного пространства выработок на шахтах Украины, тампонаж наиболее

радикальное и доступное, а на ряде шахт ПАО «ДТЭК Павлограду голь» - единственное приемлемое средство сохранения выработок в сложных горно-геологических условиях [2].

Результаты исследований, приведенные в работе [3], свидетельствуют, что заполнение закрепного пространства выработок, закрепленных арочной металлической крепью, и использование анкеров для укрепления боковых пород штрека, способствуют уменьшению конвергенции примерно на 1/3, а применение механизированного заполнения закрепного пространства более экономично, чем перекрепление или проходка новой выработки.

В ходе исследований состояния протяженных выработок шахт, выполненных в 1980-е годы, установлено, что в массиве пород вокруг выработок, не подверженных влиянию очистных работ, формируется с некоторым разрывом во времени несколько зон разрушения (рис. 1). Процесс их образования показан на рис. 2 [4].

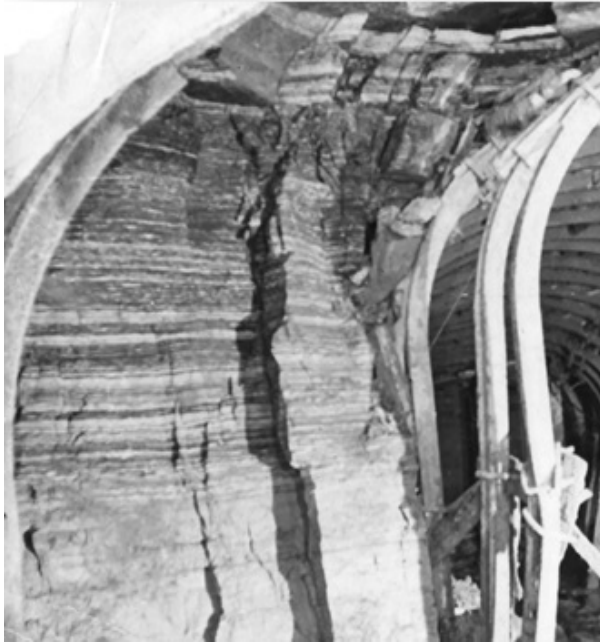


Рис. 1. Расслоение пород приконтурного массива

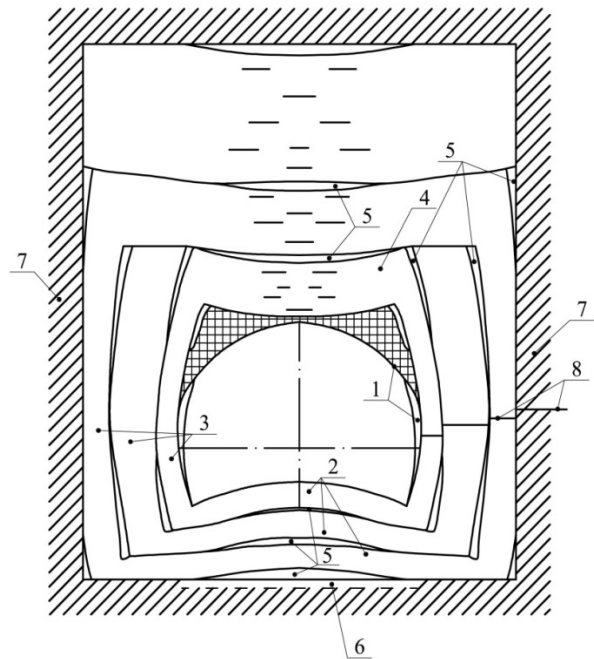


Рис. 2. Схема деформирования (разрушения) пород приконтурного слоя и образования зон разрушения: 1- металлическая арочная податливая крепь; 2 – деформированные породы подошвы выработки; 3 – деформированные боковые породы; 4 – деформированные породы кровли; 5 – пустоты и трещины в деформированных (разрушенных) породах приконтурного слоя; 6 – вода; 7 – ненарушенный массив; 8 – маркирующий слой

Принимая во внимание такую модель деформирования приконтурного массива, для замедления первоначальных смещений породного контура, прежде всего, необходимо предотвратить деформацию пород кровли. Для своевременного воздействия требуется знать временные параметры развития перемещений. С этой целью и были проведены натурные наблюдения при сооружении северного конвейерного уклона горизонта 470 м шахты имени Героев Космоса ПСП «Шахтоуправление им. Героев Космоса».

