

УДК 622.831

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

**С.М. ГАПЕЕВ** (д-р техн. наук, проф.)

**М.А. ВЫГОДИН** (канд. техн. наук, доц.)

Государственный ВУЗ «Национальный Горный Университет», г. Днепр, Украина

**С.А. ВОРОНИН** (ген. директор)

**В.Г. СНИГУР** (канд. техн. наук, директор шу «Терновское»)

**С.В. МКРТЧЯН** (директор ШУ им. Героев Космоса)

ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», г. Павлоград, Украина

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗАПОЛНЕНИЯ ЗАКРЕПНОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ СООРУЖЕНИИ КАПИТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ШАХТ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

Приведены результаты исследований геомеханических процессов в массиве пород вокруг протяженной выработки в условиях шахт Западного Донбасса. Показана возможность проведения заполнения крепного пространства на разных этапах сооружения выработки. Рассмотрена эффективная технология повышения устойчивости выработок путем заполнения крепного пространства твердеющими смесями пневматическим способом. Приведены результаты внедрения новой технологии заполнения крепного пространства при сооружении капитального квершлага в сложных горно-геологических условиях Западного Донбасса.

**Ключевые слова:** устойчивость выработки, заполнение крепного пространства, тампонаж, торкретирование.

Дальнейшее развитие горных работ на шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» направлено на повышение объемов добычи угля, что требует надежного и эффективного функционирования всех подсистем предприятий, в том числе и комплекса капитальных выработок. В сложных горно-геологических условиях Западного Донбасса эта задача является достаточно сложной и требует комплексного подхода, как в научном, так и в технологическом плане. Выбор тех или иных способов и средств обеспечения устойчивости выработок должен быть основан на особенностях развития геомеханических процессов при ведении горнопроходческих работ.

Опыт эксплуатации глубоких шахт 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 крепного пространства, упрочнение массива вяжущими веществами либо анкерами.

С целью определения технологических параметров способа повышения устойчивости выработок в условиях шахт Западного Донбасса М.А. Выгодиным в 1980-х годах были выполнены детальные исследования закономерностей деформирования породного массива [1].

На рис. 1 приведены характерные графики смещений пород на глубинной станции, установленной в восточном магистральном конвейерном штреке пл.  $C_{10}$  гор. 370 м шахты им. Героев космоса. На рис. 2 приведены типичные графики смещений и скорости смещений контурных реперов, установленных в квершлагае №3 гор. 450 м шахты им. Героев космоса, построенные по данным [1].

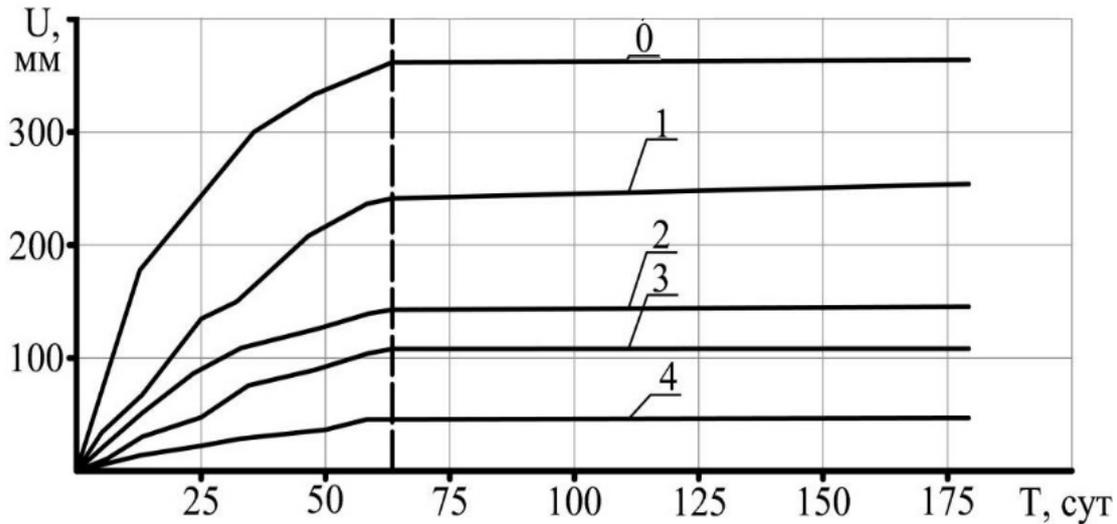
Совокупный анализ результатов выполненных исследований позволил выявить ряд особенностей разрушения приконтурного массива пород, вызванного проведением выработки и механизмом работы арочной податливой металлической крепи:

1. Смещения породного контура проявляются через некоторый промежуток времени после установки постоянной крепи ( $t_{нп}$ ), который определяется, в первую очередь, устойчивостью вмещающего выработку массива пород и габаритами выработки.

