

К ВЫБОРУ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ГОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В статті подана порівняльна характеристика властивостей в'язучих матеріалів різноманітного походження та будівельних сумішей на їх основі, що можуть бути використанні в гірничій промисловості. Проаналізовані деякі будівельні суміші іноземного виробництва.

TO BUILDING MIXTURES SELECT FOR MINING TECHNOLOGIES

In paper the introduced comparative performance of properties of cementing materials of a miscellaneous genesis and building mixtures on their basis, which one can be usage in mining industry. Parsed some building mixtures of foreign production.

Проблема эффективности работы угольных шахт в ранг важнейших поставила задачи коренного совершенствования всего подземного комплекса. Главным направлением таких задач является обеспечение интенсивной отработки угольных пластов высоконагруженными лавами. Обеспечение нагрузок от 1500 тонн до 6000 тонн в сутки на лаву потребовало увеличения темпов и объемов проведения выемочных штреков. Одновременно возросла актуальность задачи снижения затрат на проходку и поддержание участковых выработок. В связи с этим весьма важным является разработка и внедрение ресурсосберегающих способов и технологий крепления выработок, обеспечивающих повторное их использование.

Известные способы поддержания горных выработок в зоне влияния очистных работ характеризуются ограниченной податливостью и несущей способностью охранных конструкций, которые не противостоят в достаточной степени интенсивному горному давлению, в результате чего нарушается производственный цикл высокомеханизированных очистных забоев.

Несмотря на определенные успехи в области крепления горных выработок в связи с применением анкерных крепей, на угольных шахтах Украины ежегодно расходуется около 100 тыс. тонн нового проката профиля СВП, а общие затраты на крепежные материалы достигают 200 млн. грн. Учитывая задачи отраслевой политики ресурсосбережения по уменьшению металлоемкости крепления выработок, ключевыми становятся разработки и внедрение охранных конструкций из материалов, которые заменяют или дополняют металлоконструкции. Очевидно, что к числу таких материалов следует отнести различные минеральные смеси, применение которых обеспечит управление свойствами и состоянием породного массива. Целесообразность этого вытекает из фундаментальных результатов, полученных учеными в области механики горного массива. Доказано, что обеспечить высокую несущую способность породного массива можно за счет управляющих малоэнергетических воздействий на него и вовлечения его в работу. Таким образом, создание охранных геоконструкций и различное воздействие на массив пород с применением растворов на основе минеральных смесей является одним из перспективных направлений в управлении горным давлением. В этом легко убедиться, указав на такие горные технологии как

формирование околоштрековых литых полос, тампонаж закрепного пространства, инъекцирование (цементация) трещиноватых и разрушенных пород, набрызгбетонирование по породному массиву, гидрозашита металлокрепей путем мелкодисперсного торкретирования, формирование различного рода перемычек, выполнение комплекса работ по стабилизации пород в различных состояниях, гидрозашита подземных и наземных объектов и т. д. Отдельной крупной проблемой стоит задача разработки строительных смесей для закладки выработанных пространств. Таким образом, выбор минеральных вяжущих смесей связан с определенными требованиями, вызываемыми спецификой горных технологий. Касаясь проблемы поддержания горных выработок, следует указать на ряд предпосылок, которые нужно учитывать при выборе минеральных смесей для упрочнения пород, тампонажа закрепного пространства, возведения околоштрековых полос и др. Известно, что интегральной характеристикой состояния горной выработки является величина конвергенции ее контура, а работоспособности охранной конструкции – несущая способность и податливость. Таким образом, важно знать прочностные и деформационные показатели твердеющего вяжущего вещества и конгломератной породобетонной конструкции, созданной с применением минеральных смесей. Такие знания обеспечат выбор параметров выкладки околоштрековых полос, параметров (глубина и давление) инъекцирования массива пород, толщины и свойств набрызгбетона. Указанные предпосылки связаны с геомеханическими аспектами управления устойчивостью породного массива. Другим не менее важным фактором в выборе рецептуры строительных смесей для горного производства является технологический аспект, который проявляется с двух сторон. Во-первых, состав минеральной смеси должен обеспечивать при определенном водо-твердом соотношении надлежащее транспортирование раствора от места затворения до места укладки. Во-вторых, в зависимости от горно-технологической задачи вяжущий материал должен обеспечивать быстрое, среднее или медленное нарастание сопротивления силам горного давления. При этом важным являются показатели остаточной прочности твердеющего материала, которыми в значительной мере определяется несущая способность охранной конструкции выработки при многократно повторяющихся нагрузках.