Отдельные участки данной выработки крепили крепью с обратным сводом либо кольцевого типа. Результаты измерений деформаций замкнутой крепи оказались недостаточно информативными. Более показательны в этом плане количество поломанных затяжек между рамами крепи (рис. 3), разрушение которых - закономерный процесс. Разрушение затяжки свидетельствует о превышении допустимой нагрузки на крепь и нарушении ее режима работы. На рис. 4 показаны зависимости изменения количества поломанных затяжек по мере удаления от забоя. Эти данные, а также результаты предыдущих исследований [5] доказывают, что разру-

шение приконтурного массива и смещение пород наиболее интенсивно происходят на расстоянии 30-40 м от забоя выработки, а в дальнейшем наблюдается активное нагружение крепи, разрушение затяжки и появляется пучение пород подошвы выработки, если она не закреплена.



Рис. 3. Деформация межрамных затяжек

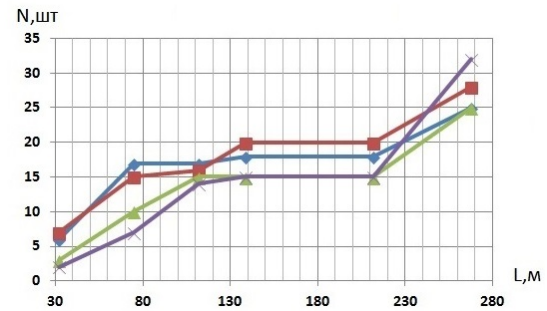
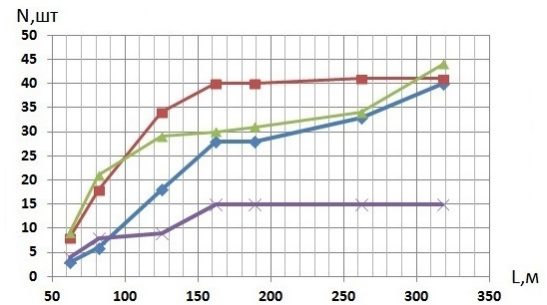


Рис. 4. Изменения количество поломанных затяжек по мере удаления от забоя на замерных станциях №1 (а) и №2 (б):
 — рама 1; — рама 2; — рама 3;
 — рама 4

Поскольку в капитальных выработках железобетонная затяжка используется в качестве опалубки при тампонаже закрепного пространства, возникает необходимость заделывать стыки между затяжками (пикотаж), что в основном выполняется вручную и является весьма трудоемким, растянутым во времени процессом. Это вызывает отставание тампонажа от забоя выработки и проведение его на значительном удалении от забоя (400-500 м). Как следствие невозможность обеспечить полный контакт крепи с массивом горных пород, так как в основном уже произошли значительные деформации приконтурного массива. Наличие поломанной затяжки еще больше увеличивает трудоемкость тампонажных работ из-за появления дополнительных щелей (трещин), требующих герметизации, и необходимости замены.

Повысить устойчивость пород кровли до проведения тампонажа в зоне расположения технологического оборудования для проходки (именно на этом участке происходят интенсивные деформации приконтурного массива пород) можно путем установки анкеров или расклинкой сводчатой части крепи непосредственно в забое выработки.

Чтобы обеспечить своевременное тампонирующее закрепное пространство, авторами предлагаются несколько технологических схем (рис. 5). Схема с возведением крепи с тампонажем за один прием (рис. 5, а) предусматривает проведение тампонажа сразу за перегружателем комбайна, на расстоянии 30-40 м от забоя выработки. Схема крепления с установкой анкеров в забое выработки для поддержания пород кровли (рис. 5, б) позволяет сохранить их устойчивость до момента проведения тампонажа закрепного пространства и увеличить его отставание от забоя [6].