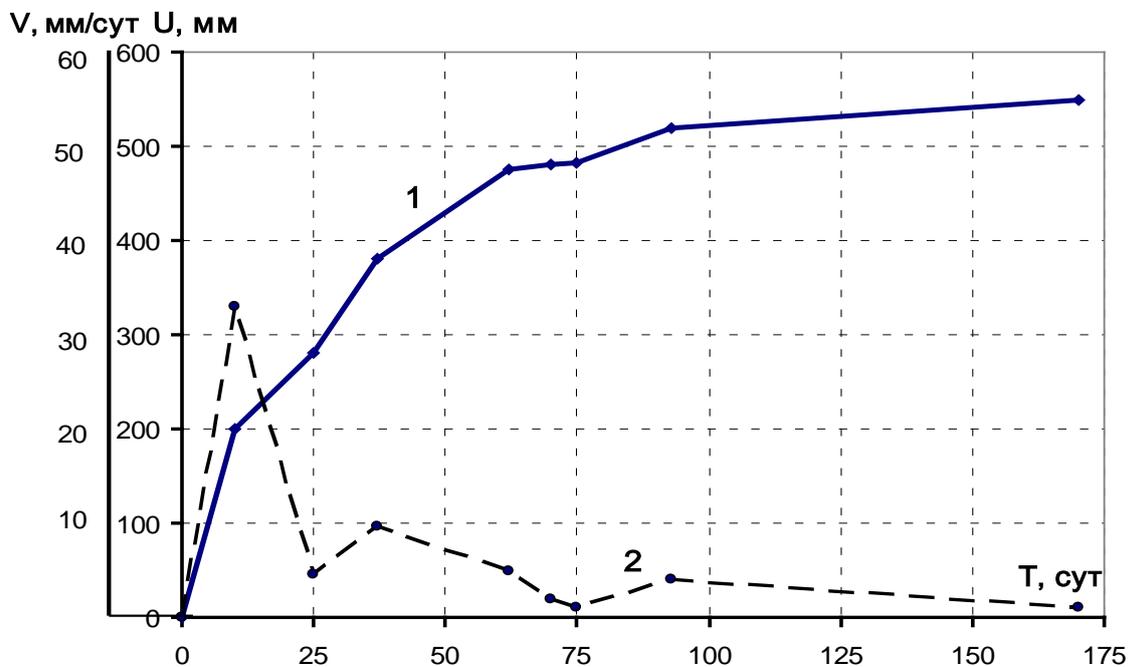
2. Развитие указанных смещений имеет одинаковый характер для всех типов выработок, заложенных в разных литотипах пород. При проведении и поддержании выра-

боток вне зоны влияния очистных работ для смещений пород можно выделить два характерных периода: интенсивных и период установившихся смещений породного контура. Продолжительность интенсивного периода смещений составляет 20...50 суток.

3. Скорости смещений породного контура в интенсивном периоде формирования зоны нарушенных пород характеризуются большими величинами, скачкообразными и неравномерными изменениями. На графиках скоростей прослеживается три-четыре скачка. При этом величины скоростей по мере увеличения периода наблюдения уменьшаются, приближаясь к скорости установившегося периода смещений (рис. 2).



**Рис. 1.** Смещения пород кровли в восточном магистральном конвейерном штреке гор. 370 м шахты им. Героев космоса: 0, 1, 2, 3 – глубина заложения реперов в м; Т – время проведения тампонажа закрепного пространства, сут

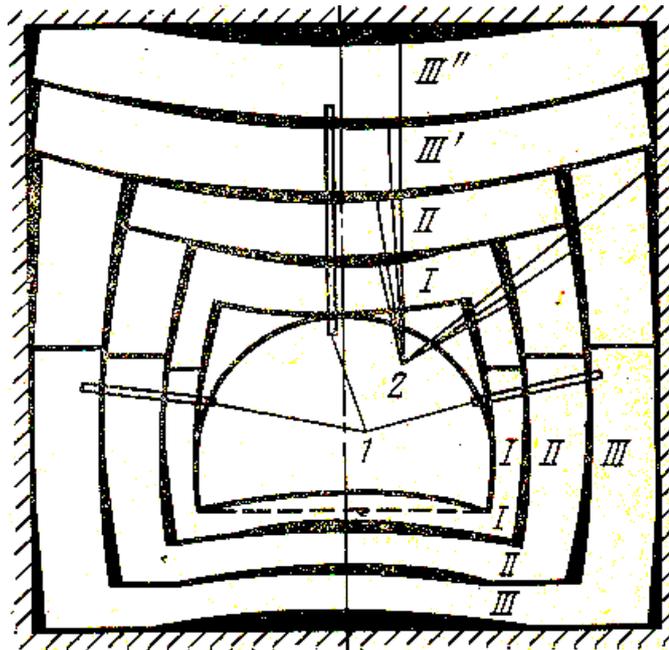


**Рис. 2.** График смещений пород почвы (1) и скорости смещений (2) во времени эксплуатации квершлага №3 (ПК 24-12 п) гор. 480 м шахты им. Героев космоса

4. Нагрузки на арки фиксируются не сразу, а через некоторое время после установки крепи. Этот период времени определяется устойчивостью массива пород и параметрами выработки. Для аргиллитов и алевролитов этот промежуток времени составляет от 2 до 15 суток, для песчаников – 25...30 суток и более, для угля 10...15 суток.

