

А.Ф. Булат, академик НАН Украины,
Б.М. Усаченко, д-р техн. наук, проф.,
В.Н. Сергиенко, канд. техн. наук
(ИГТМ НАН Украины)

М.А. Ильяшов, д-р техн. наук, проф.,
А.А. Яйцов, директор департамента,
А.В. Агафонов, д-р техн. наук

(ЗАО «Донецксталь» – металлургический завод»)

**ПОРЯДОК ПРИМЕНЕНИЯ «ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
РЕГЛАМЕНТА ПОДДЕРЖАНИЯ ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ
ВЫЕМОЧНЫХ ШТРЕКОВ КОМБИНИРОВАННЫМИ
ОХРАННЫМИ СИСТЕМАМИ»**

Наведено рекомендації по застосуванню галузевого документу при виборі засобів кріплення виїмкових штреків в умовах Центрального Донбасу.

**THE RECOMMENDATIONS FOR APPLICATION OF THE
«TECHNOLOGICAL SCHEDULE OF MAINTENANCE REUSABLE
ENTRIES' BY COMBINED SECURITY SYSTEMS»**

The recommendations for use of the branch document are given at a choice of means of timbering of a entries' in conditions of Central Donbass.

Поддержание выемочных штреков является важнейшим составным элементом процесса угледобычи, поскольку они должны обеспечивать бесперебойное транспортирование добытого угля, доставку необходимых материалов и оборудования, а также устойчивое проветривание очистного забоя [1].

Традиционная технология угледобычи на шахтах Украины была ориентирована на погашение выемочных штреков после прохода лавы. В соответствии с этой концепцией разрабатывались средства и технология крепления. Они предусматривали относительно короткий срок эксплуатации крепления, преимущественно симметричную нагрузку и высокую допустимую податливость. На большинстве шахт Украины типичной крепью подготовительных выработок является податливая крепь КМП-А3 со спецпрофиля СВП-27 или СВП-33. Шаг установки крепи обычно составляет 0,8 – 1,0 м. Несмотря на высокую металлоемкость такой крепи, ее использование в условиях больших глубин неэффективно. По данным работы [2] на приращение 1 кН несущей способности крепи необходимо затратить 2-3 кг спецпрофиля. Как показал практический опыт, поддержание выработок с целью их повторного использования при отработке смежной лавы по безцеликовой схеме с использованием указанного крепления является практически невозможным [3].

С развитием современных технологий анкерного крепления на передовых шахтах Украины активно внедряются комбинированные схемы рамно-анкерного крепления [2, 4, 5]. Они эффективно работают при незначительных нарушениях слоистой структуры непосредственной кровли при условии, что

породы в пределах каждого слоя достаточно прочные. Своевременно скрепленная анкерами слоистая плита над выработкой выступает в роли дополнительного элемента охранной конструкции и сдерживает вертикальные деформации до подхода лавы. Однако за лавой эффективность анкерной крепи существенно снижается вследствие формирования блочной структуры в кровле.

В разработанном технологическом регламенте изначально предусматривается, что все используемые виды крепи должны эффективно работать не только до подхода лавы, но и за лавой. Достичь этой цели оказалось возможным путем синтеза комбинированных охранных систем [6]. При их разработке использовались следующие принципы:

- 1) упреждения деформаций контура выработки;
- 2) нарастающего сопротивления охранный системы в целом;
- 3) комплементарности отдельных элементов охранный системы;
- 4) не критичности параметров конструкции к вариациям условий ее работы.

Комплекс предусматриваемых техническим регламентом охранных мероприятий базируется на закономерностях изменения напряженного состояния в системе «крепь – массив» по длине охраняемой выработки (табл. 1). Размеры зон даны для условий шахты «Красноармейская-Западная № 1».