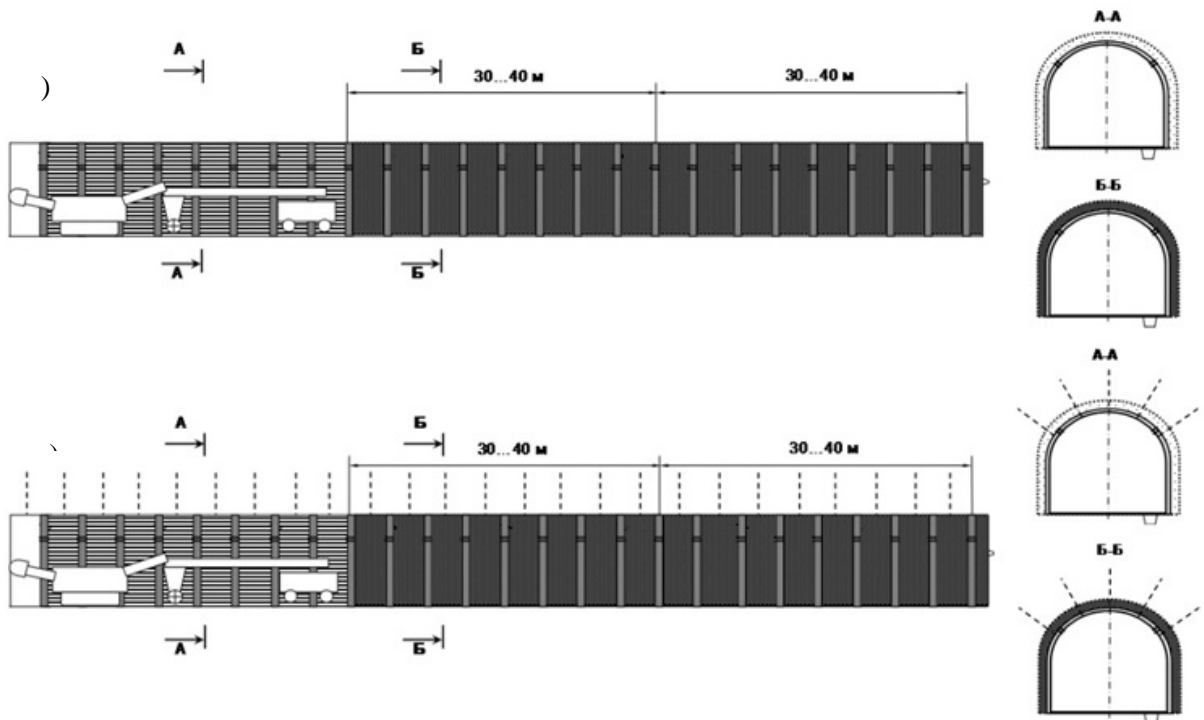


Рис. 5. Технологические схемы возведения крепи с тампонажем закрепного пространства: а) за один прием; б) с упрочнением пород кровли за счет установки анкеров

Реализации 1-й схемы (рис. 5, а), возможна и целесообразна только при механизированном пикотаже с применением установки для торкретирования, например с помощью торкретной установки АС-1. Установка предназначена для нанесения бетонных смесей методом сухого торкретирования. Считается, что основным недостатком метода - чрезмерное пылеобразование в процессе выполнения операции. Однако, как показал опыт применения установки на шахте им. Героев космоса, фактическое пылеобразование было минимальным [7]. Единственный отрицательный момент - необходимость тщательной сушки компонентов, поскольку в противном случае происходит тромбообразование и забивка шлангов, подающих сухую смесь. Но этот недостаток устраняется перед спуском в шахту предварительной сушкой песка в сушильном аппарате, установленном на поверхности.