Касаясь технологического аспекта необходимо также отметить, что в большинстве случаев использование строительных смесей осуществляется с применением гидромеханического способа. В ряде случаев подача быстротвердеющих смесей осуществляется методом сухого набрызгбетонирования, поэтому важным требованием к ним является санитарно-экологическое. Оценивая требования к вяжущим материалам для горных технологий необходимо указать еще на одну их особенность – адгезионные свойства. Последние важны как с точки зрения повышения эффективности управления состоянием массива пород набрызгбетонированием (поверхностное упрочнение), так и при применении вяжущих для цементации массива. Именно в последнем случае формируется так называемая конгломератная (агрегатная) прочность системы «порода-литокмень». И еще об одном требовании к вяжущим для заполнения (тампо-

нажа) закрепного пространства. Формирование равнопрочной оболочки в системе «крепь-массив» при тампонаже требует хорошей растекаемости затворенного раствора в закрепном пространстве. Эта предпосылка обеспечивает как создание охранной конструкции высокой несущей способности, так и формирование на границе «полость выработки-массив» «шовной» зоны, объединяющей тампонажный камень и упрочненные трещиноватые породы по контуру выработки. Для всех горных технологий – для поверхностного упрочнения массива пород, антикоррозионной защиты металлокрепей, гидроизоляции водосборников важно, чтобы твердеющие материалы имели высокие антикорродирующие свойства.

Завершая анализ физико-технических и горно-технологических требований к минеральным смесям и твердеющим растворам на их основе, следует указать, что важнейшим требованием являются приемлемые затраты на их производство и применение.

Наш анализ и анализ многих других специалистов показывает, что создать единый универсальный вяжущий материал для горных технологий не удалось, поэтому в пользовании горняков имеется большой спектр строительных смесей. Остановимся ретроспективно на тенденциях применения таких смесей и свойствах вяжущих растворов на их основе.

Проанализируем возможности применения строительных смесей для возведения охранных околоштрековых литых полос с целью повторного использования выемочных выработок.

В настоящее время существует очень большое количество различных видов вяжущих материалов, которые могут быть использованы для охраны горных выработок. Это гипсовые вяжущие, портландцемент, шлакопортландцемент, магнезиальные вяжущие, полимерные вяжущие и многие другие.

Начиная с 60-х годов на шахтах Германии для возведения околоштрековых полос широко применяется ангидритовое вяжущее [1-6]. К ним можно отнести природный и искусственный ангидрит, а также быстротвердеющий вяжущий материал блицдеммер [7].

Природный ангидрит как вяжущий заполнитель представляет собой особенно качественный материал для околоштрековых полос, так как он при добавке соответствующего активатора сравнительно быстро начинает схватываться и достигает конечной прочности на сжатие, соответствующей прочности среднего бетона. Это имеет большое значение для возведения околоштрековых полос. В качестве активатора может быть использована смесь, которая состоит из 1 части K_2SO_4 , 1,8 части $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ и обычных технических примесей, а также добавок поверхностно активных веществ. Данная смесь в состав природного ангидрита вводится в количестве 1% от его веса. Прочность ангидрита на сжатие с выше указанным активатором может достигать 10,5 МПа при водоцементном отношении равном 0,08 и 2,0 МПа при водоцементном отношении 0,16. Из этого можно сделать вывод, что при увеличении водоцементного отношения прочность природного ангидрита резко снижается, что является большим его недостатком, так как он может использоваться только при пневматиче-

ском (сухом) способе подачи.

Рациональным является также использование искусственного ангидрита, который по прочностным показателям не уступает природному ангидриту, но имеет значительно меньшую стоимость. Также преимуществом искусственного ангидрита является то, что к нему можно добавлять большее количество воды, что позволяет использовать его как при пневматическом, так и при гидравлическом способе подачи. При водоцементном отношении, равном 0,36 требуется 1320кг искусственного ангидрита на 1м³ готового раствора, при этом прочность его через 28 суток достигает 30,0 МПа [8].

В табл. 1 приведены результаты определений прочности образцов-призм из искусственного ангидрита с активатором [5].

Таблица 1 – Показатели прочности затвердевшего ангидрита

Номер образца	Прочность на растяжение при изгибе, МПа		Прочность на сжатие, МПа	
	через 7 суток	через 28 суток	через 7 суток	через 28 суток
1	6,7	10,1	33,0	39,4
2	6,3	9,2	30,0	33,2
3	4,9	8,6	31,6	35,8
Среднее	6,0	9,3	30,9	36,4

В поисках перспективного вяжущего были проведены опыты с быстротвердеющим вяжущим блицдемером. В отличие от ангидрита, он более активен. Через 24 часа после затворения при температуре окружающего воздуха 32⁰С и его относительной влажности 72% прочность блицдемера на сжатие была на 25-40% выше, чем через то же время в опытах, проведенных при температуре 23⁰С и относительной влажности воздуха 36%. Конечная прочность блицдемера на сжатие составляла 19,0 МПа. Исходя из этого, можно сказать, что блицдемер имеет прочность значительно меньше, чем ангидрит, но он может быть использован в шахтах, атмосфера которых отличается повышенной температурой и влажностью воздуха.

Одним из направлений ресурсосбережения является максимальное использование отходов производства и местных материалов. При этом решается целый комплекс технических, экономических и социально-экологических вопросов: экономятся дефицитное сырье и готовая продукция, создаются предпосылки к переходу на безотходную технологию, сводятся к минимуму или вообще ликвидируются затраты на складирование и хранение отходов, высвобождается территория, использовавшаяся для складирования отходов, снижаются транспортные расходы, уменьшается загрязнение окружающей среды.

