

## ВЫВОДЫ

1. Выделенная группа шахт (группа В, рис.2), для которой рост темпа очистных работ обуславливает существенное увеличение критического размера выработанного пространства, то есть шагу обрушения пород кровли (рис.3).

2. Для данной группы шахт при условии генерального (первичного) и циклического (постоянного) обрушение указанная зависимость имеет вид монотонно растущей нелинейной функции. Да, при росте скорости подвигания забоя от 20 до 100 м/мес., размер пролета зависящей кровли при циклическом обрушении увеличивается от 10 до 50 м, то есть в 5 раз.

3. Более детальный анализ показал, что влияние темпа очистных работ зависит от условий разработки: в наибольшей степени интенсификация работ влияет на состояние пород в диапазоне глубин разработки 500-900м.

УДК 622. 235. 36

*Ищенко А.К., аспирант кафедры Строительства и геомеханики НГУ,  
г.Днепропетровск, Украина*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВОДОТВЕРДОГО ОТНОШЕНИЯ И КОЭФФИЦИЕНТА ВСПУЧИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ НА ОПТИМИЗАЦИЮ СОСТАВА ТВЕРДЕЮЩЕЙ СМЕСИ ДЛЯ ЗАБОЙКИ ШПУРОВЫХ И СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ**

**Введение.** На современном этапе развития горных работ интенсификация производственных процессов добычи и переработки полезных ископаемых может быть реализована внедрением новой техники, технологии и совершенствование их на новом техническом уровне, позволяющих снизить себестоимость и энергоемкость товарной продукции. Отличительная особенность добычи полезных ископаемых в условиях шахт Донбасса – это увеличение глубины горных работ, что ведет к росту затрат на подготовку новых добычных горизонтов. Это обусловлено усложнением горнотехнических условий разработки и трудоемкостью ведения работ в забоях подготовительных выработок, проводимых в статически напряженном горном массиве, энергией взрыва. Поэтому, на современном этапе основным способом отбойки горных пород при проходке подготовительных выработок в этих условиях, все еще остается буровзрывной. Следовательно, особое значение приобретает правильность выбора и обоснование рациональных параметров новых способов отбойки горных пород и учете этих параметров в паспортах буровзрывных работ (БВР) в условиях повышенного горного давления.

**Состояние вопроса.** Исследованиями установлено [1-2], что важная роль в управлении интенсивностью дробления горных пород и запираания газообразных продуктов детонации (ГПД) при взрыве зарядов взрывчатых веществ (ВВ) принадлежит забойке. Она оказывает существенное влияние на эффективность и безопасность взрывного разрушения горных пород, увеличивает длительность начального давления и время воздействия ГПД на породу, уменьшая начальную скорость истечения ГПД из устья шпура, снижает выброс раскаленных продуктов детонации в призабойное пространство, что особенно важно при ведении взрывных работ в шахтах, опасных по газу и угольной пыли.

**Цель работы** – провести экспериментальные исследования в лабораторных условиях по оптимизации состава твердеющей смеси с учетом водотвердого отношения и коэффициента вспучивания поверхности.

**Методика и результаты исследований.** На управление выше описанными процессами существенное влияние оказывают свойства материала забойки и ее длина в конструкции заряда ВВ. Для решения этих важных проблем нами с коллективом специалистов Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины разработаны новые составы твердеющих смесей для забойки шпуровых и скважинных зарядов и обоснованы оптимальные соотношения компонентов, входящих в состав смеси. Основным компонентом состава был выбран природный ангидрит (сульфат кальция –  $\text{CaSO}_4$ ), как сопутствующее сырье при добыче гипса. А поскольку ставилась задача создать забоечный материал, способный в процессе затвердевания расширяться и оказывать дополнительное давление на стенки шпура, то в смесь ввели лигносульфонаты [3] – соли серной и лигносульфоновых кислот, являющиеся отходами сульфитного способа получения целлюлозы. Товарное название продукта – «Концентраты сульфито-дрожжевой бражки – КБТ, КБЖ». Разработанные составы имеют следующие соотношения компонентов, в массовых %, а именно:

1. Доломитовая пыль – 28,1 – 29,5  
 Алюмокалиевые квасцы – 4,5 – 6,8  
 Лигносульфонаты – 7,5 – 10,3  
 Вода – 12,7 – 14,8  
 Доменный шлак  
 фракции  $d_{фр.}=2,0-5,0$  мм – Остальное [4].
2. Алюмокалиевые квасцы – 10,1 – 13,4  
 Вода – 15,4 – 23,0  
 Лигносульфонаты – 7,5 – 10,3  
 Природный ангидрит,  
 содержащий 60% фракции  $d_{фр.}=3-5$  мм  
 и 40% хвосты (ил) – отходы обогащения угля  
 фракции  $d_{фр.}=0,25-0,5$  мм, влажностью 13-15% – Остальное [5];

Основная особенность этих составов состоит в том, что в разработке их использованы ингредиенты, являющиеся отходами переработки горнодобываю-

щего комплекса, деревоперерабатывающей и металлургической промышленности.

Обоснование рационального соотношения компонентов в составе смеси проводилось с использованием линейной модели планирования экспериментов при поиске оптимальных условий [6], которое оценивалось по водотвердому отношению и коэффициенту вспучивания поверхности.

Предварительные испытания показали, что твердеющие смеси по своему структурному составу представляют собой ячеистый материал, т.к. при их формировании важное значение оказывает совместное влияние доломитовой пыли и лигносульфонатов – в первом варианте, а во втором лигносульфонатов и хвостов – отходы обогащения угля. Полученные композиции при соединении между собой приведенными выше компонентами, образуют множество ячеек, которые соединяясь перекрывают и заполняют межфракционное пространство природного ангидрита или доменного шлака в смеси.

Структура ячеистого материала формируется во время вспучивания его от взаимодействия доломитовой пыли и хвостов с солями серной кислоты, являющиеся основой лигносульфонатов. Солевые растворы лигносульфонатов обволакивая частицы вяжущего – доломитовую пыль и хвосты, заполняют межфракционное поровое пространство, образуя ячейки, в которых протекает экзотермическая реакция, сопровождающаяся выделением тепла и углеводородных соединений с поризацией твердеющей смеси. В процессе взаимодействия компонентов смеси внутри ее образуются газовые пузырьки с увеличением количества и их размеров межфракционное расстояние уменьшается, а следовательно, утоньшаются межпоровые растворные стенки-перегородки, свойства которых в значительной мере влияют на качество формируемой структуры.

При недостаточном количестве воды в смеси и преобладании мелких фракций природного ангидрита или доменного шлака во время формирования структуры ячеистого материала межпоровые стенки недостаточно эластичны и прочны. Под давлением газа поры разрушаются, происходит их слияние и образуются газо-проводящие капилляры, по которым газ устремляется вверх и выделяется через поверхность вспучивающегося материала.

С целью изучения влияния газовыделений на качество пор образующихся в растворной смеси в зависимости от различных технологических факторов, разработана новая методика с учетом известных методик, приведенных в работах [7, 8].

Отличительная особенность разработанной методики состоит в том, что для оценки влияния водотвердого отношения (В/Т) на коэффициент вспучивания поверхности ячеистых смесей при оптимизации составов в период их вспучивания до полного схватывания разработан специальный стенд, схема которого приведена на рис. 1

Суть ее заключается в следующем. При изучении степени вспучивания ячеистых твердеющих смесей подготовленный для исследований состав 1 (рис.1) помещают в модель 2 цилиндрической формы или куби-

ческой формы, с выбуренной в центре ее полости 3 диаметром равной диаметру шпура или скважины, на поверхность которой устанавливают поршневое устройство 4, а торцевая часть его находится в контакте с ножкой индикатора 5 часового типа ИЧ-10, закрепленного на штанге 6, который фиксируется винтом 7 в корпусе модели 2. В процессе формирования вспучивающейся твердеющей смеси кинетику процесса оценивали по показаниям индикатора 5 с интервалом в 15 мин., а замер температуры смеси осуществлялся термопарой 8. Наведенная ЭДС на головке термопары 8 передается по экранированному кабелю 9 в преобразователь напряжения 10. Преобразованный сигнал в виде разности потенциалов поступает на комбинированный цифровой прибор 11. По результатам предварительных замеров и тарировки измерительной аппаратуры составлялись тарировочные таблицы. Питание измерительной аппаратуры осуществлялось стабилизированным источником напряжения 12.