Применение указанной схемы позволит свести к минимуму использование ручного труда и увеличить скорость проведения пикотажа, что даст возможность проводить тампонаж без отставания от технологического комплекса. Предлагаемая технология была реализована на специально созданном участке. Внедрением технологии механизированного пикотажа с применением торкрет-установки АС-1, отработкой организации работ, совершенствованием твердеющих смесей и контрольных мероприятий занималась строительная фирма «МЛАД» в рамках комплексной научно-исследовательской тематики ДТЭК. Все операции по тампонажу в ремонтно-подготовительную смену выполняло звено из трех горнорабочих. При такой организации и штате сотрудников, участок обеспечивал проведение тампонажа закрепного пространства с механизированным пикотажем со скоростью 90-120 м/сут, что соизмеримо со средними темпами сооружения капитальных выработок.

Для реализации 2-й предложенной схемы (рис. 5, б), необходимы дополнительные исследования, направленные на определение оптимального количества анкеров устанавливаемых в забое выработки одновременно с рамной крепью. Для этого была разработана методика численного моделирования. В качестве вычислительного инструмента был использован программный продукт Phase 2 канадской компании Rockscience [8].

Методика предусматривает несколько этапов моделирования с условием, что полученные результаты, должны быть адекватны натурным измерениям и соответствовать рассмотренной выше деформационной модели (см. рис. 2).

Первоначально, для заданных горно-геологических условий, определялись размеры зоны неупругих деформаций (ЗНД) и величины смещений контура поперечного сечения выработки. Затем к внутреннему контуру продольного сечения прикладывается такая нагрузка $k\gamma H$, чтобы размеры ЗНД и перемещения контура на расстоянии $10h$ от забоя выработки были бы равны соответствующим величинам, полученным из решения предыдущего действия. Такой подход позволяет определить смещения контура продольного сечения на любом расстоянии от забоя, до конечной величины $10h$. Отношение величины смещений на любом промежутке (U_0), к смещениям на наиболее отдаленном участке (U_0^{max}), в зависимости от расстояния, является функцией влияния забоя $k(L)$ и имеет вид (рис. 6):

$$k = U_0 / U_0^{max} \quad (1)$$

Модель деформирования породного массива учитывает развитие трех систем кольцевых трещин, которые образуются на расстоянии 10-12 м, 25-30 м, и 40-45 м соответственно (рис. 6). Для целостности и полноты представлений о развитии геомеханических процессов вокруг горной выработки дальнейший ход моделирования предполагает решение пяти стадий:

1. Раскрытие выработки на проектное сечение;
2. Образование первой системы кольцевых трещин;
3. Образование второй системы кольцевых трещин;
4. Образование третьей системы кольцевых трещин;
5. Моделирование выработки с тампонажем закрепного пространства.

Нанеся на график зависимости $k(L)$ расположение каждой стадии (рис. 7) получим для каждой из них значение k_i , которое в дальнейшем применяется при приложении внешней нагрузки $k\gamma H$ (где $k=k_i$ в зависимости от конкретного этапа). Величины смещений U_0 , на каждом этапе должны соответствовать данным натурных измерений.