Эффективным заменителем цементных и цементно-песчаных растворов в определенных условиях зарекомендовали себя растворы на основе фосфогипса, представляющие собой двухкомпонентную смесь фосфогипса (74%) и воды (26%) [8, 9].

Сроки схватывания фосфогипса при затворении водой колеблются в незначительных пределах. Начало схватывания изменяется в пределах 6-9 мин, а ко-

нец схватывания наступает через 12-14 мин. Раствор быстросхватывающийся, поэтому для замедления сроков схватывания применяется триполифосфат натрия (0,1-0,12% от массы вяжущего). Более 0,12 % указанного компонента от веса раствора снижает прочность фосфогипса на 15%.

Основным недостатком растворов на основе фосфогипса является их низкая водостойкость и высокая стоимость. Увеличение водо-вяжущего отношения приводит к резкому снижению прочности и увеличению сроков схватывания. При водо-вяжущем отношении равном 0,7 фосфогипс не схватывается. Наиболее оптимальным является водо-вяжущее отношение равное 0,3-0,4, при котором прочность фосфогипса достигает наибольшего значения – 20,4 МПа через 2 часа после окончания схватывания. На 24 сутки прочность может достигать 40 МПа.

Преимуществом фосфогипсового вяжущего является быстрый набор прочности – 80% прочности набирает через 2 часа после затворения, остальные 20% в течение 28 суток.

С целью снижения стоимости фосфогипсового раствора и регулирования его сроков схватывания применяются различные минеральные добавки: песок, горелая порода, зола-унос и др. Однако все они снижают прочностные свойства тампонажного камня.

Были проведены испытания фосфогипса с наполнителем, в качестве которого использовалась горелая порода с крупностью 0-6 мм и молотый известняк.

Результаты исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты лабораторных испытаний фосфогипса с наполнителем

Состав смеси	Расход компонентов, кг/м ³		Вода, л/м ³	Прочность на сжатие образцов через сутки, МПа	Прочность на сжатие образцов через 28 суток, МПа
	горельник 0-5 мм	фосфогипс			
Г:Ф=1:1	820	820	335	10,8	10,6
Г:Ф=2:1	1100	55	335	3,2	3,3
Г:Ф=3:1	1230	410	445	1,4	1,5
И:Ф=1:1	865	865	400	10,2	9,8
И:Ф=2:1	1155	575	480	3,2	3,5
И:Ф=3:1	1300	430	530	0,2	1,05

Испытуемые образцы были подготовлены в соотношениях фосфогипса и наполнителей 1:1, 1:2, 1:3 при водо-вяжущем соотношении 0,4. Через сутки прочность образцов на сжатие составила соответственно 10,8; 3,2 и 1,4 МПа, 10,2; 3,2 и 0,2 МПа, а через 28 суток – соответственно 10,6; 3,3 и 1,5 и 9,8; 3,5; 1,05 МПа.

Следовательно, в зависимости от составных частей наполнителя прочность образцов снизилась соответственно в 2, 6 и 15 раз, которая недостаточна для литой полосы, охраняющей крепь выработки в зоне временного опорного давления.

Таким образом, лабораторные испытания физико-механических свойств вяжущего из фосфогипса выявили его прочностные свойства, которые приемлемы для возведения жестких полос без породных наполнителей или с частичным наполнителем в соотношении не более 1:1, что является не рациональным при

применении фосфогипса для возведения околострековых полос в связи с высокой его стоимостью.

При добавлении песка (состав – фосфогипс: песок: вода=1: 1: 0,4) прочность камня на сжатие через 28 суток снижается до 12-21 МПа. Для повышения водостойкости фосфогипсового камня применяется состав: фосфогипс (50%), тонкомолотый доменный шлак (33%), портландцемент (10%) и известь (7%). Однако и он не обладает достаточной водостойкостью при использовании в обводненных выработках.

При креплении горных выработок возможно применение вяжущих составов, основанных на использовании минеральных материалов, наиболее эффективным из которых как средство упрочнения пород зарекомендовал себя магнезиальный состав.

Высокопрочное магнезиальное вяжущее (МВ) образуется в результате затворения оксида магния MgO или каустического магнезиального порошка (ПМК) жидкой фазой на основе хлорида магния $MgCl_2$.

Общая формула хлормагнезиального вяжущего имеет вид – $MgCl_2 \cdot nMgO \cdot mH_2O$.

Исследования показали, что прочность магнезиального состава в общем случае через 4-6 ч после отверждения при температуре $20^{\circ}C$ составляет: на сжатие $10 \div 12$ МПа; на скалывание (адгезия к породе) $6 \div 8$ МПа; на изгиб 0,3 от прочности на сжатие. На прочностные и адгезионные качества магнезиального вяжущего почти не оказывает влияние условие эксплуатации горных пород: влажность и запыленность [10].