5. Формирование нагрузки на крепь выработок происходит дискретно и определяется протекающим во времени расслоением пород кровли, расчленением массива боковых пород на вертикальные слои и выдавливанием пород почвы.

В процессе наблюдения зафиксировано, что в массиве пород вокруг выработок, не подверженных влиянию очистных работ, формируется несколько зон разрушения, каждая из которых имеет идентичный характер и образуется с некоторым разрывом во времени. Процесс образования зоны разрушения представлен на рис. 3.



**Рис. 3.** Схема деформирования пород приконтурного слоя и образование I, II и III-й зон разрушения массива; 1 – шпур для тампонажа, 2 – пустоты

Схему и механизм деформирования можно описать таким образом. Деформация пород кровли реализуется как деформация защемленной с торцов плиты под воздействием равномерно распределенной нагрузки от веса пород кровли. При деформациях пород кровли узлы защемления поворачиваются и смещаются внутрь выработки, отрывая по трещинам усыхания от массива вертикальный слой боковых пород. Под воздействием собственного веса и нагрузок со стороны пород кровли, вертикальный слой деформируется с потерей устойчивости. При этом происходит прогиб слоя к массиву ненарушенных пород. На контакте массива ненарушенных пород с потерявшими устойчивость вертикальными слоями и происходит отпор боковых пород. Под воздействием деформированных вертикальных слоев, породы почвы выдавливаются внутрь выработки, вследствие чего происходит их пучение.

В основном контакт зоны выдавленных пород почвы с ненарушенным массивом формируется по плоскости напластования тонкослоистого анизотропного массива.

На завершающем этапе образования зон деформирования пород глубина распространения разрушенных пород вглубь массива достигает: в кровле выработки – 7 м и более,

В

боках 3...4 м, глубина выдавливания пород почвы, считая от первоначальной (сразу же после проходки) отметки почвы 1,5...2,0 м.

В условиях шахт Западного Донбасса этот процесс реализуется на расстоянии 30...50 м от забоя выработки и может быть описан функцией влияния забоя выработки  $k(L)$  (рис. 4). Ее значения изменяются от некоторой минимальной величины непосредственно у плоскости забоя  $k(L)_{min} \approx 0.1...0.2$  до  $k(L) = 1$  на расстоянии 30...50 м. Эта функция как-бы снижает гравитационные силы  $\gamma H$  в пределах влияния забоя, по мере уменьшения которых происходит изменение геомеханического состояния массива с образованием трех характерных зон.

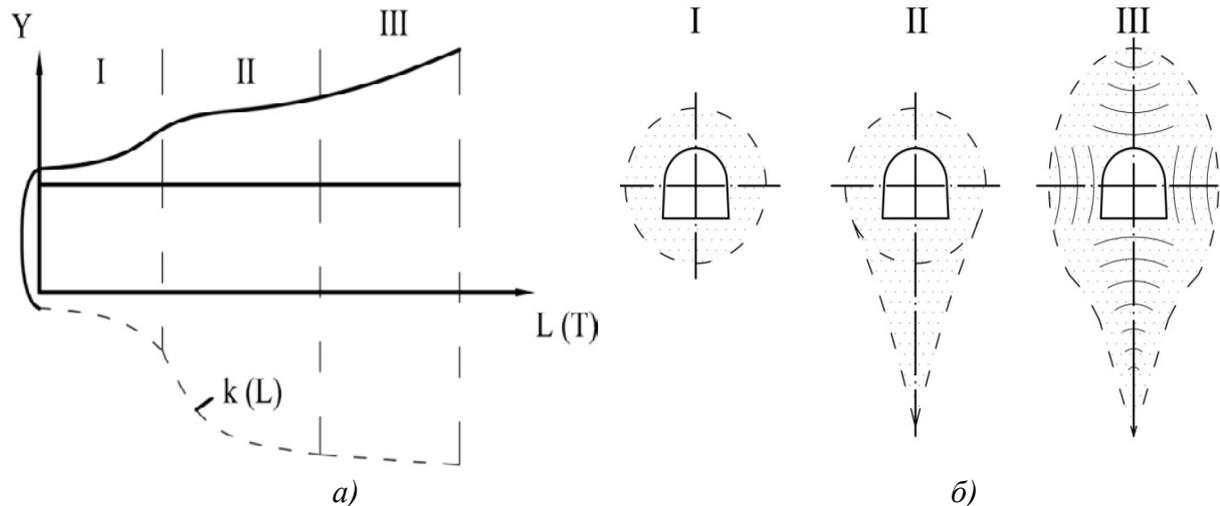


Рис. 4. Развитие геомеханических процессов по мере перемещения забоя выработки: продольный (а) и поперечный (б) разрезы

В пределах зоны I образуется область неупругих деформаций (ЗНД). В пределах зоны II реализуется вспучивание почвы. В пределах зоны III продолжается деструкция вмещающих пород, сопровождающаяся развитием трещин в боках и кровле выработки, что приводит к росту свода естественного равновесия, где и формируется нагрузка на крепь. По мере удаления от забоя образование зон сопровождается неупругим расширением пород в приконтурной области.