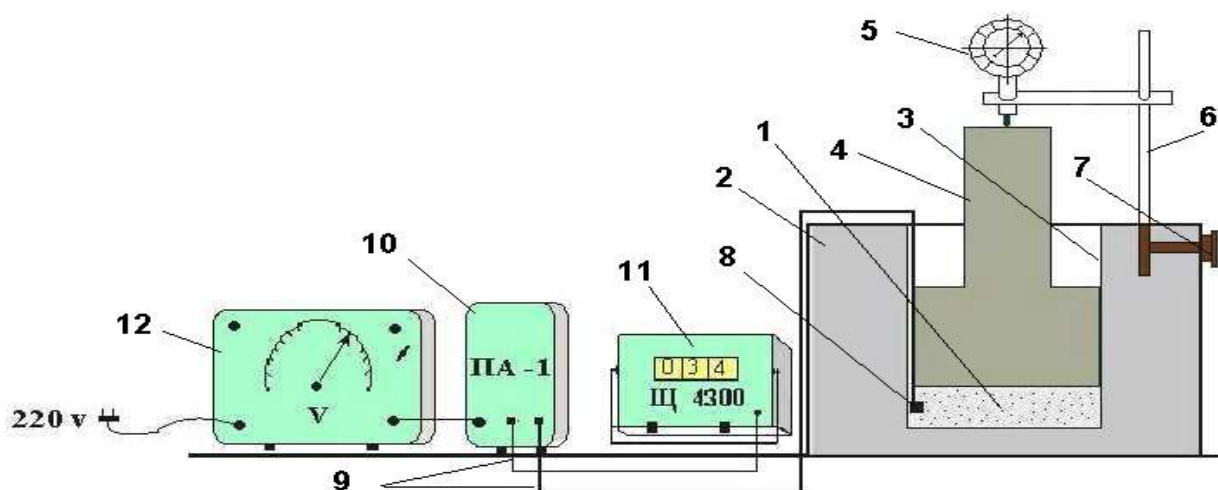


Рис. 1. Схема стенда для определения степени вспучивания и температуры ячеистой твердеющей смеси: 1 – твердеющая смесь; 2 – модель; 3 – цилиндрическая полость в модели; 4 – поршневое устройство; 5 – индикатор часового типа ИЧ-10; 6 – штанга; 7 – винт для крепления штанги в корпусе модели; 8 – термопара; 9 – экранирующий кабель; 10 – преобразователь напряжения ПА-1; 11 – комбинированный цифровой прибор ЦС4300; 12 – источник стабилизированного напряжения

Наведенная ЭДС на головке термопары 8 передается по экранированному кабелю 9 в преобразователь напряжения 10. Преобразованный сигнал в виде разности потенциалов поступает на комбинированный цифровой прибор 11. По результатам предварительных замеров и тарировки измерительной аппаратуры составлялись тарировочные таблицы. Питание измерительной аппаратуры осуществлялось стабилизированным источником напряжения 12.

Показания цифрового прибора анализировались с данными тарировочных таблиц, а результаты вносились в таблицу экспериментальных данных исследуемого процесса. Снятие показаний изменений объема при вспучивании смеси

осуществлялся с шагом 0,020С при изменении температуры внутри смеси. В момент начала эксперимента температура смеси составляла 26-28°С.