Для уменьшения деформируемости отвердевших магнезиальных составов наиболее эффективными добавками являются: латексы, сульфитно-спиртовая бражка и поливинилацетатная эмульсия ПВА. Так, добавка 10% латекса увеличивает деформируемость затвердевшего камня в 1,5 раза, добавка 0,04% сульфитно-спиртовой бражки марки КВЖ – в 2,6 раза, а добавка 10% ПВА – в 4 раза. Преимуществами магнезиальных вяжущих являются быстрый набор прочности и повышенная адгезия к горным породам. Магнезиальный состав в течение суток набирает 75% прочности на 28-е сутки, в то время как цементный – всего 30%, а адгезия магнезиального камня в зависимости от типа пород в 1,3-2,4 раза больше, чем цементного.

Основными недостатками приведенных выше составов являются большие сроки схватывания (50-60мин) и низкая водостойкость. Для устранения их подобраны и исследованы магнезиальные составы, отличающиеся повышенными деформируемостью, водостойкостью и регулируемыми в широких пределах сроками схватывания.

Основными компонентами быстросхватывающихся составов являются: порошок магнезитовый каустический ПМК-83, хлористый магний, глина бентонитовая, портландцемент марки 500, латекс СКС-65ГП и вода. Обобщенные показатели свойств испытанных магнезиальных составов приведены в табл. 3. Получены более стабильные показатели прочности образцов на сжатие (15-29 МПа), большая вариация показателей характерна для показателей адгезии материала.

Таблица 3 – Результаты исследований магнетитовых составов

ПК – 83	Весовой состав раствора				Сроки схватывания, мин-с		Предел прочности на сжатие через 3 сут, МПа	Сцепление с породой через 3 сут, МПа	Модуль деформации $\times 10^3$, МПа	
	1-я составляющая		2-я составляющая		Начало	Конец				
	Водный раствор $MgCl_2$	Глина бентонитовая	Портландцемент	Латекс СКС - 65						Вода
100	81,34	13,33	25,3	2,08	15,13	10:00	28:00	35	4	14
100	81,34	13,33	57,5	4,84	34,5	1:05	4:44	16	2,4	3,2
100	81,34	13,33	25,3	4,84	15,18	11:52	34:30	29,4	4,5	3,8
100	81,34	13,33	42,68	3,46	25,61	1:20	5:45	24,5	3,6	6,8
100	81,34	13,33	42,68	3,46	25,61	6:00	18:30	20	3,2	6,75
100	81,34	13,33	42,68	3,46	25,61	0:42	3:05	26,9	3,8	7
100	81,34	13,33	42,68	3,46	25,61	2:48	9:20	21,6	3	6,7
100	81,34	13,33	42,68	3,46	25,61	1:16	5:20	29	3,9	8,4
80	81,34	13,33	42,68	3,46	25,61	1:10	7:20	18,9	3,2	6,1
100	65,1	13,33	42,68	3,46	25,61	1:45	6:15	18	2,6	6,2
100	81,34	6,23	42,68	3,46	25,61	1:25	5:55	26,8	3,6	7,5
120	81,34	13,33	42,68	3,46	25,61	1:40	6:00	18,2	2,5	6,2
100	97,61	13,33	42,68	3,46	25,61	1:06	7:10	19,5	3	6,6
100	81,34	22,5	42,68	3,46	25,61	1:20	5:20	15	2,4	5,6

Все вышеуказанные вяжущие материалы имеют один большой недостаток – слишком высокую стоимость, что неприемлемо для возведения околострековых полос, поскольку для этого требуется большое количество вяжущего материала. Поэтому одной из главных задач в решении этого вопроса является необходимость найти пути снижения расхода цемента в результате введения в раствор более дешевых и доступных вяжущих материалов. Одним из таких путей является использование вяжущих, полученных из различных промышленных отходов. Наиболее перспективными из них можно назвать доменные шлаки, золы и шлаки ТЭС [11, 12, 13, 14]. Использование этих материалов позволяет решить еще одну очень важную проблему, связанную с утилизацией отходов, которые занимают большие территории и загрязняют окружающую среду.

Замена клинкера гранулированным доменным шлаком соответственно сокращает потребление энергоресурсов на технологический процесс. Вдобавок, частичная замена клинкера ведет к меньшим затратам природного сырья для его производства. Применение такого метода сберегает природные ресурсы [14].

Шлакопортландцемент получают совместным или отдельным помолом цементного клинкера и гранулированного шлака, содержание которого в смеси колеблется в пределах 30-75%. Для регулирования сроков схватывания цемента при помоле добавляют до 5% двуводного гипса.

Прочность вяжущих на такой основе нарастает медленнее, чем у портландцемента и достигает марки – 150, 200, 250, 300, 400, 500. Стойкость против действия минерализованных вод выше, чем у портландцемента. Проведенные исследования показали, что шлаки с успехом могут применяться для цементирования скважин и породных массивов. При использовании менее активных шлаков в растворы вводят интенсификаторы схватывания и твердения, наиболее эффективным из которых является портландцемент. Растворы из шлакопортландцементов дают камень высокой плотности, а сроки схватывания этих растворов определяются сроками схватывания портландцемента.