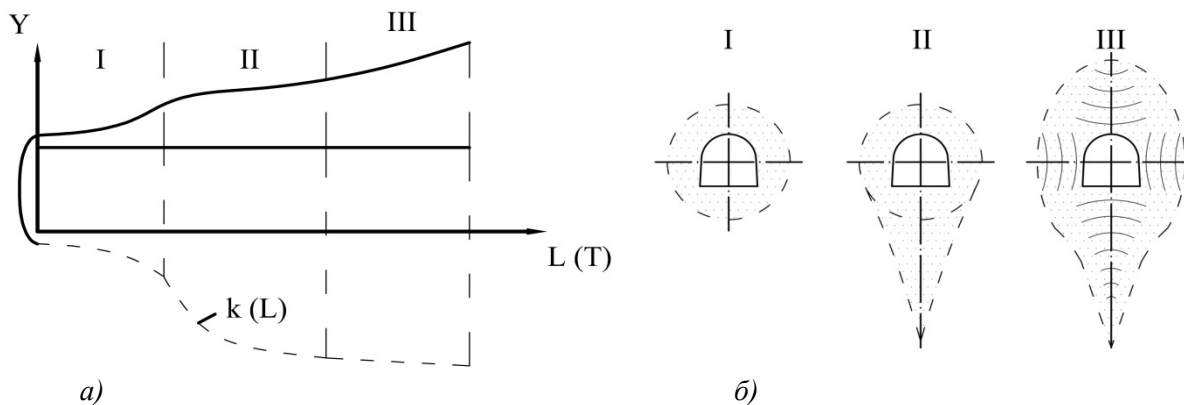


Рис. 6. Развитие геомеханических процессов по мере перемещения забоя выработки: продольный (а) и поперечный (б) разрезы.

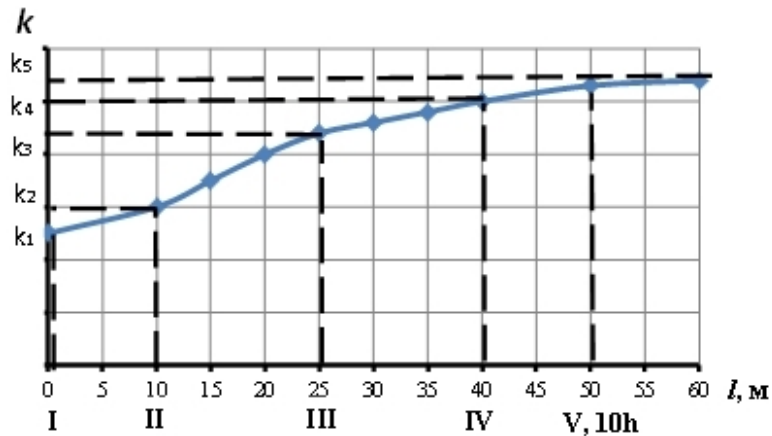


Рис. 7. Расположение системы кольцевых трещин вокруг выработки по мере удаления от забоя

Каждый отслоившийся блок боковых пород, отделенный системой трещин, по сути уже не участвует в совместной работе с массивом, оказывает давление на почву выработки, и в дальнейшем провоцирует пучение. На основании этого было принято решение о моделировании развития систем трещин, путем условной выемки такого слоя пород выработки на величину ΔR_{Li} и заменой его равномерно-распределенной нагрузкой приложенной к почве ($q_i = \gamma \Delta R_{Li}$). Величины ΔR_{Li} соответствуют расстоянию от контура выработки до каждой из систем трещин пород [4], и составляет: 0,4...0,5; 0,5...0,6; 0,7...1,0; 4...5 м для 1-4-й стадии соответственно. Расчетная схема и полученные результаты, для 3-й стадии моделирования представлена на рис. 8.

