

## **НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ОХРАНЕ КОНЦЕВЫХ УЧАСТКОВ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ЛАВ**

Наведені результати геомеханічно обґрунтованих технологічних розробок, які забезпечують надійне підтримання виїмкових штреків, зокрема кінцевих ділянок лав, з можливістю повторного використання виробок.

### **NEW TECHNOLOGICAL DECISIONS IN PROTECTION OF END SITES OF HIGH-LOADED LAVAS**

The results of the proved technological development on the base geomechanical consideration are adduced, which provide reliable maintenance of hollow drift as a whole and end sites of lavas, in particular with an possibility of repeated utilization of workings.

Обеспечение рентабельности угольной отрасли возможно только путем повышения эффективности работы шахт, что, в ранг важнейших, ставит задачу совершенствования и разработки прогрессивных технико-технологических решений, внедрение которых обеспечило бы устойчивое воспроизводство линий очистных забоев, снижение потерь и интенсивное наращивание объемов добычи угля, а также существенное уменьшение издержек производства. В свою очередь, интенсификация очистных работ, путем роста нагрузок на лавы, в ряд первоочередных поставила задачи увеличения темпов и объемов проведения выемочных выработок при одновременном снижении затрат на их поддержание. Поэтому особую актуальность, в настоящее время, приобретают разработка и внедрение способов поддержания выработок добычного участка, особенно в зоне концевых участков лав.

Несмотря на относительно высокую степень механизации процессов добычи угля, уровень тяжелого ручного труда на концевых участках лав остается достаточно высоким. Например, трудоемкость работ на сопряжениях достигает 50 % от общей на добычном участке. Кроме того, концевые участки лав являются наиболее травмоопасными зонами шахты. Так более половины несчастных случаев, не связанных с выбросами и воспламенениями метана, происходят именно вблизи сопряжений "штрек-лава", причем подавляющее большинство от обрушений кровли.

Опыт работы угольных шахт показал, что применяемые способы поддержания горных выработок, характеризующиеся ограниченной степенью податливости и несущей способностью, не в состоянии противостоять повышенному горному давлению в зоне влияния очистных работ. В результате чего нарушается производственный цикл работы добычных участков. Все это – результат недостаточной изученности проявлений горного давления в подготовительных выработках, а также нерешенности вопросов создания более совершенных и эффективных способов их поддержания, что приводит к большим экономическим и материальным издержкам.

Выполненные на шахте «Красноармейская-Западная №1» исследования устойчивости выемочных штреков, поддерживаемых традиционным способом,

показали, что его характер (при базовом способе крепления) в условиях повышенного горного давления определяется формированием по длине выработок пяти основных зон напряженно-деформированного состояния породного массива, расположенных, соответственно: вне области влияния очистных работ, в 60-70 м впереди лавы, в интервалах 0-40 м, 40-200 м и более 200 м позади лавы. При этом радиус зоны неупругих деформаций достигает 5-7 м, величины смещений пород и потеря сечения штреков в зависимости от времени подчиняются экспоненциальному закону, а в зависимости от расстояния до лавы – линейному. Коэффициент асимметрии нагрузок на крепь достигает 2-3, а остаточное сечение штреков после прохода лавы составляет 40-50% от проектного, что не позволяет использовать выработки повторно для отработки смежного столба.

Важную роль в охранной конструкции играет анкерная крепь, повышающая монолитность массива и предотвращающая его разноглубинную неустойчивость, особенно в случае комбинации металлополимерных (2,4 м) и канатных (4,0 м) анкеров.

Относительный показатель пригрузки варьирует в диапазоне от 0,5 до 3. Максимум нагрузок (коэффициент 2-3) на рамную крепь смещён в сторону выработанного пространства, а на участках с охранной полосой – уменьшается до 1,20-1,25.

С увеличением скорости подвигания лавы происходит увеличение скорости смещения пород. Причем в выработке, поддерживаемой в целике, скорость смещения пород в 1,3-2,7 раза выше, чем в присечной. При этом на расстоянии более 100 м от лавы смещения пород в выработках выравниваются.

Показано, что наиболее рациональной является комбинированная система разработки с прямоточным проветриванием и выдачей исходящей струи в выработанное пространство. Для повышения устойчивости выемочных выработок необходимо применение рамной крепи совместно с анкерными системами, а охрану выработок позади лавы следует осуществлять литой полосой. При этом конвергенция пород кровли и почвы, а также боков выработки в случае использования смешанного крепления значительно меньше, чем при использовании только рамного крепления.

Установлены закономерности изменения конвергенции пород в выработках от времени их поддержания, позволяющие прогнозировать величину смещений, которая является одним из основных факторов при выборе вида крепи.