Предлагаемая методика дает возможность получить сведения о скорости и характере вспучивания ячеистой смеси в процессе газовыделения через поверхность, а также продолжительность всего процесса формирования макроструктуры ячеистого материала. Согласно разработанной методики можно контролировать процесс структурообразования ячеистого материала на стадии его вспучивания и определять оптимальные условия протекания данного процесса. За оптимальные условия вспучивания принимались такие показатели, при которых вспучивающаяся смесь имеет максимальный коэффициент вспучивания при минимальном газовыделении с поверхности и отсутствия осадка вспученной массы.

С использованием данной методики были проведены исследования и по результатам экспериментальных замеров построены зависимости влияния водотвердого отношения на коэффициент вспучивания поверхности от продолжительности исследуемого процесса во времени. Результаты испытаний для исследуемых смесей приведены на рис. 2.

Исследованиями установлено, что избыточное количество воды в растворе, чем необходимо для полной гидратации частиц ангидрита или доменного шлака снижает его вязкость, что нежелательно. Активизация этих процессов способствует прорыву газовых пузырьков, которые достигая поверхности смеси, лопаются и тем самым ухудшают структуру смеси, а это ведет к ее осадке и снижению физико-механических характеристик.

Приведенные в работе результаты исследований по двум составам разработанных смесей указывают на то, что отсутствие или минимальное газовыделение через поверхность может служить объективным критерием оценки условий взаимодействия процессов газовыделения и структурообразования исследуемой ячеистой смеси.

Результаты испытаний составов позволили установить оптимальный интервал В/Т отношения, который находился в пределах 0,12 - 0,17. Влияние водотвердого отношения оценивалось коэффициентом вспучивания, который определялся как отношение изменения объема смеси после вспучивания к начальному ее объему (высоте) в момент заливки в испытательную форму (модель).

Для выявления характера газовыделения через поверхность и его связи с коэффициентом вспучивания рассмотрим отдельные экспериментальные кривые (рис. 2, а, б, в), полученные для различных значений водотвердого отношения. Общий анализ кривых позволяет выделить два этапа формирования смеси:

I – газовыделение во время вспучивания смеси;

II – прекращение газовыделения, стабилизация вспучивания смеси и начало ее твердения.

Анализ приведенных кривых позволяет сделать вывод, что для конкретного состава смеси и условий ее формирования установлено определенное

оптимальное значение  $V/T$ , при котором наблюдаются максимальный прирост объема вспучиваемой массы, минимальное газовыделение через поверхность и отсутствие осадки. По величине интервала оптимального значения  $V/T$  можно судить о технологичности используемой смеси. Исследуемые составы смесей характеризуются очень узким интервалом оптимального  $V/T$  (0,12 - 0,17), следовательно, можно сказать, что оно не обеспечивает формирование высококачественной ячеистой смеси, так как увеличение или уменьшение  $V/T$  приводит к быстрой стабилизации процесса вспучивания, что и вызывает разрушение структуры материала и снижение его прочности.