Таблица 1 – Зональность изменения напряженного состояния системы «крепь – массив» по длине охраняемой выработки

Номер зоны	Расстояние до лавы, м	Состояние системы «крепь – массив»
I	дальше -60	умеренно нагружен верхняк рамы, боковые стойки не пригружены, деформация контура выработки незначительна
II	от -60 до -30	расслоение кровли, возрастание нагрузки на верхняк, первые проявления асимметрии деформирования контура выработки
III	от -30 до -5	интенсивное возрастание нагрузок на все элементы рамной крепи, а также на анкера, увеличение асимметрии нагрузок
IV	от -5 до 0	переход кровли к крупноблочной структуре, возрастание нагрузок на металлокрепь с одновременным снижением эффективности ее работы
V	от 0 до 30	резко асимметричная нагрузка на охранную конструкцию, прогрессирующее уменьшение сечения выработки в основном за счет деформации верхняка
VI	от 30 до 150	снижение асимметрии нагрузок, интенсификация пучения почвы в выработке
VII	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 основной задачей является предотвращение расслоения пород кровли. На этом этапе с отставанием от забоя не более 3 м выполняют установку рамной крепи. В традиционной схеме крепления используют преимущественно арочные податливые крепи КМП-А3 и КШПУ. В рассмотренном регламенте предлагается более широкий выбор

крепей, имеющих улучшенные деформационно-силовые характеристики в условиях высокого горного давления.

Западно-Донбасским научно-производственным центром «Геомеханика» для сложных горно-геологических условий разработана новая серия металлических податливых арочных двухрадиусных крепей. Новые крепи имеют форму овоида, максимально приближенного к эллипсу. Данная форма является самой устойчивой при воздействии на нее всестороннего давления оказываемого породным массивом. Регламентом для крепления выемочных штреков рекомендуются: трехэлементная крепь КМП-А3Р2 и четырехэлементная крепь КМП-А4Р2. Разработанные конструкции крепей позволили практически без изменения веса комплекта увеличить несущую способность верхняка (критический элемент) примерно в 2,7 раза за счет увеличения кривизны и уменьшения пролета, увеличить податливость до 700-1000 мм, а величину рабочего сопротивления – примерно в 2 раза.

Сложности в поддержании горных выработок на сопряжениях «штрек-лава» значительно упрощаются при использовании крепи КЦЛ с циркульно-линейным верхняком. Разработчиком указанной крепи также является ЗДНПЦ «Геомеханика». Крепь КЦЛ обеспечивает качественно иной уровень поддержания выемочных штреков до подхода лавы и при снятии стоек крепи для обеспечения передвижки забойного конвейера.

Наличие циркульно-линейного верхняка облегчает операции по поддержанию выемочных штреков, примыкающих к конечным участкам лав, создает удобства для усиления крепи с применением индивидуальных или анкерных крепей, обеспечивает требуемое геомеханическое равновесие усиленной системы «крепь-массив» при временном демонтаже стоек крепи и проходе очистного забоя.

Циркулярно-линейная форма верхняка обеспечивает повышение его сцепления с породами кровли и отпор крепи, своевременное вовлечение ее в работу, чем улучшаются условия нагружения крепи со стороны кровли и боков выработки. За счет формы верхняка улучшены характеристики статической несущей способности и повышена восприимчивость крепи к возможным динамическим нагрузкам со стороны кровли. Применение крепи с циркульно-линейным верхняком обеспечивает сохранение контура и уменьшение потери сечения выработок, что повышает возможность их вторичного использования.

Крепь КЦЛ имеет две модификации: КЦЛ(О) – овоидного типа и КЦЛ(Ш) – шатрового типа. Крепь КЦЛ(О) имеет 9 типоразмеров в трехэлементном исполнении и 5 типоразмеров – в четырехэлементном. Крепь КЦЛ(Ш) также имеет 9 типоразмеров в трехэлементном исполнении.

Для выработок с плоской кровлей сечением 17,2 м² разработана отдельная модификация КЦЛ-17,2 с удлиненным верхняком.

