

УДК 622.831

**КОМБИНИРОВАННЫЕ ОХРАННЫЕ СИСТЕМЫ,
ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ВЫРАБОТОК ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА**

Ильяшов М. А., Кожушок О. Д.

(Группа "Энерго", г. Донецк, Украина)

Усаченко Б. М.

(ИГТМ НАНУ, г. Днепропетровск, Украина)

Халимендигов Е. Н.

(Шахта "Красноармейская – Западная № 1,
г. Красноармейск, Украина)

Наведено результати досліджень по створенню комбінованих охоронних систем, які забезпечують повторне використання виробок виїмкової ділянки, що базується на ідеї синергізму, тобто посилення дії одного елемента іншими, що дозволяє набутти емерджентних властивостей охоронної системи – нових властивостей, яких не має кожен її елемент окремо.

Research results are shown how to construct combined security systems which provide recycling of working area roadway, based on idea of synergism, i.e. the forceful reinforcement of one element by another one, that permits to obtain emergency properties of security system – new properties, which are not presented in its each element separately.

Сохранение геометрических размеров выработок выемочных участков является важнейшим составным элементом процесса угледобычи, поскольку через них обеспечивается бесперебойное транспортирование добытого угля, доставка необходимых материалов и оборудования, а также устойчивое проветривание очистного забоя [1]. Традиционное крепление участков выработок предусматривает в основном использование податливых

крепей КМП-А3 и КШПУ с криволинейным верхняком. Участок сопряжения с лавой в 30 м впереди и 5-10 м позади нее усиливается, дополнительной крепью из специального профиля СВП (деревянного бруса), установленного под верхняк с гидростойками или деревянными стойками диаметром не менее 18 см.

В последнее время применяют комбинированное крепление выработок "рама + анкер" [2]. Паспорт крепления по указанной схеме предусматривает разноглубинную установку от 7 до 15 анкеров между арками в одном поперечном сечении.

Преобладающее большинство рамных крепей рассчитано на симметричный характер нагружения. В пределах влияния очистных работ впереди лавы симметрия нагрузки на крепь изменяется. Особенно значительной степенью асимметрии нагрузки на крепь проявляется за лавой. Как показал опыт, поддержание выработок с целью их повторного использования при отработке смежной лавы с применением только рамного крепления является практически невозможным.

Прогрессивным методом, который находит все более широкое использование на практике, является охрана выработок для их повторного использования путем возведения литых полос из искусственных строительных материалов [3, 4]. Эта охранная конструкция обеспечивает существенно меньшие деформации кровли в окрестности выработки и эффективно предотвращает утечки метана из выработанного пространства при прямоточной схеме проветривания.

Практический опыт, а также физическое и математическое моделирование показали, что в настоящее время в условиях больших глубин, ни одна из известных охранных конструкций не может при автономной работе обеспечить эффективное сокращение деформаций выработки в районе сопряжения с лавой и после ее прохода. Наиболее эффективным способом охраны выработок для их повторного использования является применение комбинированных охранных систем, в комплексе реализующих преимущества каждой охранный конструкции.

Эта цель достигается путем синтеза комбинированных охранных систем. При их разработке используются следующие принципы:

– упреждения деформаций контура выработки;

- нарастающего сопротивления охранной системы в целом;
- комплементарности отдельных элементов охранной системы;
- не критичности параметров конструкции к вариациям условий ее работы.

Комплекс охранных мероприятий базируется на закономерностях изменения напряженного состояния в системе "крепь – массив" по длине выработки. Состояние и размеры участков выработки относительно очистного забоя для типичных условий современной шахты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Зональность изменения напряженного состояния системы "крепь – массив" по длине охраняемой выработки

