

значение открытия заключается в разработке новых методов решения проблемы взрывобезопасности ведения горных работ на глубоких горизонтах шахт в целом.

Работа будет продолжена в направлении реализации вытекающих из установленного открытия выводов и предложений.

### **Библиографический список**

1. **Взрывные работы в опасных условиях угольных шахт** / Кутузов Б.Н., Бутуков А.Ю., Вайнштейн Б.И. и др. — М.: Недра, 1979. — 373 с.
2. **Калякин С.А., Шевцов Н.Р.** Аномальное влияние ингибитора на цепную реакцию окисления метана при взрыве // *Технология и проектирование подземного строительства: Вестник Академии строительства Украины*. Вып. 3. — Донецк: «Норд-пресс», 2002. — С. 166–180.
3. **Калякин С.А., Шевцов Н.Р.** Новое направление в создании средств взрывозащиты при ведении горных работ. // *Матер. науч.-практ. конф. «Донбасс – 2020: Наука и техника — производству»*. — Донецк: ДонНТУ, 2002. — С. 215–218.
4. **Александров В.Е., Шевцов Н.Р., Вайнштейн Б.И.** Безопасность взрывных работ в угольных шахтах. — М.: Недра, 1986. — 149 с.
5. **Калякин С.А.** Предотвращение воспламенения метана от выгорающего заряда при взрывных работах в угольных шахтах: Автореф... дис. канд. техн. наук: 05.26.01/МакНИИ: Макеевка, 2002. — 21 с.
6. **Кукиб Б.Н., Росси Б.Д.** Высокопредохранительные взрывчатые вещества. — М.: Недра, 1980. — 170 с.
7. **Зенин В.И., Миц В.Н.** Исследование возможности обнаружения отказавших зарядов ВВ в горных выработках // *Сб. науч. тр. МакНИИ*. — М.: Госгортехиздат, 1961. — С. 81–85.

*© Калякин С.А., Шевцов Н.Р., 2005*

УДК 622.235

Студ. ЛЕБЕДЕВА Е.А., ст. преподаватель ГАЛИАКБЕРОВА Ф.Н., доц. ПРАЗДНИКОВА Т.Н. (ДонНТУ), инж. ДЕНЬГА В.В. (МакНИИ)

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ**

Наиболее экологически безопасными среди всех существующих ВВ, как с точки зрения применения, хранения и транспортирования, так и со стороны образующихся продуктов взрыва, являются водонаполненные промышленные ВВ (ПВВ). Наша страна может претендовать на приоритет в области промышленных водонаполненных взрывчатых веществ. Эффективность и безопасность взрывных работ в шахтах во многом зависит от используемых ВВ. В последнее время во многих странах стали все больше использоваться водонаполненные или водосодержащие ВВ, представляющие собой механические смеси сенсibilизаторов с водным раствором окислителя и горючего.

Отсутствие водоустойчивости ограничивает область и масштабы применения гранулитов. Переувлажнение зарядов в шпурах и скважинах неминуемо приводит к снижению эффективности взрывания. Таким образом, придание водоустойчивости гранулитам и снижение их пыления явилось актуальной задачей дальнейших технологических разработок.

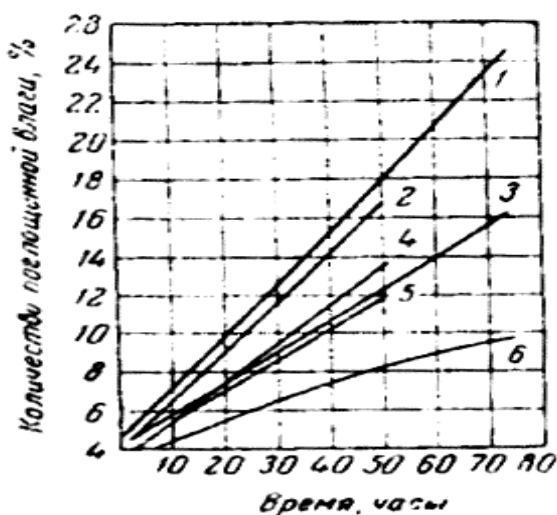
Следует отметить сложность проблемы водоустойчивости водосодержащих ВВ (ВВВ). Желатинизацией воды различными гелеобразователями (загустителями) и структурированием желатинированной смеси поперечной сшивкой широко разветв-

ленных молекул геля можно обеспечить водоустойчивость ВВВ и их пригодность для применения в скважинах с любой степенью проточности воды. Однако технологическая трудность загущения и структурирования ВВ с сохранением текучести требует еще многих исследований для доведения процесса до совершенства.