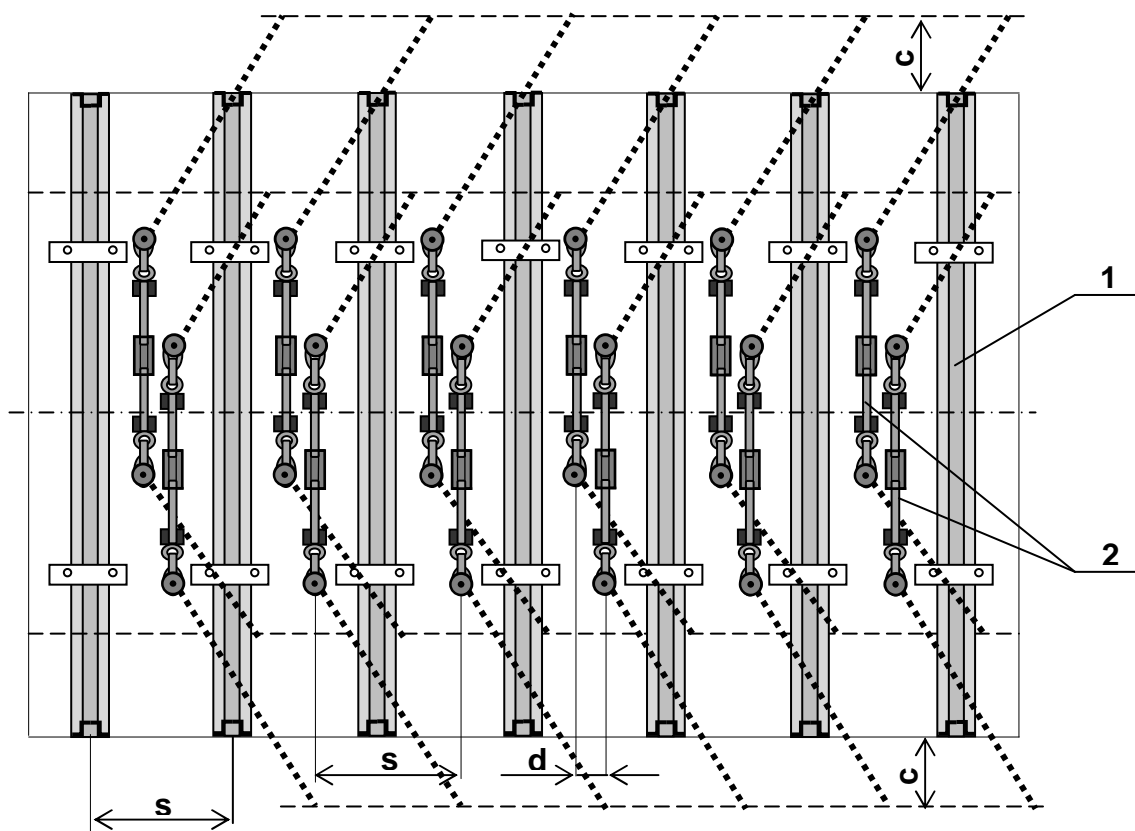
Вместо установки системы отдельных, не связанных между собой анкеров, рассматриваемый регламент рекомендует использование анкерно-стяжной крепи (АСК). Данная охранная конструкция обладает элементами новизны и в документах отраслевого уровня рассматривается впервые. Ее основным преимуществом перед системой одиночных анкеров является возникновение эффекта

самозапираания породных блоков в кровле охраняемой выработки. Указанное свойство позволяет сохранить эффективность работы охранной конструкции и при переходе непосредственной кровли над охраняемой выработкой в крупно-блочное состояние.

Установку анкерно-стяжной крепи, согласно принципу упреждения деформаций контура выработки, необходимо выполнить до начала существенной подвижки кровли, т. е., в пределах зоны I.

Анкерно-стяжная крепь может работать как самостоятельная охранная конструкция, однако более эффективно ее преимущества реализуются в комбинации с рамной крепью.

Комплект АСК состоит из двух звеньев, и располагается в кровле выработки в промежутке между рамами (рис. 1).



1 – рамная крепь, 2 – анкерно-стяжная крепь

Рис. 1 – Установка анкерно-стяжной крепи между рамами

Применение АСК для усиления рамной крепи обеспечивает:

- 1) формирование над выработкой плитно-балочного породного перекрытия, что создает предпосылки для равномерного распределения нагрузок на арку;
- 2) перенос нагрузки опускающихся приконтурных пород непосредственной кровли вглубь массива на верхние породные слои;
- 3) повышение сцепления между расщепляющимися слоями пород и создание дополнительного подпорного напряжения по нормали к плоскости слоистости, чем обеспечится повышение межслоевой прочности массива;

4) уменьшение изгибающих моментов в слоях пород со стороны лавы и изгибающих перемещений за счет увеличения мощности пород и исключения скольжения по поверхностям сдвига;

5) рациональный геомеханический режим поддержания сопряжения «штрек-лава» при демонтаже стоек рам для пропуска забойного конвейера.