Наиболее эффективным способом повышения устойчивости выработок в условиях шахт Западного Донбасса явилось полное заполнение закрепного пространства с помощью тампонажа твердеющими смесями (гидромеханический способ). При этом в результате равномерного распределения нагрузки, устранения сосредоточенных нагрузок и перекоса более рационально используется и материал самой крепи, снижается величина изгибающих моментов, эффективнее работают узлы податливости, появляется дополнительный несущий слой из затвердевшего материала. Крепь работает не на удержание потерявших устойчивость пород, а в режиме взаимовлияния с окружающим массивом. Несущая способность крепи в этом случае увеличивается в несколько раз.

Исходя из технологических соображений, тампонажные работы удобнее проводить на границе зон I-II, либо в пределах зоны II (см. рис. 4). При этом работы по проведению выработки и операции по тампонажу разносятся по длине выработки, что упрощает организацию работ, а призабойная часть не загромождается оборудованием.

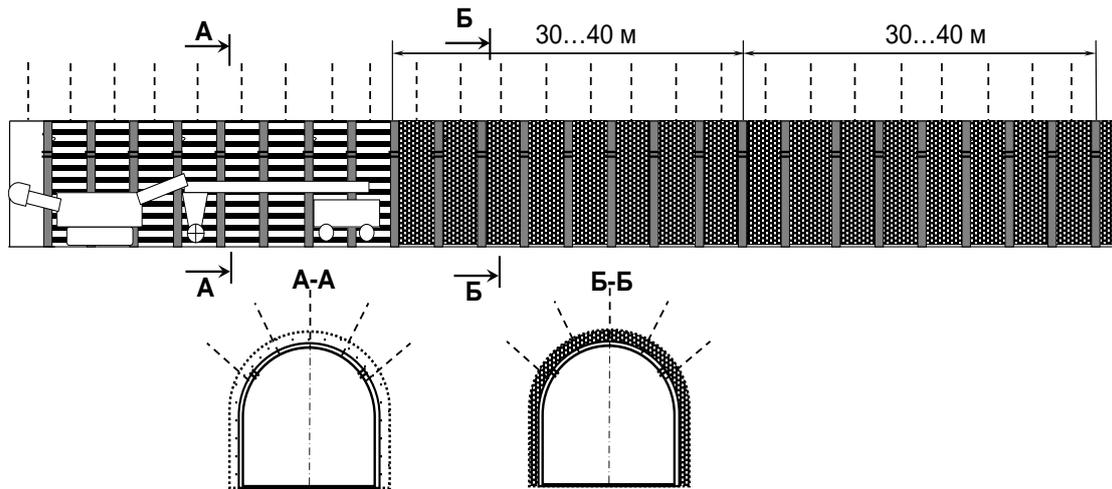
Для увеличения темпов выполнения тампонажных работ, устранения ручных операций, связанных с пикотажом железобетонной затяжки перед проведением собственно тампонажа, на шахте им. Героев космоса была внедрена технология механизированного

пикотажа стыков железобетонной затяжки способом сухого торкретирования с помощью установки АС-1 [2].

Внедрение данной технологии на шахте им. Героев космоса позволило свести к минимуму использование ручного труда и увеличить скорость тампонажа до 90...120 м/сут и без отставания от проходки выработки. Все операции по тампонажу производились в ремонтно-подготовительную смену звеном из трех горнорабочих.

Для повышения устойчивости пород кровли до проведения тампонажа в зоне расположения проходческого оборудования (интенсивных деформаций приконтурного массива пород) предусматривается установка анкеров в забое выработки.

Технологическая схема возведения крепи с тампонажем закрепного пространства и упрочнением пород кровли анкерами показана на рис. 5.



**Рис. 5.** Технологическая схема возведения крепи с тампонажем закрепного пространства с упрочнением пород кровли анкерами

Тем не менее, несмотря на полученные хорошие результаты, следует отметить существенный недостаток рассмотренной технологии.

Заполнение закрепного пространства твердеющими составами и укрепление массива пород производится за пределами технологического комплекса, т.е. на расстоянии 30...40 м от забоя (зона II выработки, рис. 4). На этом этапе вокруг выработки уже сформировалась значительная зона расслоившихся пород, создающих нагрузку на крепь выработки, приводящей к деформациям элементов крепи, разрушению железобетонной затяжки. В том случае, когда выработка пересекает зоны геологических нарушений, области под- или надработки, возникает вероятность обрушения пород кровли, интенсифицируются процессы деформирования боковых пород, в т.ч. и пучение почвы.