Показано, что устойчивость повторно используемых выработок можно повысить за счет снижения нагрузки на участок угольного пласта в области его примыкания к выработке в случае ее попадания в зону опорного давления. Это достигается путем создания вдоль выработки по пласту специальных околоштрековых опорных полос.

### **1. Выбор материалов для формирования околоштрековых полос.**

Для реализации способа охраны выработок околоштрековыми литыми полосами весьма важными являются подбор состава твердеющих материалов, отработка элементов технологии подачи и укладки затворённых смесей, а также увязка работ по возведению полос с работами на концевых участках лав. Ретро-

спективный анализ показывает, что создание вяжущих веществ для возведения околострековых полос имеет большую предысторию. На шахтах Германии, начиная с 1966 г., для возведения околострековых полос широко используется природный ангидрит  $\text{CaSO}_4$ . В качестве активаторов применяются смеси  $\text{K}_2\text{SO}_4$  и  $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  с добавками ПАВ. Такие смеси при водовяжущем отношении 0,08-0,12 обеспечивают прочность твердеющего материала через сутки – 7-12 МПа, а через месяц – 20-30 МПа. Применяется также быстротвердеющее вяжущее «блицдемер», которое состоит из цементного клинкера (54%), известкового мергеля (40%), хлористого кальция (1%) и слабоотожжённого клинкера (5%). Предельная величина прочности отвердевших материалов не его основе не превышает 20 МПа. Имеется опыт применения смеси из цемента и гранулированной летучей золы, затворение которой обеспечивает прочность материала в полосе через сутки – 10-20 МПа, а через месяц – 25-30 МПа. В настоящее время в Германии для возведения околострековых полос, предотвращения утечек воздуха через выработанное пространство и заполнения закрепного пространства при креплении выработок используется около 300 тыс. т ангидрита. Графики, приведенные на рис. 1, дают представление о работе околострековых полос возводимых из различных материалов.



1 – блоки из лёгких агломератов; 2 – костры из дерева твёрдых пород;  
3 – ангидрит; 4 – машинная закладка; 5 – пакетированная закладка

Рис. 1 – Сравнение результатов применения различных типов околострековых полос

Характеризуя разработки немецких специалистов, следует отметить (как перспективное) направление, базирующееся на применении расширяющихся

вяжущих, которые обеспечивают повышение принудительного взаимодействия полосы с породным массивом при начальном распоре за счёт быстрого нарастания прочности материала с увеличением его в объёме.

В свое время в СССР были проведены масштабные работы по применению фосфогипса для возведения околострековых полос, которые оказались неперспективными из-за невысокой прочности материала, а также из-за необходимости обеспечения высокого отношения воды к твердой фазе для надежной транспортировки затворённых смесей, в результате чего последующий отжим воды из охранных конструкций ухудшил устойчивость выработок.

Учитывая сравнительно высокую стоимость цементных вяжущих в 90-е годы были развёрнуты исследования по созданию закладочных смесей на основе низкомарочных цементов, местных материалов и кальциевых зол-уноса тепловых электростанций с добавками горелых горных пород. Такие смеси предназначались для формирования полос пневматическим способом с вводом раствора щелочного компонента в конце трубопровода.

В последнее время на горно-строительном рынке всё больше появляется вяжущих материалов зарубежного производства. В частности, угольными шахтами апробированы материал «Текбленд» фирмы «Фосрок-Поланд» (Польша), композиция «Pro Mont P-H61» (Германия), концентраты «Спрай-кон» и «Ади-кон» (Канада) и др. Первые две композиции применены для устройства околострековых крепёжных полос на шахтах «Красноармейская-Западная №1» и им. А.Ф. Засядько.

Согласно сертификата качества, материал «Текбленд» состоит из портланд-цемента, глиноземистого (алюминатного) цемента и гипса, содержит спецдобавки, регулирующие процесс схватывания и расширения затворённой водой смеси. По составу этот материал близок к расширяющемуся и напрягающемуся цементу отечественного производства. По сертификату прочность затвердевшего материала через месяц при водотвёрдом (В:Т) отношении от 2:1 до 1:1 должна быть не менее, соответственно, 5 МПа и 19 МПа. Однако проведенные испытания показали иные фактические значения прочности (табл. 1).

Таблица 1 – Фактическая прочность затвердевших образцов из «Текбленда»

Партия «Текбленда»	Соотношение В:Т	Предел прочности на сжатие, МПа, через:					
		2 час.	1 сут.	3 сут.	7 сут.	28 сут.	2 сут.+1сут. в воде
1	2:1	0,30	1,22	3,21	4,04	4,6	-
	1:1	1,38	7,39	9,40	12,04	14,9	-
	1,5:1	0,98	4,40	6,0	5,8	7,83	-
2	2:1	0,39	1,53(2)	1,34(4)	1,60	-	-
	1:1	5,08	6,0	5,6(4)	7,81	-	-
	1,5:1	-	3,14	3,4	3,12	-	2,4

Очевидно, что прочность образцов при В:Ц=1:1 не достигает величины 19 МПа. Особенно низкие показатели при отношении равном 2:1. В шахтных условиях материал имеет повышенную влажность (32-57%), а водопоглощение

достигает 143%. Прочность образцов, отобранных из литой полосы, не превышала 5,0 МПа, что соответствует лишь нижнему пределу, определяемому сертификатом.