В совокупности применение АСК обеспечивает переход на меньшие сечения спецпрофиля рамной крепи, уменьшение ее плотности возведения, снижение объема буровых работ под установку анкеров, сокращение металлоемкости охранной конструкции и трудозатрат, увеличение темпов проведения выработок и повышение их устойчивости в целях повторного использования при условии сокращения ремонтных работ.

Наиболее полно преимущества анкерно-стяжной крепи проявляются в выработках с плоской кровлей. Схема расположения элементов комплекта АСК для этого случая иллюстрируется рис. 2.

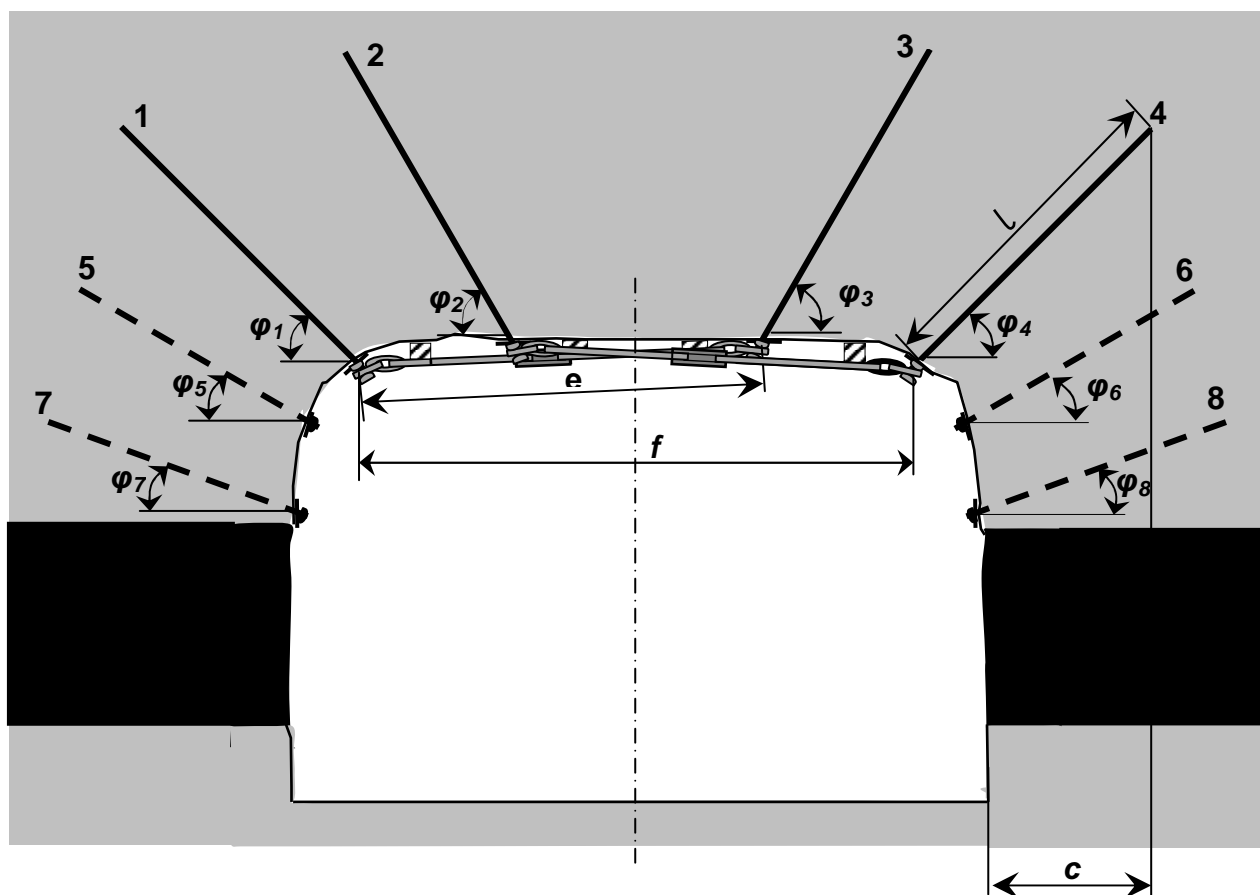


Рис. 2 – Анкерно-стяжная крепь в выработке с плоской кровлей

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 принимают равным длине линейного участка верхняка или на 10 - 15 % больше. 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 рис. 2 штриховыми линиями показаны также индивидуальные анкера усиления бровки, которые могут быть установлены на этапе II. Параметры анкеров приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Параметры анкеров в составе комбинированной охранной системы выработки с плоской кровлей