Номер зоны	Расстояние до лавы, м	Состояние системы "крепь – массив"
1	дальше -60	верхняк рамы умеренно нагружен, боковые стойки не нагружены, деформация контура незначительна
2	от -60 до -30	расслоение кровли, увеличение нагрузки на верхняк, первые проявления асимметрии деформирования контура выработки
3	от -30 до -5	интенсивное увеличение нагрузок на все элементы рамной крепи, а также на анкера, возрастание асимметрии нагрузок
4	от -5 до 0	переход кровли к крупноблочной структуре, увеличение нагрузок на рамную крепь с одновременным снижением эффективности ее работы
5	от 0 до 30	резко асимметричная нагрузка на охранную конструкцию, прогрессирующее уменьшение сечения выработки в основном за счет деформаций верхняка
6	от 30 до 150	снижение асимметрии нагрузок, интенсификация пучения почвы выработки
7	свыше 150	стабилизация напряженного состояния системы, дальнейшее уменьшение сечения выработки преимущественно за счет реологических факторов

Первый этап крепления выработки должен осуществляться непосредственно после обнажения породного массива. Его ос-

новной задачей является предотвращение расслоения пород кровли. На этом этапе с отставанием от забоя не более 3 м выполняют установку рамной крепи. Для упрощения поддержания выработок на сопряжении штрека с очистным забоем, повышения статической несущей способности и снижения восприимчивости к динамическим нагрузкам оптимальной является крепь КЦЛ с циркульно-линейным верхняком изготавливаемая Западно-Донбасским научно-производственным центром "Геомеханика".

Вместо установки системы отдельных, не связанных между собой анкеров, производится установка анкерно-стяжной крепи (АСК). Ее основным преимуществом является создание эффекта сомозапираания породных блоков в кровле выработки. Это свойство позволяет сохранить эффективность работы охранной конструкции при переходе непосредственной кровли выработки в крупноблочное состояние.

Установку анкерно-стяжной крепи, согласно принципу упреждения деформаций контура выработки, необходимо выполнить до начала существенной подвижки кровли, т.е., в пределах зоны 1. Комплект АСК состоит из двух звеньев, и располагается в кровле выработки в промежутках между рамами (рис. 1).

Наиболее полно преимущества анкерно-стяжной крепи проявляются в выработках с плоской кровлей. Схема расположения элементов комплекта АСК представлена на рисунке 2.

Каждое из звеньев АСК располагается асимметрично относительно вертикальной оси выработки. Положение смежного звена является зеркальным отражением относительно вертикальной оси выработки. Таким образом, обеспечивается пространственное распределение анкеров в промежутке между рамами, что повышает надежность конструкции и упрощает ее монтаж. Расстояние f между крайними анкерами комплекта равно длине линейного участка верхняка. Проекция c углубления анкеров в массив за пределами выработки должна составлять не менее 0,5 м. Базу звена e выбирают в пределах 70 % от величины параметра f . На рисунке 2 штриховыми линиями показаны индивидуальные анкера усиления бровки, которые могут быть установлены в зоне 2. Параметры анкеров приведены в таблице 2.

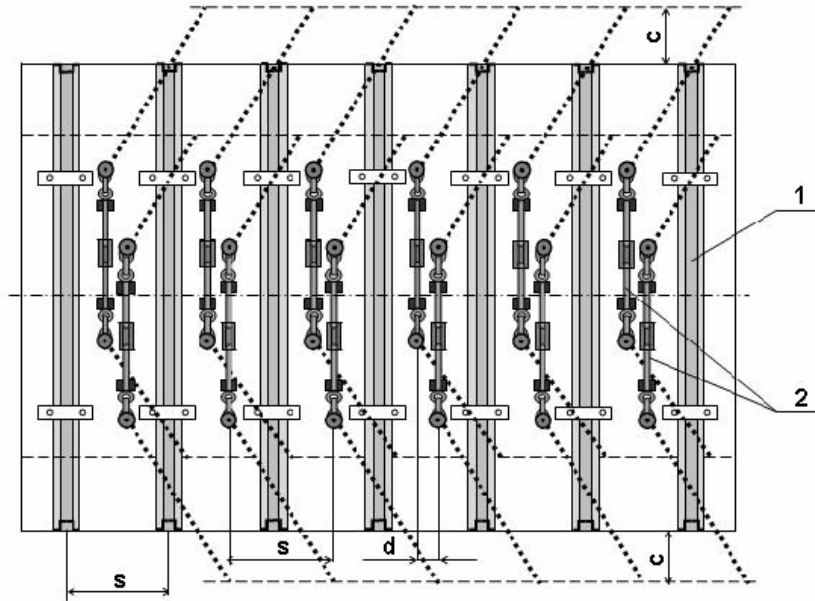


Рис. 1. Схема установки АСК в поперечном направлении между арками рамной крепи (вид в плане)