Полученные физико-механические показатели композиции «Pro Mont P-Н61» приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Показатели свойств материала из «Pro Mont P-Н61»

№ состава	Расход на замес (г)		Соотношение В:Т	Плотность раствора (г/см <sup>3</sup> )	Сроки схватывания		Прочность на сжатие, МПа, через (сутки)				
	сухая смесь	вода			начало	конец	1	2	3	4	5
1	4500	675	0,15	2,1	1 ч 25 м	6 ч	0,54	10,5	11,8	12,3	17,2
2	5100	725	0,142	2,1	1 ч 50 м	7 ч	5,6			14,3	18,7
3	5100	765	0,15	2,1	2 ч 30 м	6 ч 40 м	1,7	8,1	8,5		
4	5100	715	0,14		1 ч 35 м	7 ч				8,8	
5	1000	140	0,14		1 ч 35 м	7 ч	0,4				

Во время опытов затворение смесей водой производилось при отношении вода/вяжущее, равном 0,14.

Лабораторными испытаниями установлено, что затвердевшие образцы из сухой смеси «Pro Mont P-Н61» в раннем возрасте не набирают высокую прочность, которая по сертификату через 8 час. должна составлять 20 МПа. Максимально достигнутая прочность при сжатии в возрасте образца 28 суток составила 18,7 МПа. Прочность образцов, отобранных из полосы, составила 6,6 МПа. Шахтными наблюдениями установлено, что при водонасыщении затвердевший материал теряет прочность более чем в 2 раза, существенно понижая несущую способность литой околоштрековой полосы.

Изложенное позволяет заключить, что, несмотря на многообразие разработок по составам вяжущих смесей для формирования охранных полос, эта задача далека от своего оптимального решения. В частности, требуются дополнительные исследования возможностей применения различных материалов для производства смесей, выбора рецептуры их составов, действия различных добавок с определением оптимального соотношения их компонентов для получения максимальной прочности материалов в полосе. Важным остаётся производство смесей экономически выгодных, что обеспечило бы снижение стоимости поддержания выработок.

## 2. Свойства материалов на основе цементно-минеральной смеси.

Указанные выше недостатки вызвали необходимость разработки цементно-минеральной сухой смеси из местных материалов. Анализ патентных источников по данному направлению выявил следующее.

На угольных шахтах России применяется тампонажный раствор для крепления призабойной части угольного пласта, состоящий из цемента, песка, хлористого натрия и жидкости смешивания, в который вводят фосфомел, а в качестве указанной жидкости применяют раствор хлористого натрия. Недостатками этого раствора являются невысокая водостойкость, что существенно снижает

прочность твердеющего материала, а также крайне непродолжительное время вязко-жидкостного состояния затворённого раствора.

В определенных условиях эффективной может оказаться тампонажная смесь следующего состава: портландцемент – 40-68%; песок – 20-35%; гипс – 2-10%; алюмосодержащий материал – 2-15%. Однако из состава видно, что он содержит относительно дорогие материалы. Кроме того, время вязко-жидкостного состояния раствора ограничено для гидромеханического транспортирования. Невысока также прочность твердеющего материала.

В основе нашей разработки, выполненной на уровне патентного решения, предложена цементно-минеральная смесь, отвечающая оптимальным техническим и экономическим требованиям. Сухая смесь содержит портландцемент, кварцевый песок с модулем крупности 1,0-3,0, аморфный кремнезем, ускоритель твердения в виде обезвоженных солей (хлористый калий). Соотношение компонентов следующее: портландцемент – 35-45%, песок кварцевый – 50-60%, кремнезем аморфный – 3,0-5,0%, ускоритель твердения – 1,4-3,0%.

Для ускорения роста прочности твердеющих материалов в охранной полосе в смесь дополнительно (вместо таких же частей цемента и песка) может быть введена дробленая карбонатная порода пылевидной фракции (до 2,0 мм) в количестве 10-20%. Для увеличения времени пребывания затворённого раствора в вязко-жидком состоянии в него добавляют сахарозу в количестве 0,05-0,15% от массы цемента.

Предварительные испытания разработанной смеси позволили получить на образцах кубической формы следующие технические характеристики (табл. 3, 4).