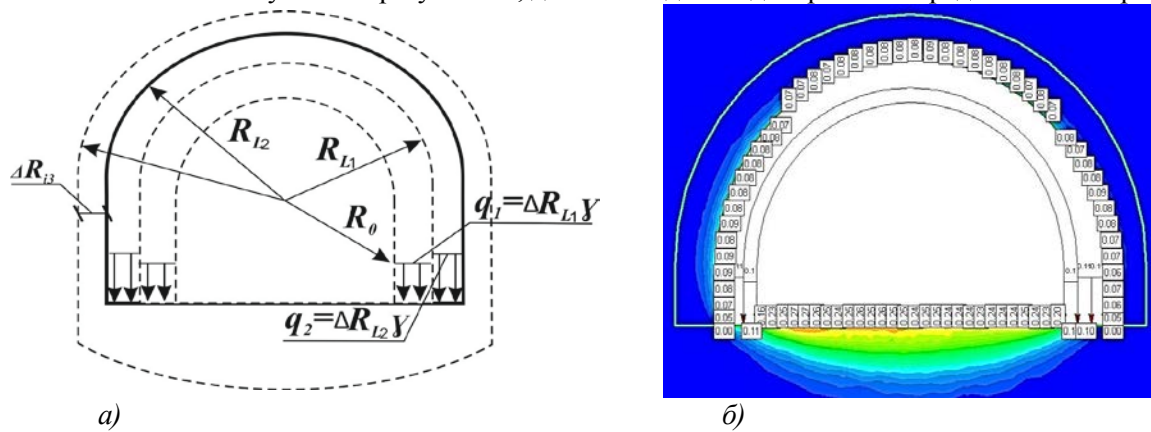


Рис. 8. Расчетная схема (а) и перемещения на контуре выработки (б) для 3-й стадии моделирования

На пятой стадии моделируется воздействие тампонажных работ в выработке на окружающий массив, при значении коэффициента влияния забоя равному единице. Известно [9], что при производстве таких работ, зияющие трещины заполняются тампонажным раствором, приконтурный массив упрочняется на 50-70% и работает как единая оболочка. Опираясь на данное утверждение, при задании исходных данных производилась корректировка прочностных характеристик приконтурной зоны.

Анализ полученных данных для 4 и 5 - й стадии моделирования показывает, что выполнение тампонажа закрепного пространства, позволяет уменьшить размер ЗНД в 1,5-2,0 раза, что в свою очередь свидетельствует о повышении устойчивости выработки. Однако 5-я стадия моделирования учитывает выполнение тампонажных работ непосредственно в забое, что практически не возможно, поскольку этому мешает проходческое оборудование. Решить эту задачу можно путем установки анкеров непосредственно в забое выработки. Система анкеров предотвратит преждевременное расслоение приконтурного породного массива и позволит отодвинуть работы по упрочнению массива на 40-50 м от забоя, что не будет мешать основным операциям по проходке выработки. Моделировались ситуации, когда в кровле выработки устанавливались 3, 5, 7 и 9 сталеполимерных анкеров стандартной длины 2,4 м. Расчетная схема и перемещения на контуре выработки при моделировании установки 9-ти анкеров показаны на рис. 9. Обработка полученных результатов приведена на рис. 10 в виде графика зависимости влияния числа анкеров (N) и расстояния от забоя выработки (l), на величину перемещений пород (U_n). Из графика следует, что при 5-ти установленных в кровлю анкерах пучение пород почвы будет составлять 0,3 м, что позволит производить работы по нанесению набрызг-бетонного покрытия на расстоянии 60 м от забоя выработки, по сравнению с 40 м при отсутствии анкеров.

Выводы. Длительная устойчивость капитальных и основных подготовительных выработок в сложных геомеханических условиях шахт Западного Донбасса может быть обеспечена за счет применения тампонажа закрепного пространства по двум схемам:

- а) с выполнением его непосредственно за технологическим комплексом оборудования;
- б) с отставанием, но с установкой в забое выработки анкеров, поддерживающих породы кровли.

Для достижения требуемой скорости тампонажных работ и устранения ручных операций, предлагается выполнять пикотаж швов железобетонной затяжки механизированным способом, с применением торкрет-бетонной установки. Такая технология позволяет проводить

тампонаж закрепного пространства сразу за технологическим комплексом при проведении выработки.