Номер анкера	Назначение анкера	Длина анкера l , м	Угол наклона φ , град
1	в составе комплекта АСК	2,75	45
2	то же	2,75	60
3	«»	2,75	60
4	«»	2,75	45
5	укрепление бровки	2,40	40
6	то же	2,40	40
7	«»	2,40	30
8	«»	2,40	30

В пределах зоны III выполняют установку временной крепи усиления. Рекомендуется применение индивидуальных гидростоек для подпора каждой рамы. Сводчатый верхняяк рамной крепи подпирают в его центральной части. При использовании крепи с плоским верхняком в выработках с плоской кровлей его центральную часть усиливают анкерами подхвата, а гидростойки располагают в два ряда симметрично по отношению к вертикальной оси выработки.

Безопасность выполнения работ в пределах зоны IV в дополнение к указанной металлокрепи обеспечивается также крепью сопряжения.

Для охраны выемочных выработок за лавой с целью их повторного использования наиболее эффективным оказался способ, предусматривающий возведения в выработанном пространстве литых полос [7].

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

Способ охраны выработок литыми полосами из твердеющих материалов должен применяться при безцеликовой разработке угольного пласта столбовыми и комбинированными системами по простиранию, падению и восстанию с повторным использованием выемочных выработок. Возможно применение способа при сплошной системе разработки.

Добавление литой полосы в состав комбинированной охранной системы после прохода лавы соответствует принципу ее нарастающего сопротивления. Принцип упреждения деформаций должен реализовываться минимальным отставанием возведения полосы от линии забоя, до появления существенных расслоений кровли пласта над выработанным пространством. Рекомендуемая величина отставания составляет 6 м, определяется в основном технологическими

возможностями возведения полосы.

В качестве базового варианта возведения литой полосы рекомендуется гидромеханический с приготовлением смеси на участке перед лавой и транспортированием ее в жидком состоянии по трубопроводу к месту заливки.

Для приготовления раствора можно использовать серийные смесители и бетономешалки. Технические характеристики некоторых их них приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Технические характеристики смесителей и бетономешалок для приготовления раствора

Категория	Тип	Загрузочная вместимость, м ³	Габаритные размеры, мм			Масса, кг
			длина	ширина	высота	
Смесители	СО-46А	0,08	1600	710	1130	210
	СБ-43	0,08	1470	585	895	160
	СБ-133	0,10	1120	660	1000	180
	TZ 100/60	0,06	720	670	920	80
	TZ 200/125	0,125	1345	1050	1210	275
Бетономешалки	ПРМ-350	0,35	1200	1200	1200	200
	РМ-500	0,50	1500	1400	1300	350
	РМ-750	0,75	2000	1100	1000	512

Для подачи раствора к месту возведения литой полосы используют нагнетательные установки. Некоторые из них (СО-241 и МБМ-3) имеют собственный встроенный смеситель

Технические характеристики рекомендуемых для возведения литых полос нагнетательных установок приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Нагнетательные установки для гидромеханического способа возведения литых полос

Техническая характеристика	Тип установки					
	СО-10А	СО-50	СО-241	Монолит-2	МБМ-3	MONO WT-820
техническая производительность, м ³ /ч	6	6	3	8	6	10 - 15
технологическая производительность, м ³ /смену	12	16	8	20	16	60 - 90
емкость собственного смесителя, м ³	-	-	0,3	-	0,25	-
размер фракций наполнителя, мм	15	15	8	10	5	63
максимальное давление нагнетания, МПа	1,0	1,5	0,7	1,5	2,0	0,6
дальность подачи, м	200	200	200	50	100	300
высота подъема, м	40	40	80	-	20	80
длина, мм	1040	1200	1300	2100	1960	2000
ширина, мм	660	560	1100	660	1160	900
высота, мм	1025	1000	2300	980	1230	600
масса, кг	400	450	700	444	1300	750

Упомянутое в табл. 3 и 4 оборудование должно поставляться в искровзрывобезопасном исполнении.

Прочностные и деформационные характеристики материала полосы на различных стадиях твердения раствора определяются ее функциональным назначением и конкретными вариантами ее выполнения [8].