Шлаковые цементы (сульфатно-шлаковый и известково-шлаковый) производят из гранулированного доменного шлака, основного или нейтрального с модулем основности $Mo \geq 1$. В качестве возбудителей твердения шлака (активаторов) применяют сульфатные (природный ангидрит, полуводный и двуводный гипс) и щелочные (доломит, портландцементный клинкер или известь) добавки [15, 16].

Проведенные лабораторные исследования и промышленное использование шлаков для изготовления твердеющей закладки показали, что они вполне пригодны в качестве вяжущих. Тонкомолотые гранулированные шлаки имеют следующие преимущества перед цементом: 1) Они в несколько раз дешевле; 2) Большие сроки схватывания растворов на основе молотых шлаков облегчают транспортировку закладки по трубам; 3) Вследствие медленного схватывания растворов и твердения массив искусственного целика нагревается незначительно, это предотвращает возникновение (многочисленных в бетоне) температурных трещин, которые могут в дальнейшем при обнажении целика в ходе очистных работ привести к его разрушению [11].

В качестве активных добавок и заменителей цемента, обладающих пуццола-

новыми свойствами, в тампонажных растворах и закладочных смесях эффективно используется зола-унос, улавливаемая при сжигании каменных углей на тепловых электростанциях.

Введение в цементный раствор золы делает его экономичным, так как данный продукт отхода дешевый, имеется в больших количествах на тепловых электростанциях и может использоваться в качестве местного тампонажного материала. Так, ежегодный выход золошлаковых отходов, большую часть которых представляет зола-унос, на предприятиях теплоэнергетики только Донецкой области составляет несколько миллионов тонн [9].

При сравнительной оценке влияния доменных шлаков и зол-уноса на прочностные показатели цемента можно сказать, что цементы с добавкой доменного шлака имеют более высокую прочность. Не уступают им и цементы со смешанной добавкой доменного шлака и золы-уноса, о чем свидетельствуют данные табл. 4 [12].

Таблица 4 – Влияние золы-уноса и доменного граншлака на свойства цемента

№ пп	Содержание добавки, %		Сроки схватывания, ч-мин		Прочность образцов нормального твердения, МПа				Прочность после пропаривания, МПа	
	Доменный шлак	Зола-унос	начало	конец	при изгибе, сут.		при сжатии, сут.		при изгибе	при сжатии
					3	28	3	28		
1			2ч 50м	3ч 55м	4,2	8,1	19	49	4,9	33,5
2	20		3ч	4ч 05м	4	6,2	18	46	4,8	31,2
3		10	3ч 10м	4ч 15м	3,8	5,9	16	45	4,3	29,6
4		20	3ч 40м	4ч 35м	3,4	5,6	14	42	3,9	27,7

Значительный интерес с точки зрения получения высокопрочного тампонажного камня представляют растворы на основе шлако-щелочных вяжущих. Шлако-щелочной цемент получают путем совместного измельчения гранулированного шлака с соединениями щелочных металлов или затворения молотого гранулированного шлака растворами этих соединений.

Образующийся камень обладает высокой водонепроницаемостью и имеет прочность на сжатие при естественном твердении до 50МПа. В качестве наполнителя могут применяться мелкозернистые пески с модулем крупности до 0,9, содержащие большое количество глинистых (до 5%) и пылевых примесей (до 20%).

Разработана расширяющаяся шлако-щелочная смесь для закладки закрепного пространства и закрепления анкеров, состоящая из молотого граншлака, портландцемента, жидкого стекла, алюминиевого порошка ПАК-4 [9]. Начало схватывания смеси 2 мин, предел прочности на сжатие через 1 и 28 суток равен соответственно 37,3 и 53 МПа. Расширение смеси при твердении составляет до 25%.

Недостатком шлако-щелочных вяжущих является их многокомпонентность и сложность приготовления, требующие точной дозировки и применения спе-

циальных смесительных установок.

В настоящее время для упрочнения горных пород и грунтов используется ряд химических материалов – полиуретаны, полиэфир, фенолы, карбамидные смолы. Растворы на основе неорганических материалов имеют высокую вязкость и для заблаговременного упрочнения горных пород и грунтов зачастую мало эффективны. Областью их применения является, главным образом, тампонаж массива с размерами трещин более 1,0мм. При этом в виду малой адгезии к горным породам механизм их упрочнения сводится к созданию собственного каркаса внутри трещиноватой структуры массива либо герметизируемой полости. Для упрочнения горных пород требуется, чтобы упрочняющие составы не только заполняли трещины, но и склеивали их берега, обеспечивая равнопрочность массива. К таким составам относятся растворы, основанные на применении синтетических материалов – эпоксидных и карбамидных смол, полиуретанов с различными типами отвердителей. Практически все эти составы уже имели практическое применение. Лучше всего зарекомендовали составы на основе полиуретана, но они, к сожалению, имеют сравнительно высокую вязкость, очень высокую стоимость и низкую адгезию к горным породам с повышенной влажностью. Упрочняющие составы на основе карбамидных смол характеризуются экологической чистотой и низкой стоимостью, но при традиционном применении кислотных отвердителей они имеют два существенных недостатка. Во-первых, усадка раствора в процессе полимеризации составляет порядка 6-10%, что обуславливает высокую степень прочностной и деформационной неоднородности упрочняемых объектов, а во-вторых, эти составы имеют низкую адгезию при упрочнении влажных горных пород и грунтов [17].