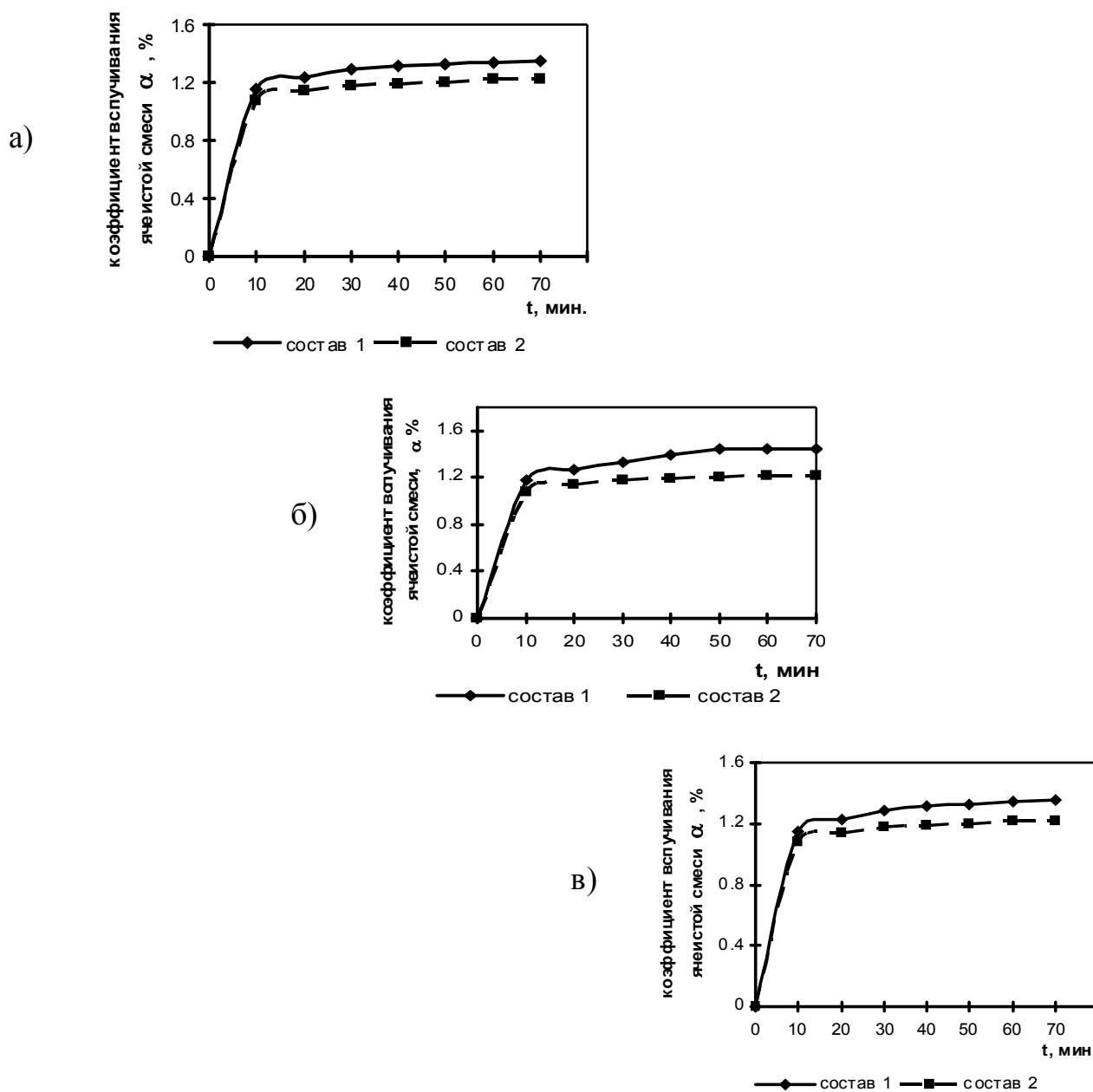


Рис. 2. Влияние водотвердого отношения  $V/T$  на коэффициент вспучивания ( $\alpha$ ) ячеистой смеси при: а -  $V/T = 0,12$ ; б -  $V/T = 0,15$ ; в -  $V/T = 0,17$ ; 1 – кинетика вспучивания состава 1; 2 – кинетика вспучивания состава 2

Анализ приведенных кривых позволяет сделать вывод, что для конкретного состава смеси и условий ее формирования установлено определенное оптимальное значение  $V/T$ , при котором наблюдаются максимальный прирост объема вспучивающейся массы, минимальное газовыделение через поверхность и отсутствие осадки. По величине интервала оптимального значения  $V/T$  можно судить о технологичности используемой смеси. Исследуемые составы смесей характеризуются очень узким интервалом оптимального  $V/T$  (0,12 - 0,17), следовательно, можно сказать, что оно не обеспечивает формирование высококачественной ячеистой смеси, так как увеличение или уменьшение  $V/T$  приводит к быстрой стабилизации процесса вспучивания, что и вызывает разрушение структуры материала и снижение его прочности.

При низком содержании воды в смеси ( $V/T = 0,12$ ; рис. 2, а) во время вспучивания не наблюдается интенсивное газовыделение через поверхность, что способствует оседанию ее, и процесс вспучивания прекращается.