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. Указанным требованиям полностью отвечает материал «БИ-крепь» отечественного производства, состав которого защищен патентом Украины № 53569А (бюл. № 1, 2003 г.).

Вторая категория материалов должна обеспечить адаптацию охранной конструкции к слабым породам почвы и в идеале иметь одинаковые с ними деформационно-прочностные характеристики. Вторым требованием является быстрое относительное нарастание прочности после затворения 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 переувлажненный алевролит, отвечает польский материал Текбленд.

При возведении литых полос используется также дерево:

для установки органной крепи, предохраняющей литую полосу до момента набора определенной прочности;

для перекрытия зазора между верхней горизонтальной поверхностью литой полосы и непосредственной кровлей.

С учетом практического опыта возведения однорядной литой полосы, а также результатов математического и физического моделирования, предложено несколько вариантов конструкций полосы для кровель с различной степенью обрушаемости. При выборе деформационно-силовых характеристик полосы исходили из рекомендуемой в работе [9] величины ее относительной деформации ε по высоте h .

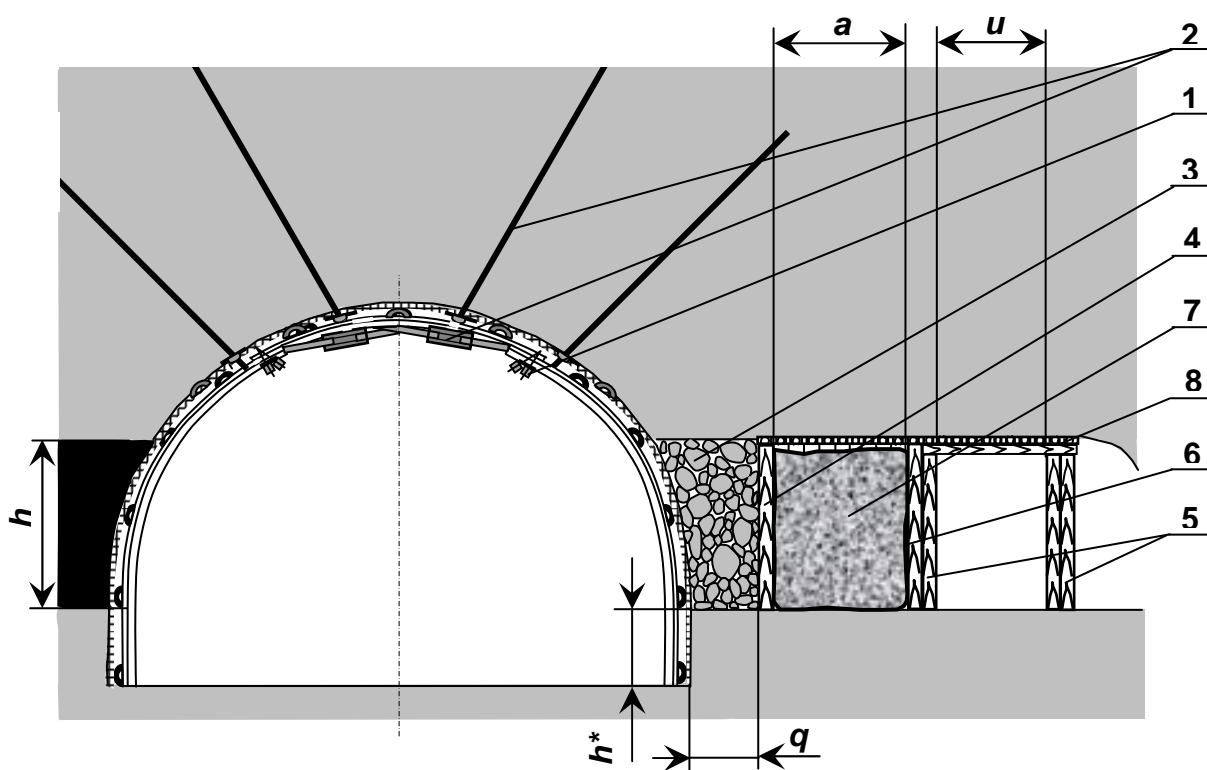
Более детальная характеристика условий, определяющих выбор конструкции литой полосы, представлены в табл. 5.