Сравнительные испытания вяжущих материалов показали перспективу применения бетонополимерных материалов.

Бетон, пропитанный полимером, имеет высокую плотность (водопоглощение <1%), агрессивные среды контактируют только с внешней поверхностью бетона, покрытой пленкой полимера, химически стойкого в этих средах. Показатели прочности таких твердеющих вяжущих приведены в табл. 5.

В целях повышения эффективности использования полимеров в бетоне особого внимания заслуживает поверхностная пропитка. При небольшом расходе мономера (1,5-3 кг/м³ бетона) такая обработка обеспечивает значительное повышение коррозионной стойкости композита.

Бетонополимеры – наиболее эффективный способ использования полимерных материалов, недостатком которых является высокая стоимость, склонность к старению, ползучесть, что затрудняет получение несущих элементов и, в ряде случаев, быстрое старение при воздействии атмосферных факторов. При пропитке бетона очень небольшим количеством полимера удается достигнуть резкого повышения прочности и других свойств бетона: например, 1кг полимера на 1м³ бетона обеспечивает повышение прочности на 10МПа (т.е. 1кг полимера заменяет около 10кг цемента). Таким образом, при небольших расходах полимера удается достигнуть большого технического эффекта.

Таблица 5 – Прочность бетонополимерных материалов

№ среды	Водный раствор	рН	Концентрация агрессивных ионов, мг/л	Длительность испытания, сут							
				30		90		180		300	
				Прочность, МПа							
				Ризг	Рсж	Ризг	Рсж	Ризг	Рсж	Ризг	Рсж
1	HCl	3		35	97	36	98	35	97	35	96
2	H ₂ SO ₄	2		34	85	28	63	20	52	18	37
3	H ₂ SO ₄	1		27	70	23	66	19	43	11	26
4	HNO ₃	2		34	100	28	87	20	75	16	54
5	HNO ₃	1		28	80	26	74	20	60	15	40
6	Na ₂ SO ₄		2700	31	74	32	75	32	76	32	75
7	Na ₂ SO ₄		12200	29	77	31	76	30	77	30	78
8	MgCl ₂		5040	34	94	32	92	35	91	36	95
9	NaCl, MgSO ₄ , Na ₂ CO ₃ , KNO ₃ , NaOH, KOH		70	33	92	34	94	35	92	34	94
10	KOH, NaOH		150	31	85	32	87	34	88	34	90

В работах [20,21] был изучен материал зарубежного производства Текбленд фирмы «Фосрок-Поланд» (Польша). Текбленд можно отнести к воздушным вяжущим материалам. Рентгенофазовым и комплексным термическим анализом [20] был определен состав Текбленда. Он представляет собой смесь полуводного гипса (по наличию CaSO₄·2H₂O), наличие этtringита показывает на присутствие в смеси доменного или топливного шлака, также выявлено некоторое количество природного ангидрита. В состав данного материала входит добавка-замедлитель схватывания и твердения. Содержание основных компонентов в смеси находится в следующих пределах: портландцемент – до 65%; глиноземистый цемент – 15-25%; гипс – 10-15%.

По данному составу Текбленд можно отнести к быстросхватывающимся материалам, чем и объясняется введение добавки замедлителя схватывания. В результате лабораторных испытаний было выявлено, что начало схватывания происходит через 4 мин, конец – через 9 мин.

По составу Текбленд близок к расширяющемуся и напрягающемуся цементам отечественного производства. По сертификату прочность затвердевшего материала через 28 суток при водотвердом отношении от 2:1 до 1:1 не менее, соответственно, 5 МПа и 19 МПа. В лабораторных условиях были проведены испытания прочности материала с различным соотношением воды и сухого компонента в сроки от 2 часов до 28 суток [21]. Результаты испытаний приведены в табл. 6.

Из табл. 6 видно, что прочность материала при водотвердом отношении 1:1 не соответствует прочности по сертификату, а имеет меньшие значения и может иметь различные значения в зависимости от партии материала. В шахтных условиях Текбленд имеет повышенную влажность и водопоглощение, в резуль-

тате чего может находиться в пластическом состоянии. Поэтому, учитывая физико-механические свойства данного материала, применение его для возведения литых околострековых полос является ограниченным.

Таблица 6 – Прочность растворов, на основе Текбленда

Партия Текбленда	Соотношение вода:сухая смесь	Предел прочности при сжатии, МПа					
		2 часа	1 сут.	3 сут.	7 сут.	28 сут.	2 сут. + 1 сут в воде
	2:1	0,3	1,22	3,21	4,04	4,6	-
1	1:1	1,38	7,39	9,4	12,04	14,9	-
	1,5:1	0,98	4,4	6	5,8	7,83	-
	2:1	0,39	1,53	1,34	1,6	-	-
2	1:1	5,08	6	5,6	7,81	-	-
	1,5:1	-	3,14	3,4	3,12	-	2,4

Также был проанализирован еще один материал зарубежного производства - «Промонд РН – 61», который производится в Германии.