На первом этапе существенное газовыделение можно объяснить тем, что в процессе формирования пористой структуры из-за пониженного количества воды в межпоровых стенках они недостаточно эластичны и разрушаются от газового давления в порах, а по образовавшимся капиллярам газ интенсивно выходит через поверхность. Но на первом этапе скорость газообразования внутри смеси значительно превосходит скорость газовыделения через поверхность, что и обуславливает прирост вспучивающейся смеси.

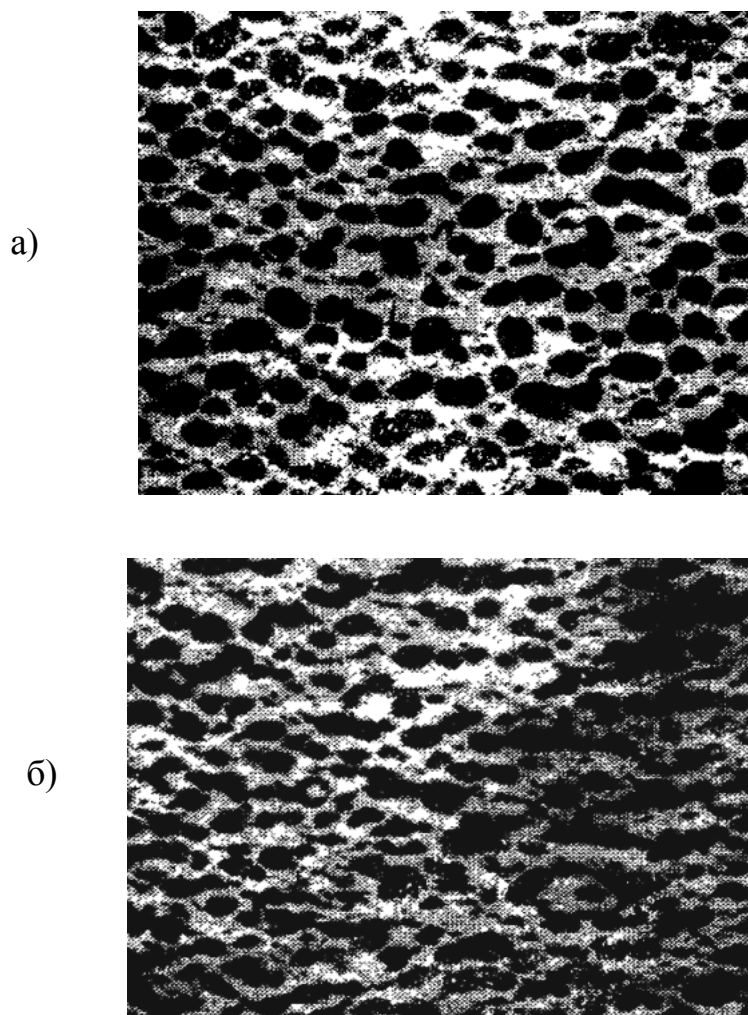
На втором этапе наблюдается резкое увеличение скорости газовыделения, которое приостанавливает процесс вспучивания и способствует ее стабилизации. Анализ этого процесса показывает, что на данном отрезке кривой скорость газовыделения через поверхность значительно превышает скорость газообразования. Активизация процесса газовыделения на втором этапе вызывает значительные разрушения структуры ячеистого материала, что ведет к стабилизации процесса вспучивания и начало ее твердения.

Анализ процесса при верхнем пределе содержания воды в смеси (при  $V/T = 0,17$ ; рис. 2, в) показал, что резкое газовыделение через поверхность наблюдается в начале процесса вспучивания. Незначительное газовыделение на первом этапе указывает на то, что данное количество воды по сравнению с  $V/T = 0,12$  улучшает процесс формирования пористой структуры смеси. Это можно объяснить тем, что при большом количестве воды смесь имеет незначительную вязкость и создаются благоприятные условия для всплытия газовых пузырьков, которые, достигнув поверхности, лопаются. По мере протекания процесса вспучивания вязкость повышается и газовыделение через поверхность снижается.