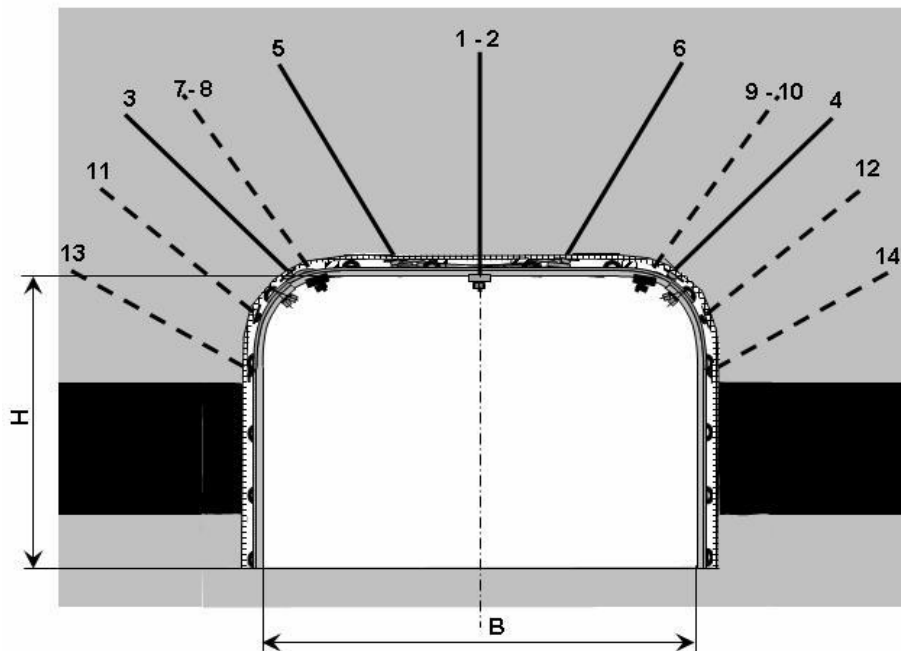


Рис. 2. Комбинированная охранная система нарастающего сопротивления в составе крепи КЦЛ, отдельных анкеров и АСК

В пределах зоны 3 выполняют установку временной крепи усиления. Для этого используют индивидуальные гидростойки

для подпора каждой рамы. Сводчатый верхняк подпирают в центральной части. При использовании крепи с плоским верхняком в выработках с плоской кровлей центральную часть усиливают анкерами подхвата, а гидростойки располагают в два ряда симметрично по отношению к вертикальной оси выработки.

Таблица 2

Параметры анкеров охранной системы

Номер анкера	Назначение	Порядок установки	Угол наклона, град	Длина
1-2	подхват рамы	при установке КЦЛ	90	2,75 м
3-4	анкера АСК	при установке АСК	45	расчетная
5-6	анкера АСК	при установке АСК	60	2,75 м
7-10	подхват рамы	при подходе лавы	55	2,75 м
11-12	крепление бровки	при подходе лавы	40	2,40 м
13-14	крепление бровки	при подходе лавы	30	2,40 м

Безопасность выполнения работ в зоне 4 в дополнение к указанной крепи обеспечивается крепью сопряжения.

Для охраны выработок за лавой с целью повторного использования наиболее эффективным является способ, предусматривающий возведение в выработанном пространстве литых полос.

Способ заключается в возведении механизированными средствами позади крепи лавы полосы из твердеющего материала, располагаемой вдоль выработки за ее контуром со стороны выработанного пространства. Полоса служит для поддержания пород кровли над выработкой, управления их обрушением в выработанном пространстве, а также для предотвращения поступления метана из выработанного пространства и утечек воздуха.