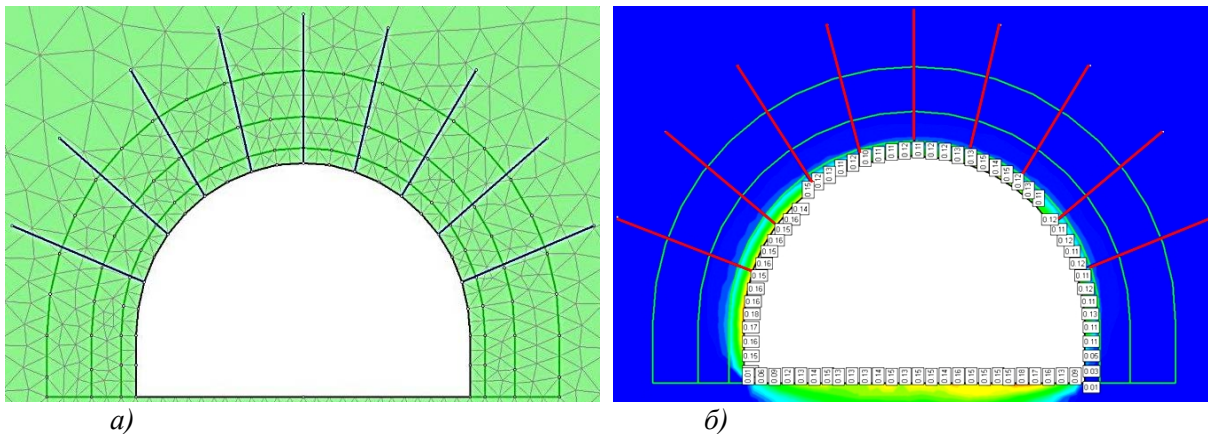


Рис. 9. Расчетная схема (а) и перемещения на контуре выработки (б) при установке анкеров

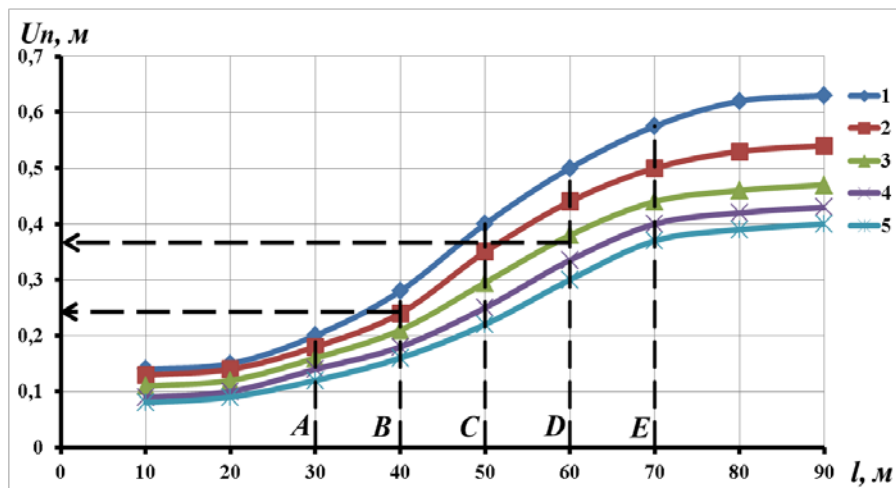


Рис. 10. Зависимость смещений пород почвы от расстояния между местом выполнения набрызг-бетонных работ и забоем выработки: 1 – без установки анкеров; 2 – с установкой 3-х анкеров; 3 – с установкой 5-ти анкеров; 4 – с установкой 7-ми анкеров; 5 – с установкой 9-ти анкеров

Разработана методика численного моделирования процесса деформирования пород приконтурного массива вокруг выработки, применительно к условиям Западного Донбасса. На основе моделирования установлена зависимость влияния числа анкеров и расстояния от забоя выработки, на величину перемещений пород, которая позволяет определять необходимое количество анкеров устанавливаемых в забое, для выполнения тампонажных работ на необходимом расстоянии.

Библиографический список

1. Выгодин, М.А. Особенности деформирования слабометаморфизированных пород вокруг протяженных выработок шахт Западного Донбасса [Текст] / М.А. Выгодин, А.В. Солодянкин, Е.В. Масленников, А.В. Мартовицкий, Р.Е. Алтухов, В.В. Панченко // “Форум гірників - 2011”: матеріали міжнар. конф.– Дніпропетровськ, 2011. – С. 50-57.
2. Шашенко, А.Н. Совершенствование технологии проведения капитальных выработок в сложных геомеханических условиях шахт Западного Донбасса [Текст] / А.Н. Шашенко, М.А. Выгодин, А.В. Солодянкин, В.В. Коробченко, В.В. Панченко // “Форум гірників - 2012”: матеріали міжнар. конф.– Дніпропетровськ, 2012. – Т.2. – С. 107-114.