Для сохранения прочности приконтурного массива пород, стабилизации сдвижений пород на начальных стадиях пластических деформаций и максимально быстрого создания системы «крепь-массив», целесообразно проводить заполнение закрепного пространства твердеющими материалами непосредственно в забое выработки способом торкретирования и набрызг-бетонирования. Такой способ заполнения закрепного пространства называется пневматическим, материал посредством торкрет-струи или иным способом подается в закрепное пространство [3].

Главной отличительной особенностью пневматического способа, обеспечивающей его высокую технологичность, является то, что он совмещает в едином процессе пневмотранспортировку сухого твердеющего материала, перемешивание и подачу затворенного материала в конструкцию.

Способы подачи материала в закрепное пространство подразделяются на осевой и радиальный.

Радиальное заполнение закрепного пространства может осуществляться как непосредственно у забоя, так и с отставанием от него путем нанесения слоя твердеющего материала на породный контур выработок через затяжку с крупными ячейками. Считается, что этот способ можно реализовать за одну рабочую операцию только при величине зазора между крепью и породным массивом не более 20 см и в большей степени пригоден для выработок с комбайновой проходкой.

Общим требованием к материалам для закрепного пространства является быстрый рост их прочности, способствующий своевременному вступлению в работу крепей. Однако на практике используются как медленнотвердеющие, так и быстротвердеющие материалы, выбор которых диктуется в основном принятой технологией.

Например, искусственный ангидрит – продукт переработки отходов химической промышленности – порошковый материал, скорость схватывания и твердения которого определяется спецдобавками. В отечественной практике не производится и не используется для заполнения закрепного пространства. В значительных объемах искусственный ангидрит использовался в угольной отрасли Германии как гидромеханическим, так и пневматическим способами.

К числу материалов, обладающих способностью быстрого схватывания и твердения, а также отвечающих требованиям рациональной пневматической технологии, в первую очередь следует отнести измельченный и активизированный природный ангидрит.

Впервые природный ангидрит в виде быстротвердеющего зернистого материала был разработан и использован для заполнения закрепного пространства и возведения охранных околострековых полос на угольных шахтах ФРГ. Усилиями многих фирм были разработаны комплексы пневмокладочного оборудования, созданы системы централизованного снабжения материалом проходческих и выемочных участков.

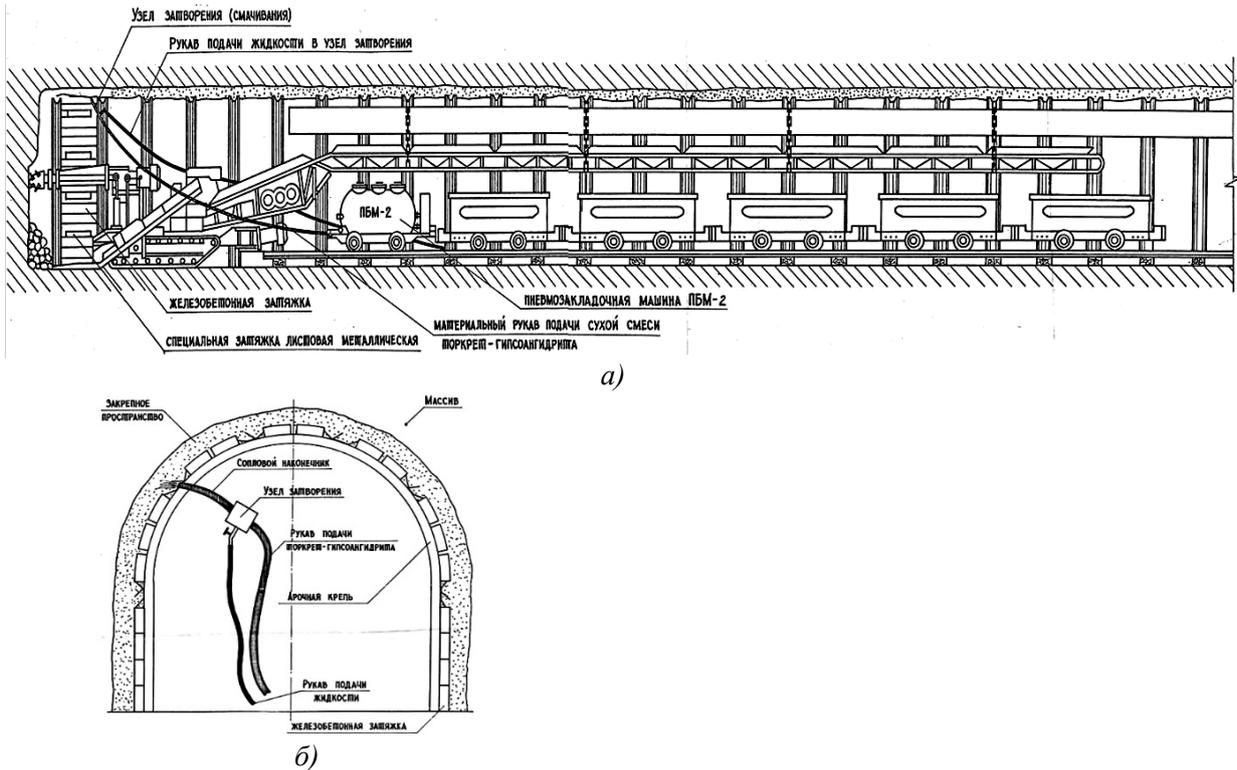
В конце 1970-х годов институтом "Днепрогипрошахт" был разработан отечественный быстротвердеющий состав на основе природного ангидрита, названный впоследствии торкрет-ангидритом. Торкрет-ангидрит представляет собой зернистую массу природного ангидрита, прошедшую термическую обработку, с добавками до 1,5% сульфатов натрия и железа, а также алюмокалиевых квасцов. В 1976-77 годах институтом с использованием торкрет-ангидрита были проведены шахтные испытания его применения для возведения охранный околострековой полосы (шахта "Днепровская") и заполнения закрепного пространства (шахта "Западнодонецкая"). Испытания показали техническую и экономическую целесообразность производства торкрет-ангидрита.