Добавление литой полосы в состав комбинированной охранной системы после прохода лавы соответствует принципу ее нарастающего сопротивления.

В качестве базового варианта возведения литой полосы рекомендуется гидромеханический способ с приготовлением смеси на участке перед лавой и транспортированию ее в жидком состоянии по трубопроводу к месту заливки. Для приготовления раствора используются смесители и бетономешалки, а для подачи к месту возведения литой полосы - нагнетательные установки. Оборудование должно быть в искровзрывобезопасном исполнении.

В настоящее время имеется достаточно широкий ассортимент сухих смесей для приготовления растворов, предназначенных для возведения литых полос. Общие требования к смесям состоят в следующем:

- компоненты смеси должны быть нетоксичны и негорючие;
- смесь должна допускать приготовление раствора на отстоянной шахтной воде;
- для нормальной работы нагнетателей смесь не должна быть абразивной;
- разрушение материала литой полосы под действием статической нагрузки на любой стадии твердения должно происходить плавно, без проявления динамических эффектов.

Прочностные и деформационные характеристики материала полосы на различных стадиях ее твердения определяются ее функциональным назначением и конкретными вариантами ее выполнения.

Технология возведения полос предусматривает использование двух основных категорий материалов для литых полос, отличающихся требованиями в отношении прочностных и деформационных характеристик.

Первая категория материалов должна обеспечивать несущую способность охранной конструкции и управляемое разрушение непосредственной кровли в выработанном пространстве за полосой. Требования к первой категории материалов для возведения литых полос состоят в следующем:

- прочность на одноосное сжатие твердеющего раствора, приготовленного на шахтной воде, должна составлять:
 - через сутки - не менее 7 МПа,
 - через неделю – не менее 15 МПа,

- в конце срока твердения – не менее 30 МПа;
- сжимающее напряжение, при котором начинается образование трещин в материале, должно составлять не менее 70 % от предела прочности на одноосное сжатие для текущей стадии твердения раствора;
- величина остаточной прочности материала полосы должна составлять не менее 10 МПа;
- величина относительной продольной деформации полностью отвердевшего материала полосы до достижения предела прочности для приемлемого сочетания податливости и жесткости должна составлять 2-3 %.

Вышеперечисленным требованиям полностью отвечает материал "БИ-крепь" отечественного производства (Патент Украины № 53569А).

Вторая категория материалов должна обеспечить адаптацию охранной конструкции к слабым породам почвы и иметь одинаковые с ними деформационно-прочностные характеристики. Вторым требованием является быстрое относительное нарастание прочности после приготовления смеси, но в сочетании с невысокой начальной вязкостью, допускающей процесс транспортирования по трубопроводу до места заливки. Наиболее близко указанным требованиям для условий, когда в почве пласта под полосой находится увлажненный алевролит, отвечает импортный материал "Текбленд".

Для эффективной работы в составе комбинированной охранной конструкции литая полоса должна существенно снизить асимметрию нагрузок на раму, приняв на себя вес зависающей в выработанное пространство консоли пород кровли. Модуль и направление вектора давления на литую полосу в значительной степени определяется категорией пород основной кровли. Классификация пород основной кровли по степени обрушаемости с учетом адаптации к условиям шахт Донбасса, приведена в таблице 3.

Таблица 3

Классификация пород основной кровли по обрушаемости

Класс	Обрушаемость	Характеристика пород основной кровли
I	легкообрушающаяся	аргиллиты и алевролиты мощностью более 6-7 h (h - мощность пласта), $\sigma_{сж.}$ до 40 МПа
II	среднеобрушающаяся	аргиллиты, алевролиты и песчаники общей мощностью более 6-7 h , $\sigma_{сж.}$ до 80 МПа
III	труднообрушающаяся	песчаники, известняки и алевролиты общей мощностью более 2 h , $\sigma_{сж.}$ более 80 МПа

Выбор конструкции литой полосы помимо мощности непосредственной кровли $h_{кр.}$ определяется параметром критической жесткости $W_{кр.}$, который комплексно учитывает допустимое опускание кровли над полосой, мощность пласта и ряд других параметров.