Таблица 3 – Состав смесей для испытаний

№ смеси	Портландцемент М500	Песок кварцевый	Дроблённый карбонат	Аморфный кремнезем	Кальций хлористый	Сахароза
1	433	528	-	39	-	-
2	420	514	-	38	2,8	-
3	425	523	-	38	1,4	-
4	405	390	141	38	2,4	-
5	423	-	-	38	1,4	0,42

Таблица 4 – Химико-механические показатели смеси и затвердевшего материала

№ смеси	Соотношение вода/цемент	Начальная подвижность по вискозиметру суггарда, мм	Время начала загустевания, мин	Предел прочности при сжатии, МПа, через:			
				1сут.	3 сут.	7 сут.	28 сут.
1	0,63	155-160	>40	2,3	6,7	18,5	24,3
2	0,61	155-160	20	9,4	19,1	24,2	35,8
3	0,52	160	25	9,8	20,2	25,0	38,5
4	0,62	160	27	12,1	21,3	35,9	42,1
5	0,51	160	55	7,1	12,3	23,4	37,4

Затворённая смесь образует вязко-жидкостную консистенцию пригодную в течение 20-55 мин. для гидромеханического транспортирования, а введение в

неё спецдобавок обеспечивает получение прочности твердеющих материалов через сутки, равной 7-15 МПа. Обобщение данных и их статистическая обработка показали, что на период активной работы околоштрековой полосы прочность отвердевшего материала достигает 35-45 МПа.

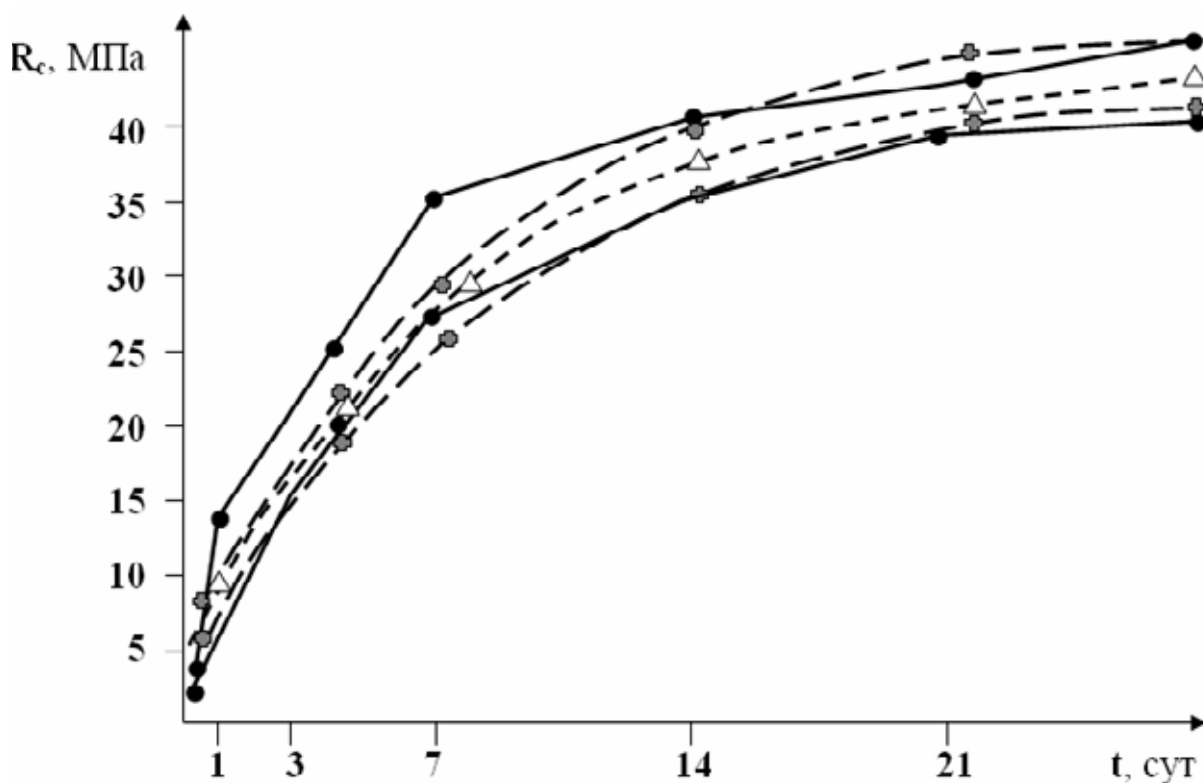
В результате обработки экспериментальных данных установлено, что рост прочности на сжатие ( $R$ ) твердеющих материалов из предложенной смеси (названной нами БИ-крепь) удовлетворительно описывается экспоненциальными зависимостями вида:

$$R_{max}=46(1-e^{-0,1455t}); \quad R_{min}=40(1-e^{-0,1355t}); \quad R_{cp}=43(1-e^{-0,1405t}),$$

где  $t$  – время, сут.