Как указано в инструкции к данному материалу затворение сухой смеси производится с соотношением вода/вяжущее = 0,14, т.е. к 25 кг смеси добавляется 3,5 л воды.

В результате анализа полученного раствора были определены некоторые физико-механические показатели материала «Промонд РН – 61», значения которых приведены в табл. 7.

Таблица 7 – Показатели прочности образцов на основе «Промонд РН-61»

№ состава	Расход на замес (г)		Соотношение вода/сухая смесь	Плотность раствора (г/см ³)	Сроки схватывания		Прочность при сжатии (МПа) в возрасте (сутки)				
	сухая смесь	вода			начало	конец	1	2	3	7	28
1	4500	675	0,15	2,1	1ч 25м	6ч	0,54	10,5	11,8	12,3	17,2
2	5100	725	0,142	2,1	1ч 50м	7ч	5,6			16	18,7
3	5100	765	0,15	2,1	2ч 30м	6ч 40м	1,7			14,3	17,4
4	5100	715	0,14		1ч 35м	7ч		8,1	8,5		
5	2500	350	0,14							8,8	
6	1000	140	0,14		1ч 35м	7ч	0,4				

По данным лабораторных испытаний было установлено, что образцы, изготовленные из материала «Промонд РН – 61» не достигают прочности, указанной в инструкции – 20 МПа через 8 часов. Максимальная прочность образцов – 18,7 МПа через 28 суток, а прочность образцов (усредненная), доставленных из шахты, составляла 6,6 МПа через 4 суток.

Отмечено также, что растворы из материала «Промонд РН – 61» ведут себя

аналогично гипсовым вяжущим, т.е. в водонасыщенном состоянии они теряют свою прочность более чем в 2 раза.

В виду вышеуказанного можно сделать вывод, что материалы «Текбленд» и «Промонд РН – 61» зарубежного производства не отвечают требованиям формирования и эксплуатации литых околострековых полос. К тому же, использование этих материалов является довольно дорогостоящим.

Учитывая это, была поставлена задача разработки цементно-минеральной смеси для возведения околострековых полос из местных материалов. Одной из таких созданных смесей является «БИ – крепь» [22]. Данная смесь содержит портландцемент, кварцевый песок с модулем крупности 1,0-3,0, аморфный кремнезем, ускоритель твердения в виде обезвоженных солей (хлористый кальций), при таком соотношении компонентов (мас.%):

- портландцемент – 35-45;
- кварцевый песок – 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 может быть введена дробленая карбонатная порода, от пылевидной до фракции 2,0 мм, в количестве 1-20%, вместо таких же частей цемента и песка. Для увеличения времени пребывания затворенного раствора в вязко-жидком состоянии в него добавляют сахарозу в количестве 0,05-0,15% от массы цемента.

В лабораторных условиях были определены физико-механические свойства данного материала с различным соотношением входящих в него компонентов. Составы исследуемых смесей, а также их свойства приведены в таблицах 8 и 9 [22].

Как видно из табл. 9 значения прочности твердеющего материала на основе «БИ – крепь» превышают прочность материалов зарубежного производства, что позволило отказаться от использования зарубежных дорогостоящих материалов и применять в качестве сырья местные материалы.

Таблица 8 – Составы исследуемого материала на основе «БИ-крепь»

№ состава	Портландцемент М500	Песок кварцевый	Дробленый 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

Используя предложенную [22] строительную смесь для формирования охранных околострековых литых полос, разработан «Временный технологический регламент по охране подготовительных выработок угольных шахт литыми полосами

из твердеющих материалов», положения которого масштабно внедрены на шахте «Красноармейская Западная № 1». В нем даны примеры составления паспортов поддержания выемочных выработок литыми полосами с различными показателями конструктивного качества твердеющего материала «БИ-крепь».

Таблица 9 – Физико-механические показатели твердеющего материала на основе «БИ – крепь»