Основные критерии выбора типа и основных параметров литой полосы, в качестве охранной конструкции штреков для повторного использования приведены в таблице 4.

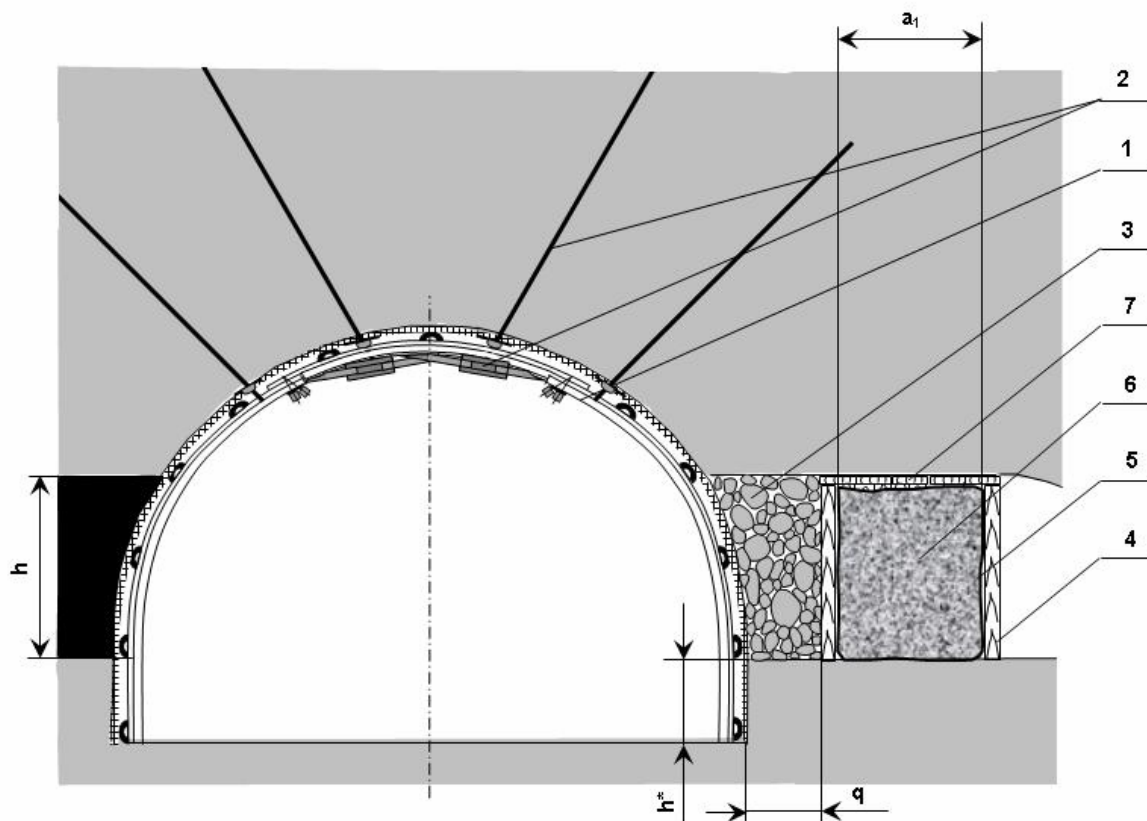
Таблица 4

Критерии выбора конструкции литой полосы

Класс кровли	$W_{кр.}$		Необходимая несущая способность, МН/м		Конструкция литой полосы
	$h < 1,5$	$h > 1,5$	$h_{кр.} / h > 3$	$h_{кр.} / h < 3$	
I	0,75-0,80	0,80-0,85	3-5	5-10	однорядная
II	0,80-0,85	0,85-0,90	8-10	10-12	усиленная однорядная
III	0,85-0,90	0,90-0,95	12-15	15-20	двухрядная

Независимо от выбора конструкции литой полосы до ее возведения производится опережающая установка крепи усиления. Рекомендуется поджатие каждой рамы гидростойками, начиная с зоны 2 и заканчивая на расстоянии 6 м после прохода лавы. На более удаленном от лавы участке гидростойки демонтируют и для подпора рам устанавливают постоянную деревянную крепь диаметром не менее 180 мм. Установка стоек может производиться либо по центру, либо в два ряда по бокам, в зависимости от конструкции рамы.