Погрешность вычисления искомого параметра составила не более 6%.

Графическое представление экспериментальных и расчётных данных показано на рис. 2. Очевидно, что влияние времени твердения на прочность материалов имеет решающее значение.



- – экспериментальные точки; ■ – точки, полученные по формулам;
- △ – средние значения, полученные по формуле Б.Г. Скрамтаева

Рис. 2 – Зависимости  $R_c = f(t)$

В целях экспресс-оценки текущей прочности материалов была апробирована известная формула Б.Г. Скрамтаева, используемая для оценки прочности бетона.

Отобранные в шахте керны из литой полосы были испытаны на прочность. Результаты испытаний приведены в табл. 5.

Таблица 5 – Показатели физико-механических свойств материала охранной полосы

Физико-механические свойства	Проба (место отбора)		
	№1 (ПК 56)	№2 (ПК 58)	№3 (ПК 59)
Плотность, $\rho \times 10^{-3}$ кг/м <sup>3</sup>	1,93	1,97	2,04
Удельный вес, $\gamma \times 10^{-4}$ Н/м <sup>3</sup>	2,08	2,10	2,20
Пористость, %	9,30	8,10	7,27
Предел прочности на сжатие, МПа	минимальный	27,2	27,2
	максимальный	39,8	39,8
	средний	34,1	34,1
	коэффициент вариации, %	22,7	22,7
Предел прочности на растяжение, МПа	минимальный	2,90	1,79
	максимальный	4,70	3,14
	средний	3,80	2,38
	коэффициент вариации, %	18,7	22,4
Коэффициент сцепления, $K$	7,60	7,80	6,05
Угол внутреннего трения, $\varphi$ , град	34	34	38
Скорость продольной волны $V_p$ , м/с	3070	2720	2640
Скорость поперечной волны $V_s$ , м/с	1360	1390	1145
Динамический модуль упругости, $E_d$ , МПа	10800	10270	7395
Динамический модуль сдвига, $G_d$ , МПа	3940	3860	2685
Коэффициент Пуассона, $\nu_d$	0,37	0,33	0,37

### 3. Экспериментальная оценка работы литых полос.

Для определения характеристик работы литой полосы, как основы разработки технологического регламента по поддержанию повторно используемых выработок, был поставлен специальный шахтный эксперимент. Эксперимент был проведен во 2-м южном конвейерном штреке-бремсберге блока 5 шахты «Красноармейская-Западная №1», который пройден сечением 15,5 м<sup>2</sup> и закреплён базовой рамной крепью КМП-А3. Сущность эксперимента заключалась в оценке влияния расстояния расположения охранной полосы на эффективность поддержания штрека. Опробовано четыре базовых варианта охраны штрека:

- 1 – полоса шириной 1,0 м на удалении 1,0 м;
- 2 – полоса шириной 1,0 м, расположенная на контуре штрека;
- 3 – полоса шириной 1,0 м – на удалении 0,5 м;
- 4 – две полосы шириной 0,6-0,8 м, расположенные с промежутком 0,6 м, при этом первая полоса размещена сразу за контуром штрека.

Обобщая результаты наблюдений, можно следующим образом оценить геомеханику работы литой околоштрековой полосы. Вариант 1, с точки зрения теории горного давления, кажется благоприятным. Однако наблюдения показывают, что через 3-5 суток под действием сил горного давления деформируются элементы охранной конструкции в связи с образованием трёх линий разлома пород кровли пласта. Опускание кровли составляет 80-100 мм. Имеет место пучение в средней части выработки величиной до 200 мм. Недостатком является то, что опускание пород с поворотом со стороны лавы деформируют крепь КМП-А3-15,5, образуя зевы в соединениях крепи. Удаление полосы от



штрека усложняет технологию её возведения.

Для варианта 2 характерным является пучение пород, которое достигает 350-400 мм, причём большие его величины наблюдаются вблизи литой полосы. Опускание кровли составляет 50-70 мм.

Площадное развитие пучения по штреку, достигающее 100-150 мм, наблюдается при третьем варианте сооружения охранной полосы.

Для варианта 4 характерно более равномерное пучение выработки до 150-200 мм. Отмечается также равномерная нагрузка на охранную конструкцию. Однако этот вариант отличается сложностью в технологическом плане и большим расходом цементно-минеральной смеси.

Таким образом, наиболее оптимальным следует признать третий вариант возведения охранной полосы. При этом расстояние полосы от контура штрека увязывается с величиной прогнозируемой или фактической подрывки пород почвы.

Оценивая результаты эксперимента, необходимо указать на важную геомеханическую особенность в поддержании выработки – при повторном использовании конвейерного штрека как вентиляционного условия сохранения его устойчивости впереди движущейся лавы будут намного сложнее, т.к. по длине штрек примыкает к выработанному пространству верхней лавы.