На рис. 2, б представлены кривые вспучивания поверхности при оптимальном количестве воды затворения  $V/T = 0,15$ . Как видно из рис. 2, б, объем образовавшегося газа и выделение его через поверхность увеличилось на 10-15 % , что позволяет интенсифицировать в начальный период процесс вспучивания смеси. Данное количество воды обеспечивает совпадение

процессов вспучивания и структурообразования, влияющие на качество ячеистого материала (рис. 3, а), в то время как при  $V/T = 0,12$  материал получается со сплюснутыми порами (рис. 3, б) и в результате происходит осадка малопрочного сырца.

Анализ кривых кинетики вспучивания смеси за счет газовыделения через поверхность указывает на то, что по динамике газовыделений и объему выделившегося газа через поверхность вспучивающейся смеси нами правильно обосновано оптимальное количество воды для затворения ее.



*Рис. 3. Структура твердеющей ячеистой смеси при: а -  $V/T = 0,15$ ; б -  $V/T = 0,12$*

## ВЫВОДЫ

Разработанная методика и применяемая аппаратура позволяют глубоко изучать влияние различных технологических факторов на процесс формирования пористой структуры во время вспучивания ячеистой смеси. По результатам исследований установлено, что формирование структуры ячеистой смеси при газовыделении через поверхность протекает в два этапа:



1 этап – время интенсивного вспучивания;

2 этап – прекращение вспучивания смеси и ее твердение. Отсутствие промежуточного этапа вспучивания при газовыделении через поверхность указывает о правильном подходе к обоснованию нами рациональных соотношений компонентов входящих в состав ячеистой смеси. Согласно обоснованным соотношениям компонентов в составе смеси предоставляется возможность получить требуемые физико-механические характеристики забоечной смеси для шпуровых и скважинных зарядов, имеющее важное значение в решении задач взрывного дела, направленные на повышение эффективности управления взрывным разрушением крепких напряженных горных пород при проведении выработок в глубоких шахтах.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ищенко К.С. Повышение эффективности взрывной проходки выработок на рудных шахтах/ К.С. Ищенко, В.Н. Коновал // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2006. – №6. – С.68-70.

2. Ищенко К.С. Исследования разрушения твердых сред зарядами ВВ различных конструкций / К.С. Ищенко // *Уголь Украины*. – 2007. – №1. – С. 10-13.

3. Сапотницкий С.А. Использование сульфатных щелоков / Сапотницкий С.А. – М.: Лесная промышленность, 1965. – 123с.

4. Пат. №81699 Україна МПК6 E21D 20/00, F21F 15/00 Суміш для закладки виробленого простору/ Булат А.Ф., Перепелиця В.Г, Іщенко К.С. та інші; заявник і власник патенту ІГТМ НАН України. – № а 2006 03725; замовл. 05.04.06; надр.25.01.08. Бюл. №2.

5. Рішення про вид. пат. України МПК6 E21F 15/00, E21D 21/00. Сполука твердіючої суміші для набійки свердловинних зарядів / Булат А.Ф., Перепелиця В.Г, Іщенко К.С.та інші; заявник і власник патенту ІГТМ НАН України. – № а 2007 09707; замовл. 28.08.2007.

6. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий /Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский В.П. – М.: Наука, 1976. – 280с.

7. Ищенко К.С. Исследование особенностей физико-механических свойств расширяющейся твердеющей смеси (РТС-1) для забойки шпуровых и скважинных зарядов / К.С. Ищенко *Ин-т геотехн. мех. АН Украины*.– Днепропетровск, 1992. – 44 с. – Деп. в ВИНИГИ 29.12.92, № 3695–В92.

8. А.с. № 494686 СССР, МКИЗ 3G01N 33/38. Прибор для измерения степени вспучивания ячеистых бетонных твердеющих смесей/ Р.Я. Ахтямов, А.Н. Чернов и А.Н. Абызов (СССР).– №1967860/29-3; заявл. 02.11.73; опубл. 05.12.75. – Бюл. №45.