Однорядную литую полосу возводят из материала, имеющего высокую жесткость при его полном отверждении. Схема возведения однорядной литой полосы представлена на рисунке 3.



1 – арочная крепь, 2 – анкерно-стяжная крепь, 3 – забутовка, 4 – стойки органной крепи, 5 – заливочный мешок, 6 – жесткая литая полоса, 7 – затяжка кровли

Рис. 3. Однорядная литая полоса в составе комбинированной охранной системы

После выемки очередной полосы угля и передвижки нижней приводной станции производят крепление ниши, устанавливая ряды деревянной органной крепи по простиранию и падению пласта. Расстояние q от выработки до первого ряда одинарной деревянной органной крепи принимают равным высоте h^* нижней подрывки штрека. Расстояние a_1 между первым и вторым рядом органной крепи определяется мощностью h угольного пласта и степенью обрушаемости основной кровли. Оно составляет: $0,7 h$ при легкообрушающейся кровле, $1,0 h$ при кровле средней обрушаемости и $1,2 h$ при труднообрушающейся кровле. Минимальное значение параметра a_1 (ширина литой полосы), независимо от результатов расчета, должно составлять $1,0$ м. При проведении выработки вприсечку к старой выработке ширина полосы между ними должна быть не менее $2,0 h$. Пространство между двумя рядами органной крепи делится деревянными стойками на отдельные ячейки, ширину a_2 которых выбирают из условия, чтобы в сумме с толщиной перегородки она равнялась шагу крепи s . К стойкам органных рядов и перегородкам с помощью гвоздей подвешивают пористые мешки из синтетического материала размером $a_1 \times a_2 \times h$, предназначенные для заливки твердеющей смеси. Мешки оснащены в верхней части наполняющим и воздухоотводящим отверстиями, которые при установке располагают в самом высоком месте.

В заливочные мешки нагнетают по трубопроводу раствор. Свободное пространство между затяжкой рамной крепи и литой полосой забучивают породой и при необходимости тампонируют.

По технологическим причинам полоса не может быть отлита по самую кровлю. Для ее защиты на первом этапе твердения и более равномерного распределения давления на нее со стороны пород кровли пространство между полосой и кровлей закладывают пиломатериалом хвойных пород толщиной 40 мм, располагаемым, как правило, вдоль оси выработки.

Для случая основной кровли со средней обрушаемостью нагрузка на литую полосу в условиях быстрого продвижения лавы существенно возрастает задолго до полного отвердения материала полосы. В этом случае усиливают однорядную литую полосу путем замены одинарного ряда органной крепи двойным и добав-

ления третьего ряда сдвоенной органной крепи, удаленного в глубину выработанного пространства на расстояние равное 0,8 – 1,0 м. Перекрытие зазора между кровлей и охранной конструкцией осуществляют брусом толщиной до 150 мм, располагаемым перпендикулярно оси штрека.

Двухрядная полоса рекомендована для охраны повторно используемых выработок, находящихся в наиболее тяжелых геологических условиях. При ее возведении необходимо учитывать перечисленные далее особенности, имеющие принципиальное значение.

Полосы должны быть разной жесткости. Основная (жесткая) полоса, воспринимающая нагрузку от опускающейся кровли пласта, должна быть удалена от штрека. С увеличением расстояния от края полосы до контура выработки зона интенсивного пучения сдвигается в сторону выработанного пространства. В то же время при чрезмерном удалении полосы от контура выработки в кровле между полосой и штреком возникает зона растягивающих напряжений, приводящая к ее разрушению и значительным деформациям. Кроме этого, с удалением полосы внутрь отработанного пространства усложняется технология ее возведения и дальнейший контроль ее состояния. Рекомендуемое удаление жесткой полосы от контура выработки – не более 4,5 м.