Основное требование, предъявляемое к загустителю — его хорошая растворимость в концентрированных водных или неводных растворах аммиачной селитры и других щелочных нитратах, обеспечивающая образование вязких растворов или стабильных студней, в зависимости от условий применения изготавливаемого ВВВ.

Для обеспечения изготовления ВВВ на месте применения, которое во многих случаях можно осуществлять непосредственно в процессе зарядки скважин, необходимо легко растворяющийся загуститель, способный быстро (в течение нескольких минут) образовывать с водой гелеобразную массу. Для применения в таких условиях желательно использовать загуститель в виде мелкодисперсного порошка, который можно для упрощения дозировок предварительно смешивать с одним из твердых сыпучих компонентов суспензии.

По имеющимся сведениям, наилучшими загустителями для изготовления ВВВ являются гуаровая мука, мука бобов рожкового дерева, некоторые разновидности модифицированного крахмала, а также отдельные сорта карбоксиметилцеллюлозы и полиакриламид. В США, Канаде и других странах наиболее широко применяются галактоманнанные полисахариды, которые легко сохраняются в насыщенном растворе нитрата аммония, обладают хорошей загущающей способностью, образуют высоковязкие растворы, в определенных условиях превращаются в студни. Основу галактоманнанных полисахаридов составляют галактуроновые кислоты, способные полимеризоваться. От величины молекулярного веса этих кислот и степени полимеризации зависит студнеобразующая способность технического загустителя в целом [1].



**Рис. 1.** Влияние добавок на скорость поглощения влаги аммиачной селитрой: 1 — без добавок; 2 — 0,5–1,0% смолистого мазута; 3 — 0,5% парафина; 4 — 0,5% смолы, битума, вазелина и парафина; 5 — 0,5% парафинистого мазута; 6 — 1% парафинистого мазута

ка его в количестве до 1% от веса аммиачной селитры снижает скорость поглощения влаги в несколько раз по сравнению с чистой селитрой.

В одном из патентов для изготовления пластичных ВВ суспензионного типа недавно в качестве дополнительного пластификатора к гуаровой муке предложено использовать лигносульфонаты, которые, по утверждению авторов патента, одновременно выполняют функции сенсibilизатора взрывчатых свойств. Эти соли, как и гуаровая мука, могут быть получены в виде сухого порошка, удобного для введения в состав ВВВ. В процессе растворения сухого порошка лигносульфоната в пластичной массе ВВ образуется большое количество воздушных пузырьков, благодаря которым повышается детонационная способность системы.

Одним из способов придания водоустойчивости является применение парафинистого мазута. Добавка

Как видно из рис.1, наилучшим результатом для повышения водоустойчивости гранулитов имеет парафинистый мазут в количестве до 1,0%. Наряду с водоустойчивостью ВВВ необходимо решить проблему повышения их детонационной способности, путем введения сенсibilизаторов [2].

Более надежным способом получения водоустойчивых ВВ является покрытие гранул селитры сплошной водозащитной пленкой или слоем материала, выполняющего одновременно роль горючего и сенсibilизатора. Чтобы достигнуть равномерного покрытия гранул небольшим количеством пленкообразующего вещества, приходится наносить его на гранулы из летучего растворителя, индифферентного по отношению к селитре. В сочетании с припудриванием гранул алюминиевой пудрой, такая пленка способна предотвратить их растворение при погружении в воду, т.е. обеспечить высокую водоустойчивость и не вызвать чрезмерной флегматизации.

Однако технологически сложно получать водоустойчивые ВВ подобным способом. Применение летучего растворителя требует его рекуперации и повышает пожароопасность производства. Поэтому разработан другой технологический процесс. более простой и производительный, для придания водоустойчивости гранулитам, в составе которых минеральное масло заменено специальным воскообразным термопластичным нефтепродуктом, обладающим гидрофобностью и хорошей адгезией к гидрофильной поверхности гранул селитры. Наносимый на гранулы особым технологическим приемом тонкий слой расплавленного воска, при соблюдении температурного режима, не только хорошо прилипает к поверхности гранул, но и более прочно, чем масляная пленка, закрепляет на ней частицы алюминиевой пудры, что делает ВВ практически не пылящим и не мажущимся [3].