Таким образом, можно заключить, что применение литой полосы обеспечивает уменьшение зон разрушения породного массива, повышает приконтурную, межслоевую и глубинную его устойчивость. Всё это в совокупности обеспечивает сохранение поперечного сечения штрека, которое после прохода первой лавы составляет 60-80 % от проектного.

Податливость возведённой охранной полосы должна быть близка к податливости краевой части массива угольного пласта, к которому непосредственно примыкает штрек.

Надлежащий контакт полосы с породами кровли обеспечивает функциональное её назначение как несущей опоры и «режущей крепи», инициирующей обрушение пород по кромке «опора – лава» с формированием защитного перекрытия над штреком.

#### **4. Параметры комбинированного способа поддержания штреков.**

Поскольку охранная конструкция с литыми полосами представляет собой иерархически многоуровневую систему, поликомпенсирующую поэтапное смещение пород и имеющую нарастающую несущую способность, геомеханическое обоснование её параметров, учитывая особенности поддержания выемочных штреков, базируется на трёхстадийной реализации следующих мер:

- проектирование и возведение базовой крепи при проходке;
- обоснование собственно параметров и формирование околоштрековой полосы требуемого сопротивления;
- выбор параметров управления состоянием породного массива вблизи охраняемой выработки после прохождения первой лавы, для её повторного использования.

Выбор параметров рамной арочной крепи и обоснование параметров упрочняющей анкерной крепи осуществляются в соответствии с действующими нор-

мативными документами.

Учитывая, что основными факторами, определяющими параметры охранной околоштрековой полосы, являются величина ожидаемого опускания пород кровли при выемке пласта и ожидаемые нагрузки на полосу, которые зависят от геомеханических и горно-технологических факторов, расчёт осуществляется в следующей последовательности.

1. Из табл. 6 определяется класс основной кровли по обрушаемости.

Таблица 6 – Классификация пород по обрушаемости

Класс основной кровли по обрушаемости	Состав и характеристика пород основной кровли
Легкообрушающаяся (I)	Однородная кровля из аргиллитов и алевролитов общей мощностью более 6-7 $m$ ( $m$ – мощность пласта, м), $R_c$ до 40 МПа
Среднеобрушающаяся (II)	Однородная кровля из аргиллитов, алевролитов и песчаников общей мощностью более 6-7 $m$ , $R_c$ от 40 до 80 МПа
Труднообрушающаяся (III)	Над пластом на расстоянии от него менее 3-4 $m$ залегают массивные песчаники, известняки и алевролиты общей мощностью более 2 $m$ , с $R_c$ более 80 МПа

2. Оценивается средневзвешенная прочность пород кровли угольного пласта с учётом структурного ослабления массива ( $0,2 \leq K_w \leq 0,9$ ) и снижения его прочности при влагонасыщении ( $0,4 \leq K_w \leq 0,8$ ):

$$R_c = \frac{\sum R_1 m_1 + R_2 m_2 + R_3 m_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3} K_c K_w.$$

3. Для расчёта нагрузки на литую околоштрековую полосу и оценки её жёсткостных характеристик выполняется прогнозирование суммарного опускания пород кровли в охраняемой выработке, которое складывается из опускания кровли выработки вне зоны  $\Delta h_m$  и опускания кровли пласта в зоне влияния очистных работ  $U_k$ :

$$U_\infty = \Delta h_m + U_k; \quad \Delta h_m = A(1 - e^{-Bt}); \quad U_k = 0,001b/h(80-L)(K_k + E \frac{\gamma H}{R_c})/K_{\text{вз}}.$$

где  $0,3 \leq A \leq 1,2$ ;  $0,006 \leq B \leq 0,020$ .

4. По величине  $U_\infty$  определяется критическая жёсткость системы «кровля пласта – полоса»:

$$W_{\text{кр}} = 1 - \frac{U_\infty}{m},$$

где  $m$  – мощность пласта.

5. Для расчёта предельных нагрузок на охранную литую полосу оценивается радиус зоны неупругих деформаций с учётом коэффициента взаимодействия подсистем:

$$r_L = \left[ \frac{R_c + \frac{2\gamma H}{A+1}}{K_{63} \left( P + \frac{R_{ocm}}{A+1} \right)} \right]^{\frac{1}{A-1}}.$$

6. Расчёт прочности твердеющего материала в охранной околострековой полосе во времени осуществляется по эмпирической формуле:

$$R_{cn} = A_0(1 - e^{-B_0 t}),$$

где  $40 \leq A_0 \leq 46$ ;  $0,1335 \leq B_0 \leq 0,1455$ .

7. Из табл. 7 выбираются конструкции охранной полосы.