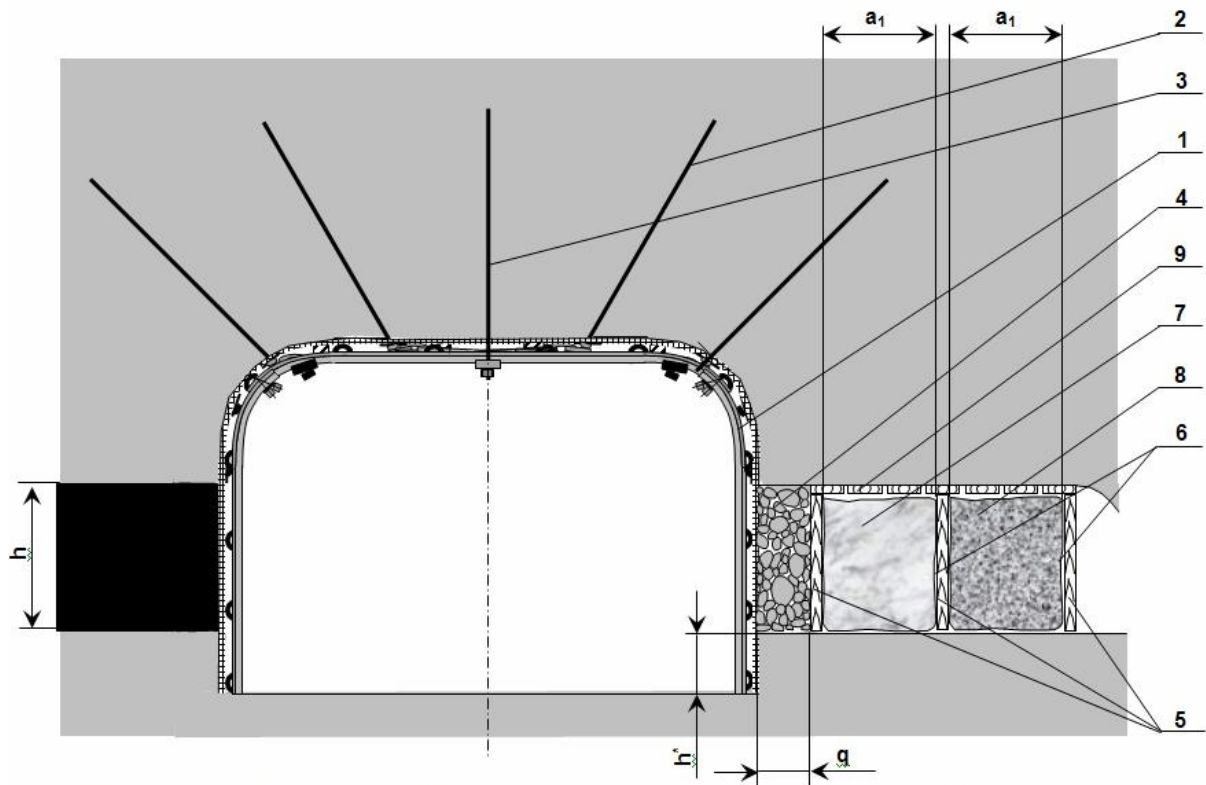
Вспомогательная (податливая) полоса располагается вплотную к основной со стороны выработки. Прочностные, упругие и деформационные характеристики ее материала должны быть близкими к соответствующим характеристикам пород почвы пласта с учетом воздействия влаги. В этом случае слабая полоса наиболее эффективно противодействует пучению пород, вызванных действием основной (жесткой) полосы.

Наличие вспомогательной (податливой) полосы способствует созданию бокового подпора для основной полосы, чем сдерживает ее поперечные деформации и, таким образом, повышает несущую способность после появления трещин.

Второй положительный эффект от наличия податливой полосы заключается в противодействии опрокидывающему моменту, действующему на основную полосу. Следует отметить, что оба эффекта реализуются только при плотном контакте полос.