Принципиальная схема предусматривает радиальный способ заполнения закрепного пространства, при котором транспортируемый сжатым воздухом сухой твердеющий материал смачивается в устройстве для затворения материала и через выходное сопло и специальные "окна" в крепи подается в закрепное пространство (рис. 6).

"Окна" для подачи материала формируются специальными затяжками из листового железа, которые устанавливаются "вразбежку" между 3-4 обычными железобетонными и обеспечивают полный доступ к закрепному пространству. Заполнение закрепного пространства производится через "окна" последовательно от почвы к кровле с двух сторон выработки. Использование спецзатяжки позволяет проводить заполнение закрепного пространства как в самом забое, так и на некотором удобном расстоянии от него.

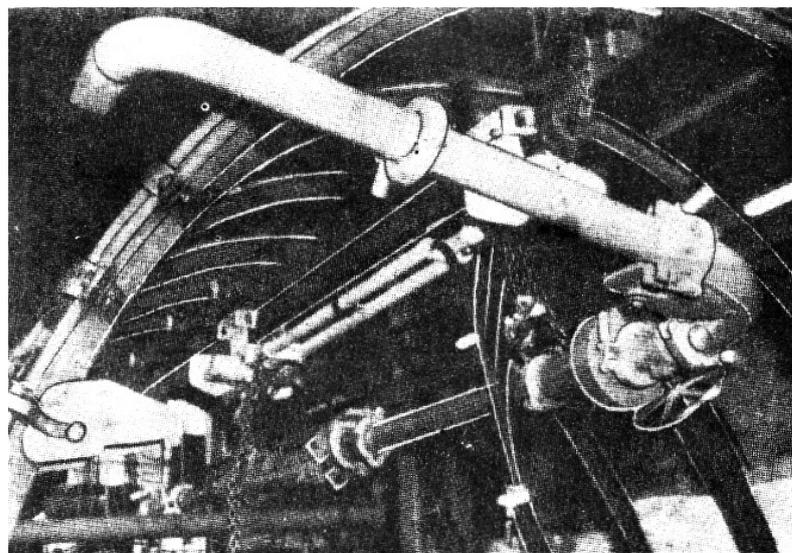
Для выполнения работ быстротвердеющими растворами технологическая схема предусматривает приготовление раствора торкрет-ангидрита на последнем этапе, непосредственно перед кладкой в закрепное пространство.

Осевой способ подачи твердеющих материалов в закрепное пространство заключается в заполнении струей твердеющего материала пространства между породным контуром и крепью, перекрытой плотной затяжкой, в осевом направлении со стороны забоя выработки после каждого цикла проходки [4] (рис. 7). Способ позволяет практически совмещать проходку с заполнением закрепного пространства, а при использовании быстротвердеющих материалов максимально быстро включать в работу крепь, усиленную оболочкой из затвердевшего материала.



**Рис. 6.** Технологія заповнення закріпного простору торкрет-ангідритом для капітальних виработок шахт Западного Донбасса: *а* – схема розташування технологічного обладнання; *б* – порядок заповнення закріпного простору твердеючої сумішшю

С другой стороны, использование осевого способа подачи материала в закріпное пространство требует строгой временной увязки с проходческим циклом, что возможно только при надежном и высокопроизводительном пневмокладочном оборудовании, отлаженных операциях по снабжению и доставке материала. В противном случае будут страдать либо темпы проходки, либо качество заповнення закріпного пространства.