Таблица 7 – Выбор конструкции охранной полосы

Класс кровли	$W_{кр}$		Конструкция охранной полосы	Необходимая несущая способность охранной полосы, МН/м	
	$m < 1,5$ м	$m > 1,5$ м		$h_H/m > 3$	$h_H/m < 3$
I	0,75-0,80	0,80-0,85	Однородная литая полоса	3-5	5-10
II	0,80-0,85	0,85-0,90	Комбинация литой полосы и чередующихся по длине железобетонных блоков (ЖББ)	8-10	10-12
III	0,85-0,90	0,90-0,95	а) комбинация литой полосы со стенкой со стороны лавы из ЖББ	12-14	15-20
			б) комбинация литой полосы с чередующимися ЖББ и железобетонной стенкой со стороны лавы	13-15	17-20

Рекомендуется в зависимости от условий применять четыре варианта конструкций охранных полос, параметры которых определяются из табл. 8.

Таблица 8 – Параметры охранных полос

Кровля	Ширина полосы	Расстояние от контура выработки*
Легкообрушающаяся	0,7m	$R_c > 40$ МПа; $a = d$ ; $K_\phi = 0,8$
Среднеобрушающаяся	1,0m	
Труднообрушающаяся	1,2m	$R_c > 40$ МПа; $a = 0,6d$ ; $K_\phi = 1,2$

\*)  $a$  – расстояние от контура выработки до полосы;  $d$  – величина нижней подрывки;  $K_\phi$  – коэффициент формы полосы.

Указанные параметры охранных полос коррелируют с рекомендуемыми параметрами для угольных шахт Германии, однако, в отличие от них, минимальная ширина полосы принимается не 0,6 м, а на менее 1,0 м.

Этап выбора решений по охране выемочных штреков в части необходимости проведения специальных мероприятий по борьбе с пучением пород почвы определяется (согласно разработкам ВНИМИ) по критерию  $\Omega$ , вычисляемому как:

$$\Omega = 0,025H / R_{c \text{ поч}},$$

где  $H$  – глубина расположения выработки от поверхности, м;  $R_{c \text{ поч}}$  – сопротивление пород почвы на сжатие в образце, МПа.

Безразмерный критерий  $\Omega$  характеризует степень выдавливания (пучения) пород почвы внутрь выработки в зависимости от геолого-геомеханических условий, способа охраны и поддержания выработок. Для сохранения выработки за забоем лавы для ее повторного использования с помощью литой полосы значение  $\Omega$ , при котором не требуется проведение мероприятий по борьбе с пучением, должно составлять не более 0,35.

Разработанная методология выбора конструкций и параметров охранных околотрековых полос составила основу разработки технологии и регламента возведения литых полос вблизи выемочных штреков, предназначенных для повторного использования [2].

### **5. Техничко-экономическая эффективность способа.**

Согласно специфике функционирования современной шахты ее издержки на производство связаны со следующими тремя группами затрат:

- текущие затраты, капитальный ремонт и поставка оборудования для обеспечения угледобычи;
- проведение новых подготовительных выработок в границах действующих блоков, т.е. воспроизводство линий очистных забоев;
- затраты на подготовку новых блоков путём организации проходческих работ за пределами действующих блоков.

С другой стороны, оценивая технико-экономический уровень угледобычи на шахте по главным составляющим, необходимо из множества взаимозависимых показателей технического уровня выделить следующие характеристики:

- трудоёмкость производственного процесса;
- удельный объем подготовительных горных выработок;
- удельный расход материалов, в частности металла, на поддержание выработки.

Безусловно, основными показателями являются скорость подвигания лав, нагрузка на очистной забой, производительность горнорабочих по добыче и себестоимость добываемого угля. Именно совокупный анализ отмеченных аспектов определяет оценку предлагаемых решений с технической и экономической точек зрения. Главными факторами в этом плане являются:

- снижение объёмов проведения и протяжённости поддержания выработок

за счёт их повторного использования;

- повышение уровня механизации в технологиях поддержания выработок, а также снижение расходов материалов, в частности металла, за счёт уменьшения плотности возведения крепи и применения искусственных геотехнических охранных конструкций на основе цементно-минеральных смесей;

- расширение объёмов применения анкерных крепёжных систем, обеспечивающих снижение металлоёмкости крепи, механизацию её возведения, вовлечение в охранную конструкцию породного массива;

- внедрение промышленных технологий, обеспечивающих совмещение технологического прогресса угледобычи и сооружения охранной конструкции выработки.

Технико-экономическая оценка комбинированного способа охраны выемочного штрека, включающего рамную арочную и анкерную крепи в сочетании с литыми полосами, выполнена по результатам его внедрения на шахте «Красноармейская-Западная №1» в 4-х выемочных штреках, что обеспечило их сохранение для повторного использования. Из табл. 9 видно, что опускание кровли в штреках составило 0,3-0,6 м, что в 2-4 раза меньше, чем при поддержании выработок рамными крепями. Пучение пород почвы составляло 0,4-0,6 м, т.е. в 2-3 раза меньше, чем при поддержании штреков только крепью КМП-А3. Механизм пучения согласуется с идеей о неупругой потере устойчивости верхних слоёв пород почвы под действием боковых сжимающих усилий, вызываемых пригрузкой полосы.