№ состава смеси	Вода/цемент	Начальная подвижность по вискозиметру Сутгарда, мм	Время начала загустевания, мин	Предел прочности при сжатии, МПа			
				1 сут.	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	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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Камер В., Шрер Д., Ингенабель К. Околоштрековая ангидритовая полоса уменьшает конвергенцию выемочного штрека//Глюкауф. – 1972. - №21. – С. 20-24.
2. Хунке Х. Применение ангидрита для возведения околоштрековых полос и перемычек//Глюкауф. – 1976. - №11. – С. 21-27.
3. Хаарман К., Вагнер Э. Улучшение состояния выемочных штреков с помощью ангидритовой полосы//Глюкауф. – 1970. - №22. – С. 21-24.
4. Маттен В., Зеегер И., Цильэссен Х. Заполнение закрепного пространства штреков природным ангидритом//Глюкауф. – 1980. - №14. – С. 15-20.
5. Поссе Г. Опыт применения искусственного ангидрита//Глюкауф. – 1975. - №3. – С. 21-26.
6. Генте М. Возведение околоштрековых полос из гидравлических вяжущих материалов//Глюкауф. – 1970. - №2. – С. 13-24.
7. Ланге Р., Раус Б., Гарте Р. Опыт возведения околоштрековых полос из близдемера//Глюкауф. – 1971. – №13. – С. 31-40.
8. Разработать и внедрить технологические схемы заполнения (тампонача) закрепного пространства в подготовительных выработках твердеющими материалами: Отчет о НИР/ДОНУГИ. – УДК 622.28.691.55.001.4; №гр 01850053470; Инв.№ 0285. 0 074587. – Донецк. – 1985. – 135 с.
9. Заславский Ю.З., Дружко Е.Б. Новые виды крепи горных выработок. – М.: Недра, 1989. – 256 с.
10. Васильев В.В., Левченко В.И. Технология физико-химического упрочнения горных пород. – М.; Недра, 1991. – 267 с.
11. Твердеющая закладка. Обзор/ЦНИИТЭИЦветмет. – М., 1965. – 70 с.
12. Е.И.Аллилуева. Золошлаки от сжигания бурых углей – активная минеральная добавка в цемент//Цемент. – 2004. - №3. – С. 26-28.
13. Д. Падовани, Б.Коркоран. Повышение качества цементов, полученных с использованием гранулированного доменного шлака (ГДШ) и интенсификаторов помола//Цемент. – 2004. - №6. – С. 36-40.
14. Райнер Хэрдтл. Шлаковые цементы: общие положения//Цемент. – 2003. - №1. – С. 15-18.
15. Булатов А.И., Рябченко В.И., Сухарев С. Основы физико-химии промывочных жидкостей и тампоначных растворов. М., «Недра», 1968. – 175 с.
16. Андреев Е.Т., Щукин А.С. Крепление горных выработок. Учебное пособие для горных вузов и фак-тов. – М., «Недра», 1964. – 248 с.
17. Г.П. Стариков, И.Д. Озеров, А.В. Пашенко, В.А. Канин. Применение нового упрочняющего состава для эффективного использования подземного пространства крупных городов//II Межд. конф. «Проблемы и перспективы освоения подземного пространства крупных городов». – Днепропетровск, 1997. – С. 136-139.
18. Угинчус Д.А. Высокопрочные бетонополимерные материалы. – К.: Будівельник, 1983. – 40 с.
19. Баженов Ю.М. Бетонополимеры. – М.: Стройиздат, 1983. – 472 с.
20. Определение составов вяжущих материалов для закладки выработанного пространства шахт: Отчет о НИР/ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2002. – 52 с.

21. Материалы к отчету по договору 8/13-01 с ОАО «Угольная компания «Шахта Красноармейская – Западная №1»: Отчет о НИР (заключ.)/Донецкий Простройниипроект. – Донецк, 2002. – 19 с.

22. Байсаров Л.В. Обоснование параметров и разработка технологии комбинированного способа поддержания повторно используемых выработок: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.15.02/НГУ Украины. – Днепропетровск, 2004. – 20 с.

УДК 622.833.5:519.246

В.Я. Кириченко, Б.М. Усаченко,
Г.Т. Рубец

**ОБ ПОДХОДАХ ПРИЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ПРОЦЕССОВ
СЛУЧАЙНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДВИЖЕНИЯ ФРОНТА ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ ПОРОД
В ОКРЕСТНОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

Для моделювання руху фронту руйнування навколо гірничої виробки пропонується використати процеси випадкового розповсюдження та плоскі криві Гутшовена для опису форми контуру зруйнованих порід.

**ABOUT APPROACHES OF RANDOM DISTRIBUTION PROCTSS
APPLICATION FOR FRAGILE ROCKS FAILURE FRONT
MOVEMENT SIMULATION NEAR ROCK EXCAVATIONS**

For failure front movement simulation near rock excavations there are proposed to use random distribution processes and plane curve of Gutshoven for collapsed rocks contour form description

В настоящее время ведутся работы по исследованию кинетики хрупкого разрушения горных пород на основе использования понятия поврежденности как меры сплошности материала, введенного Л.М. Качановым [1]. Разрушение массива пород в окрестности капитальной горной выработки рассматривается как задача движения фронта хрупкого разрушения во времени в гидростатическом поле напряжений. Так как разрушение пород вокруг горных выработок происходит в слоистой, с различной степенью трещиноватости, неоднородной стохастической среде и в не полностью известном и не постоянном во времени поле напряжений, то следует ожидать, что движение фронта хрупкого разрушения будет представлять собой случайный процесс постепенного накопления повреждений массива и движения выпуклой двумерной зоны разрушенных пород (в случае плоской задачи) во времени. Для описания и моделирования механизма и процесса формирования зоны разрушенных пород вокруг выработок может быть использован математический аппарат процессов случайного распространения двумерных контуров [2].

Необходимость в построении вероятностных множественных моделей возникает также при рассмотрении различных процессов разнообразной природы:

- прогнозирование распространения лесных пожаров [3];
- развитие пространственных популяций [4];
- рост клеток в схемах морфологического движения [5];
- процессы формообразования, просачивания, роста полимеров и др. [6].