Наличие даже небольшого зазора между ними (сближенные полосы) исключают все преимущества данной комбинированной охранной конструкции.

Комбинированная охранная конструкция, включающая двухрядную литую полосу, представлена на рисунке 4.



1 – рамная крепь, 2 – анкерно-стяжная крепь, 3 – анкера подхвата рамы, 4 – забутовка, 5 – одинарный органый ряд, 6 – заливочный мешок, 7 – податливая литая полоса, 8 – жесткая литая полоса, 9 – затяжка кровли

Рис. 4. Двухрядная литая полоса в выработке с плоской кровлей

Ширина a_1 каждой из полос предусматривается одинаковой и определяется по тем же критериям, что и для одинарных полос. Отставание основной (жесткой) полосы должно быть минимально возможным, но не более 6 м от забоя. Кровлю пласта необходимо подпирать до начала ее существенных подвижек. Отставание второй податливой полосы от первой предусматривается на величину суточного подвигания лавы. При этом обеспечивается контроль качества возведения основной полосы за истекшие су-

тки. Контроль предусматривает определение полноты заполнения ячейки по высоте и проверку применения для данной полосы именно высокопрочной смеси. Удаленная от штрека в глубину выработанного пространства жесткая полоса воспринимает основную нагрузку от налегающей породной консоли и только при ее качественном выполнении охранный система работает должным образом.

Податливую полосу отодвигают от штрека на расстояние q , равное высоте h^* нижней подрывки штрека. Пространство между податливой полосой и затяжкой рамной крепи заполняют породой для равномерной передачи нагрузок на крепь.

При возведении двухрядной полосы следует обеспечивать полную заливку ячеек на всю высоту. Это относится как к основной (жесткой) полосе, так и к вспомогательной (податливой). Податливая полоса должна точно также сопротивляться сжимающим и касательным усилиям, как и основная. Замена полной заливки податливой полосы на засыпку обломками породы, частичное заполнение или другое упрощение технологии не позволяет получить необходимый эффект по оптимизации условий работы основной полосы, который вспомогательная полоса обеспечивает.

Механизм работы двухрядной литой полосы ориентирован на уменьшение пучения почвы выработки за счет отнесения жесткой полосы, работающей как штамп, в глубину выработки, а также за счет блокирования пучения почвы под податливой полосой. Для выработок с особо интенсивным пучением предлагается вариант двухрядной литой полосы с регулярно чередующимися окнами со стоны штрека. Через определенное количество заполненных секций (4 - 5) податливой полосы следует одна незаполненная. Ее назначение – утилизация породы при подрывке почвы.

Технология возведения комбинированных охранных систем прошла опытно-промышленную проверку на шахте "Красноармейская – Западная № 1". Положительные результаты апробации и эффективность применения явились основанием для принятия отраслевого документа по их применению в угольной промышленности Украины [5].

СПИСОК ССЫЛОК

1. Байсаров, Л. В. Геомеханика и технология поддержания повторно используемых выработок [Текст] / Л. В. Байсаров, М. А. Ильяшов, А. И. Демченко. – Днепропетровск: ЧП "Ли-ра ЛТД", 2005. – 240 с.
2. Булат, А. Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт [Текст] / А. Ф. Булат, В. В. Виноградов. – Днепропетровск: Вільпо, 2002. – 372 с.
3. Временная инструкция по охране выемочных выработок полосами из твердеющих материалов [Текст]. – М.: ИГД им. А. А. Скочинского, 1981. – 20 с.
4. Байсаров, Л. В. Охрана штреков литыми полосами при разработке пологих пластов средней мощности [Текст] / Л. В. Байсаров, М. А. Ильяшов, А. И. Демченко // Уголь Украины. – 2001. - № 9. – С. 3-6.
5. Булат, А. Ф. Технологический регламент поддержания повторно используемых выемочных штреков комбинированными охранными системами [Текст] / А. Ф. Булат, Б. М. Усаченко, М. А. Ильяшов [и др.]. – Днепропетровск-Донецк: "ВИК", 2009. – 36 с.