Таблица 9 - Сводные результаты оценки смещений пород при различных охранных конструкциях повторно используемых выработок

Наименование выработки	Проектное сечение, м <sup>2</sup>	Базовая крепь и охранный конструкция	Параметры полосы, м		Первичное использование штрека				Повторное использование штрека		
			<i>B</i>	<i>h</i>	<i>U<sub>k</sub></i> , м	<i>U<sub>n</sub></i> , м	<i>S<sub>осм</sub></i> , м <sup>2</sup>	<i>h<sub>под</sub></i>	<i>U<sub>k</sub></i> , м	<i>U<sub>n</sub></i> , м	<i>S<sub>осм</sub></i> , м <sup>2</sup>
2-й ЮКШ блока 5	$\frac{15,50}{1300}$	КМП+АК+ЛП/ЖБП	1,3-1,5	1,7	0,4-0,5	0,5-0,6	11-12	0,4-0,5	-	-	-
1-й ЮКШ блока 5	$\frac{15,24}{1650}$	КМП+АК+ЛП	1,2-1,4	1,7	0,3-0,4	0,4-0,5	10-11	0,3-0,5	0,8	0,2	7
2-й ЮКШ блока 5	$\frac{15,50}{1600}$	КМП+АК+ЛП	1,2-1,4	1,7	0,4-0,6	0,5-0,6	10-12	0,4-0,5	-	-	-
1-й ЮКШ блока 2	$\frac{15,24}{1750}$	КМП+АК+ЖБП	1,4-1,6	1,7	0,4-0,5		10-11	0,3-0,4	0,9	0,3	6

Остаточное сечение штреков для повторного использования составляет 0,6-0,8 от проектного. После прохода первой лавы подрывка осуществляется на 0,3-0,5 м. Вторичное использование штреков сопровождается большими смещениями пород (0,8-0,9 м), а остаточное сечение выработки после прохода второй

лавы составляет 6-7 м<sup>2</sup>.

Экономическая оценка разработок осуществлена по ряду составляющих, но основной экономический эффект получен за счёт повторного использования выемочных штреков общей протяжённостью 6300 м. В частности, за счёт уменьшения в 1,3-1,5 раза плотности возведения крепи и применения металлозаменяющей конструкции (твердеющего материала из предложенной цементной смеси) экономия металла на одном погонном метре составила 412-420 кг, а годовая – 2000 т. При этом экономия денежных средств, в зависимости от условий, составляет 680-965 грн. на один погонный метр выработки. Следует отметить, что экономия средств при ремонте выработок достигает 1000 грн./п. м, а суммарная экономия по этим показателям достигает 2000-2340 грн./п. м.

Полная стоимость проведения нового штрека протяжённостью 1850 м составляет 5,92 млн. грн. (3200 грн./пог. м). Затраты на поддержание штрека для повторного использования составляют почти 1,27 млн. грн. Таким образом, экономия на 1 погонный метр выработки в данном случае составляет 684 грн.

Существенные экономические выгоды даёт применение разработанной цементно-минеральной смеси (БИ-крепь) для возведения околострековых полос. Стоимость разработанной смеси составляет 650 грн./т, что в 1,57-2,00 раза ниже чем материалов «Текбленд» и «Pro Mont P-H61». Весьма убедительно показана эффективность отечественного материала при возведении литой полосы. Отливка одного погонного метра полосы составляет 1700 грн., в то время, как из импортных материалов в 1,3-3,0 раза выше. Расчёты показывают, что применение разработанной минеральной смеси обеспечивает экономический эффект 200-300 грн. на 1 м<sup>3</sup> готовой полосы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байсаров Л.В., Демченко А.И., Ильяшов М.А. Охрана штреков литыми полосами при разработке пологих пластов средней мощности // Уголь Украины. – 2001. - № 9. - С. 3-6.
2. Временный технологический регламент по охране подготовительных выработок угольных шахт литыми полосами из твердеющих материалов. - Днепропетровск-Донецк: ИГТМ, 2004. - 32 с.
3. Байсаров Л.В. Прогрессивные решения по охране штреков литыми полосами // Геотехническая механика: Сб. науч. тр. / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск. – 2001. – № 30. – С. 234-237.
4. Байсаров Л.В. Ресурсосберегающая технология крепления и производства работ по возведению жестких литых полос для поддержания конвейерных штреков // Геотехническая механика: Сб. науч. тр. / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск. – 2003. – № 47. – С. 46-52.