Таблица 5 – Критерии выбора конструкции литой полосы

Основная кровля	Относительная вертикальная деформация ε		Удельная нагрузка $F_{y.}$, МН/м	Конструкция литой полосы
	$h < 1,5$ м	$h > 1,5$ м		
легкообрушающаяся	0,20-0,25	0,15-0,20	до 70	однорядная
среднеобрушающаяся	0,15-0,20	0,10-0,15	70 - 100	усиленная однорядная
труднообрушающаяся	0,10-0,15	0,05-0,10	100 - 150	двухрядная

Конструкция однорядной литой полосы и технология ее возведения описаны в работе [7] и в новый технический регламент внесены без изменений.

Конструкция усиленной однорядной полосы представлена на рис. 3.



- 1 – арочная крепь, 2 – анкерно-стяжная крепь, 3 – забутовка, 4 – стойки одинарной органной крепи, 5 – стойки сдвоенной органной крепи, 6 - заливочный мешок, 7 – жесткая литая полоса, 8 – затяжка кровли

Рис. 3 – Усиленная однорядная литая полоса в составе комбинированной охранной системы (вид в поперечном сечении)

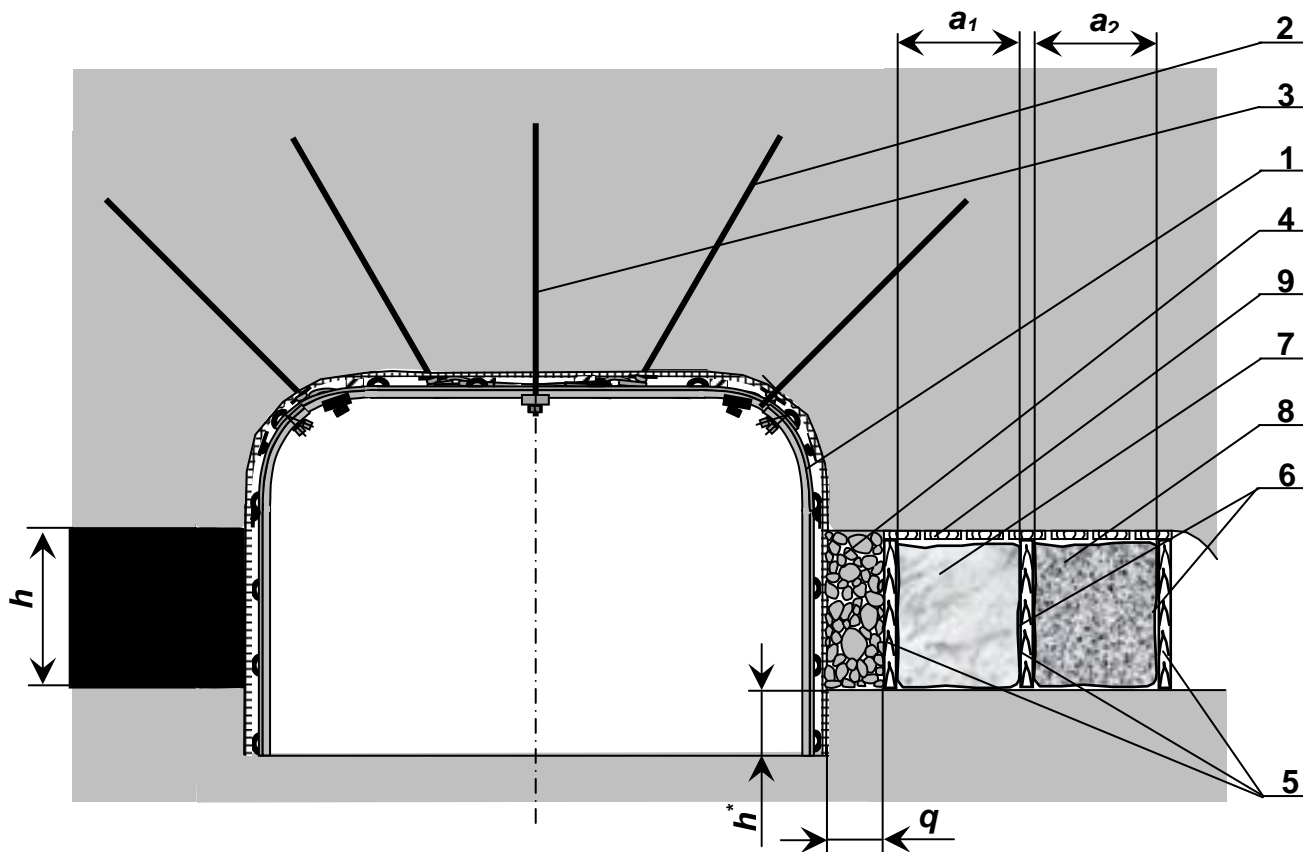
Усиление однорядной литой полосы осуществляют путем замены одинарного ряда органки со стороны отработанного пласта двойным рядом, а также добавления третьего ряда сдвоенной органной крепи, удаленного в глубину выработанного пространства в соответствии с рис. 3. Ширину a полосы принимают равной мощности h пласта. Расстояние u между вторым и третьим рядами органки выбирают равным 0,8 – 1,0 м. Перекрытие зазора между кровлей и охранной конструкцией осуществляют брусом толщиной до 150 мм, располагаемым перпендикулярно оси штрека.