**Рис. 7.** Осевой способ подачи материала в закріпное пространство

Кроме того, проведение работ по указанной технологии связано с установкой вблизи проходческого забоя концевое пневмозакладочное оборудование – телескопического поворотного колена пневмотранспортной магистрали с устройством для затворения материала и соплом. Это оборудование вместе с проходческим загромождает призабойную зону выработки, затрудняя проведение работ. Особенно стесненные условия для ведения проходческих работ и заполнения закрепного пространства возникают при комбайновой проходке. Поэтому осевое заполнение закрепного пространства нашло широкое применение лишь в забоях с буровзрывным способом проходки.

В 2015 году в ШУ «Терновское» на шахте «Самарская» при сооружении капитальной выработки был внедрен один из вариантов описанной технологии.

С целью подготовки пласта  $C_{10}^B$  к отработке с горизонта 300 м шахты «Самарская» проводился откаточный квершлаг, пересекающий зону Богдановского сброса. Планируемый срок эксплуатации квершлага составляет 15 лет. При этом поддержание выработки будет осуществляться в опасной зоне, пересекаемой сбросом, что связано с риском потери устойчивости квершлага и большими затратами на ремонтные работы.

Проходка квершлага осуществлялась комбайновым способом. Крепление квершлага производилось рамно-анкерной крепью с использованием металлической податливой крепи КШПУ-11,7 и анкеров. Шаг установки рам крепи и анкерного ряда варьировался по мере подхода к сбросу от 0,5 до 0,8 м.

На участке выработки с ПК 160+5 м по ПК 167+7 м устанавливалась крепь КШПУ-11,7 с железобетонной затяжкой, 9 сталеполимерных анкеров  $L = 2,4$  м в кровлю и 2 анкера  $L = 1,5$  м в почву. Шаг установки рам крепи 0,5 м и анкеров 1,0 м. Для усиления арочной крепи на участке выработки с ПК159+3 м по ПК170, увеличения площади опоры и уменьшения его давления на почву, у ее бортов вплотную к стойкам рам крепи укладывались на почву отрезки СВП-27 длиной 1,5 м в два ряда, создавая опорные балки. На каждую стойку арочной крепи закреплялись «сапожки» из СВП-27. С целью укрепления приконтурного массива производилась закачка полимерных составов типа «MasterRoc» при помощи 6 инъекционных анкеров «ИРМА» – 4 по контуру выработки, 2 – с наклоном в почву (рис. 8).

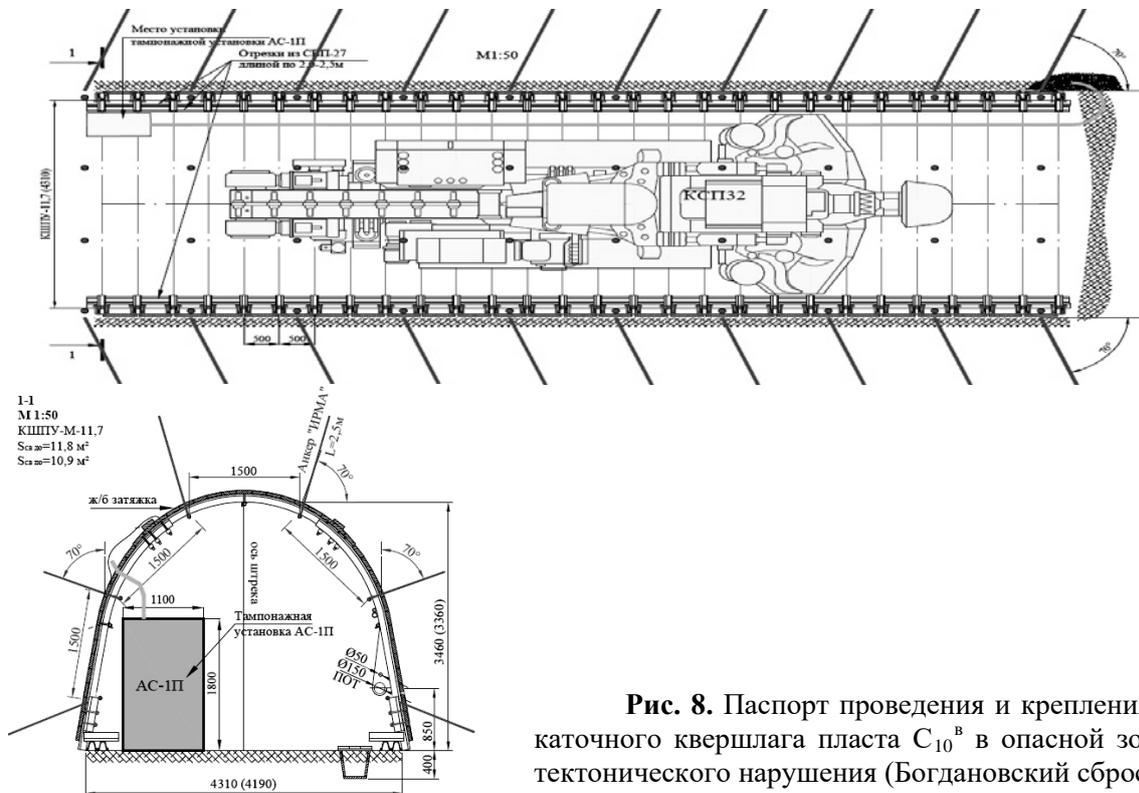


Рис. 8. Паспорт проведения и крепления откаточного квершлага пласта  $C_{10}^B$  в опасной зоне у тектонического нарушения (Богдановский сброс)