3. Руппель, У. Проектирования выемочных штреков методом цифровых расчетов на Украине [Текст] / У. Руппель, Р. Скиор // Глюкауф. – 2008. - № 2 (3). – С. 44-49.
4. Выгодин, М.А. Обоснование параметров армопородных грузонесущих конструкций на базе рамно-анкерных крепей и технология их сооружения в выработках шахт Западного Донбасса [Текст]: дисс.... канд. техн. наук. ; 05.15.04 / Выгодин Михаил Александрович. – Днепропетровск, 1990. – 215 с.
5. Солодянкин, А.В. Шахтные исследования геомеханических процессов при проведении протяженных выработок в сложных горно-геологических условиях ПСП «Шахта им. Героев Космоса» [Текст] / А.В. Солодянкин, М.А. Выгодин, А.З. Прокудин // “Розробка родовищ - 2015”: щорічний науково-технічний збірник. – Дніпропетровськ, 2015. – С. 349-354.
6. Айннхофф, Ю. Техника и технология анкерного крепления в системе штрековой крепи [Текст] / Ю Айннхофф // Глюкауф. – 2008. - №2 (3). – С.28-35.
7. Коробченко, В.В. О повышении устойчивости капитальных горных выработок шахт Западного Донбасса [Текст] / В.В. Коробченко, А.В. Солодянкин, М.А. Выгодин, А.З. Прокудин // Уголь Украины – 2015. - № 12. – С. 27-32.
8. Phase2. Finite Element Analysis for Excavations and Slopes. version 8.0 // Режим доступа: <https://www.rocscience.com/products/3/Phase2>.
9. Роенко, А.Н. Устойчивость подготовительных выработок угольных шахт в условиях больших глубин разработки [Текст]: дисс.... докт. техн. наук.: 05.15.04 / Роенко Анатолий Николаевич. – Днепропетровск, 1995. – 426 с.

Надійшла до редакції 29.04.2016

О.В. Солодянкин, К.В. Кравченко, О.З. Прокудин

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

А.М. Выгодін

Приватне підприємство фірма «МЛАД», м. Дніпропетровськ

ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЇ ТАМПОНАЖУ ЗАКРІПНОГО ПРОСТОРУ

Визначено основні напрямки підвищення стійкості капітальних гірничих виробок для умов шахт Західного Донбасу. Розглянуто проблемні моменти технології тампонажу закріпного простору. На основі натурних спостережень запропоновано дві технологічні схеми виконання тампонажу. Рекомендації та технічні рішення 1-ї схеми, пройшли дослідно-промислове впровадження, продемонстрував хороші результати і якість робіт. Для реалізації 2-ї схеми розроблена методика чисельного моделювання, на підставі якої визначено залежність впливу числа встановлених в покрівлі анкерів і відстані від вибою, на величину здимання порід підшови.

Ключові слова: капітальна гірнична виробка, комбінована кріплення, тампонаж закріпного простору, торкретування.

A.V. Solodyankin, K.V. Kravchenko, A.Z. Prokudin,

State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnipropetrovsk

A.M. Vygodin

Private enterprise the firm "MLAD"

SUBSTANTIATION OF RATIONAL PARAMETRES SKIN GROUTING TECHNOLOGY

The main directions of improving the capital working sustainability for Western Donbass mines conditions are defined. Problem moments of skin grouting technology are considered. Two technological schemes performing skin grouting are proposed on the basis of in situ measurements. The recommendations and technical solutions of the 1st scheme were passed an experimental industrial application, they showed good results and quality of work. Numerical simulation methodology was developed to implement the 2nd scheme. On the base of simulation results the dependence of roof bolts number in and distance from the roadhead was determined on the soil rock swelling value.

Keywords: capital working, combined support, skin grouting, shotcrete.