Граница литой полосы со стороны охраняемой выработки во всех вариантах ее исполнения удалена от контура на расстояние q , равное высоте нижней подрыжки пласта h^* .

Предложенная конструкция литой полосы наиболее эффективна при быстром подвигании очистного забоя. За счет перераспределения нагрузок на органную крепь на начальном этапе твердения полосы она успевает набрать необ-

ходимую прочность до подхода зоны опорного давления за лавой. Кроме этого, по результатам математического и физического моделирования, такая конструкция полосы совместно с анкерно-стяжной крепью сдерживает развитие трещины над сводовой частью выработки и тем самым улучшает условия работы металлокрепей.

Наиболее сложной по выполнению, но и наиболее эффективной при больших нагрузках на охранную конструкцию, является двухрядная литая полоса. Ее конструкция представлена на рис. 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 составе комбинированной охранной системы выработки с плоской кровлей

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

Полосы должны быть разножесткими. Основная жесткая полоса, воспринимающая нагрузку от сажающейся 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 за ее состоянием. Рекомендуемое удаление жесткой полосы от контура выработки – не более 4,5 м.

Вспомогательную податливую полосу располагают вплотную к основной со стороны охраняемой выработки. Прочностные, упругие и деформационные характеристики ее материала должны быть близкими к соответствующим характеристикам пород почвы пласта с учетом воздействия влаги. В этом случае податливая 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, воплощающие принцип комплементарности, реализуются только при плотном контакте полос. Наличие даже небольшого зазора между ними (сближенные полосы) сводят на нет все преимущества данной комбинированной охранной конструкции.

Изложенные в регламенте технические решения по поддержанию выработок для повторного использования внедряются на шахте «Красноармейская-Западная № 1» и уже показали свою эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корзун А.В. Некоторые аспекты состояния и перспективы угольных предприятий Украины [Текст] / А.В. Корзун, С.В. Янко // Уголь Украины. - 2002. - № 6. - С. 3-6.
2. Булат А.Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт [Текст] / А.Ф. Булат, В.В. Виноградов. – Днепропетровск: Вильпо, 2002. – 372 с.
3. Байсаров Л.В. Геомеханика и технология поддержания повторно используемых выработок [Текст] / Л.В. Байсаров, М.А. Ильяшов, А.И. Демченко. – Днепропетровск: ЧП «Лири ЛТД», 2005. – 240 с.
4. КД 12.01.01.501- 98. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги [Текст]. – Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 1999. – 42 с.
5. КД 12.01.01.502 – 98. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Порядок та організація [Текст]. - Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 1999. – 14 с.
6. Лангош У. Проектные основы управления горным давлением комбинированной крепью пластовых выработок [Текст] / У. Лангош // Глюкауф. - 2002. - № 1. – С. 16-20.
7. Временный технологический регламент по охране подготовительных выработок угольных шахт литыми полосами из твердеющих материалов [Текст] / А.Ф. Булат, М.А. Ильяшов, Б.М. Усаченко [и др.]. – Днепропетровск: РИА «Днепр-VAL», 2004. – 33 с.
8. Булат А.Ф. К выбору строительных смесей для горных технологий [Текст] /А.Ф. Булат, Б.М. Усаченко, Л.В. Левченко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2006. – Вып. 61. – С. 27-41.
9. Временная инструкция по охране выемочных выработок полосами из твердеющих материалов [Текст]. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1981. – 20 с.