**Рис. 9.** Торкрет-смесь «Текхард» уложенная за крепь выработки: *а* – в боках, *б* – в кровле

Заполнение закрепной части выработки способом торкретирования вначале выполнялось через каждые 2,0 м со стороны призабойных рам. Торкретирование производилось торкрет-машиной АС-1П с использованием торкрет-смесей типа «Текхард-Т». Для максимального снижения расхода торкрет-смеси, выемка породы комбайном производилась с минимальными переборами. Ширина закрепного пространства после укладки железобетонной затяжки на раму составляла 0...10 см (рис. 9). В связи с этим, для более качественного заполнения закрепного пространства между крепью и породным массивом (лучшего проникновения смеси по глубине) шаг тампонирующего был уменьшен до 1,0 м. Средний расход сухой смеси составил 1,9 т/м.

**Выводы.** Рассмотренный способ торкрет-тампошажа показал себя достаточно технологичным и может применяться в сложных геомеханических условиях поддержания капитальных выработок. Данная технология заполнения закрепного пространства позволяет сохранить высокую прочность приконтурного массива пород, стабилизировать сдвиги пород на начальных стадиях деформаций и максимально быстро создать взаимодействующую систему «крепь выработки-массив». За счет этого повышается устойчивость выработки и снижаются затраты на ее последующее безремонтное поддержание. Недостатком способа является более сложная организация работ.

#### **Библиографический список**

1. Выгодин М.А. Обоснование параметров армопородных грузонесущих конструкций на базе рамно-анкерных крепей и технология их сооружения в выработках шахт Западного Донбасса. Дис...канд. техн. наук: 05.15.04. – Днепропетровск, 1990. – 215 с.
2. Обоснование рациональных параметров технологии тампошажа закрепного пространства / А.В. Солодянкин, К.В. Кравченко, А.З. Прокудин, А.М. Выгодин // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2016. – № 1(38). – С. 22-29.
3. Технология заполнения закрепного пространства торкрет-ангидритом для капитальных выработок шахт Западного Донбасса / А.Н. Шашенко, А.В. Солодянкин, М.А. Поздняков, В.И.Пилюгин // Форум гірників-2012: Матеріали міжнар. конференції. – Дніпропетровськ: РВК НГУ. – 2012. – С. 94-98.
4. Гетце В. Требования к совершенствованию технологии возведения околострековых полос и заполнения закрепного пространства // Глюкауф. – 1980. – № 19. – С. 17-22.

*Надійшла до редакції 20.09.2016.*

**О.В.Солодянкин, С.М.Гапєєв, М.О. Вигодін**

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», м Дніпро, Україна

**С.А.Воронін, В.Г. Снігур, С.В. Мкртчян**

ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля», м Павлоград, Україна

#### УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАПОВНЕННЯ ЗАКРІПНОГО ПРОСТОРУ ПРИ СПОРУДЖЕННІ КАПІТАЛЬНИХ ВИРОБОК ШАХТ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

Наведені результати досліджень геомеханічних процесів в масиві порід навколо протяжної виробки в умовах шахт Західного Донбасу. Показана можливість проведення заповнення закріпного простору на різних етапах спорудження виробки. Розглянута ефективна технологія підвищення стійкості виробок шляхом заповнення закріпного простору пневматичним способом сумішами, що твердіють. Наведено результати впровадження нової технології заповнення закріпного простору при спорудженні капітального квершлягу в складних гірничо-геологічних умовах Західного Донбасу.

**Ключові слова:** стійкість виробки, заповнення закріпного простору, тампонаж, торкретування.

**O. Solodyankin, S. Gapieiev, M.Vyhodin**

State Universities "National Mining University" of Dnipro, Dnipro, Ukraine

**S. Voronin, V.Snigur, S. Mkrтчyan**

Private stock company "DTEK Pavlogradugol" of Pavlograd, Pavlograd, Ukraine

#### IMPROVING THE TECHNOLOGY OF FILLING FIXING SPACE IN THE CONSTRUCTION OF CAPITAL WORKINGS OF MINES OF WESTERN DONBASS

The results of research of geomechanical processes in the rock mass around extensive mine working in conditions of Western Donbas mines are given. The possibility of filling the support space at different stages of working of construction is shown. Effective technology of increasing the stability by filling the support void with hardening mixtures pneumatically is considered. The results of the new technology use in the construction of capital crosscut in complex geological conditions of Western Donbas are given.

**Keywords:** stability of working, filling the void for support, skin grouting, shotcrete.