В настоящее время на многих заводах проводится утилизация гексогенсодержащих боеприпасов. Поэтому представляется целесообразным использовать полученный при этом гексоген для создания ВВВ, так как наличие его обеспечивает повышение детонационной способности смесей, что определяет полноту химических реакций при взрывчатом превращении и, следовательно, меньшее выделение ядовитых газов.

Совместно с лабораторией МакНИИ было изучено поведение различных сенсibilизаторов в водной среде. Проведены эксперименты по определению их минимальных инициирующих импульсов. Соотношение сенсibilизатора и воды составляло 70:30 соответственно. Водонаполненная взвесь помещалась в полиэтиленовую ампулу диаметром 38мм. Взрыв взвеси проводился от электродетонатора ЭД-8-Ж при наличии тротилового «свидетеля». Результаты экспериментов приведены в табл.1.

**Табл. 1.** Минимальные инициирующие импульсы различных сенсibilизаторов в воде

Сенсibilизатор	Дисперсность сенсibilизатора, величина частиц, мм	Минимальный инициирующий импульс
Гексоген заводской	0,16-0,31	ЭД-8-Ж
Гексоген перекристаллизованный	0,05	15 г. гексогена
Тетрил заводской	0,16-1,315	10 г. гексогена
Тротил гранулированный	1,0-2,4	20 г. гексогена
Тротил перекристаллизован-	0,063-0,16	200 г. гексогена
СПЛАВ ТГ 50/50	0,6-2,2	10 г. гексогена
СПЛАВ ТГ 50/50	2,2	15 г. гексогена

В тех случаях, когда взрывчатая взвесь не детонировала от электродетонатора, определилась навеска гексогена с интервалом в 5г, которая вызывала стойкую детонацию водонаполненной смеси не меньше, чем в 3 опытах.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что в воде дисперсность сенсibilизатора также имеет значительное влияние на чувствительность двухкомпонентных взрывчатых смесей к инициирующему импульсу. Как видим из приведенных в таблице 1 данных, только водонаполненная взрывчатая система, содержащая в качестве сенсibilизатора гексоген заводского изготовления, детонировала от электродетонатора. Остальные водонаполненные взвеси детонировали при наличии дополнительного детонатора. Следовательно, для повышения детонационной способности ВВВ необходимо наличие такого мощного сенсibilизатора как гексоген.

Опыты также проводились с водонаполненной системой «тротил — вода» в соотношении 70:30 соответственно. Подготовленная смесь тротилообразной дисперсности с водой помещалась в полиэтиленовую ампулу диаметром 38 мм. В качестве дополнительного детонатора использовался заряд заводского гексогена, величина которого и определяла минимальный инициирующий импульс «патрона — свидетеля». Результаты эксперимента приведены в табл. 2. Плотность смесей колеблется в пределах 1,25–1,30 г/см<sup>3</sup>

**Табл. 2.** Минимальные инициирующие импульсы в зависимости от дисперсности тротила

Дисперсность тротила, мм	Минимальный инициирующий импульс гексогена, г
1,6 - 2,5	20
1,0 - 1,6	20
0,63 - 0,10	15
0,40 - 0,63	20
0,315 - 0,4	15
0,25 - 0,315	15

Приведенные данные свидетельствуют о том, что со сменой дисперсности тротила в широком диапазоне чувствительность его к начальному импульсу в водной среде остается на низком уровне [4].

Перспективными направлениями совершенствования гранулированных и водосодержащих ВВ является следующее:

1. Разработка рецептур высокоустойчивых бестротилового гранулированных ВВ. например, в виде гранул аммиачной селитры, покрытых водонепроницаемыми полимерными пленками различной химической природы;

2. Снижение количества токсичных газов в продуктах взрыва может быть достигнуто за счет создания ВВВ на основе тонкодисперсного гексогена;

3. Так как гексоген имеет высокую стоимость, целесообразно снизить его содержание путем введения в ВВ, в качестве дополнительного сенсibilизатора газовых микропузырьков, повышающих детонационную способность.

### Библиографический список

1. Демидюк Г.П. Направления развития гранулированных и водосодержащих взрывчатых веществ. Сборник «Взрывное дело» №74/31. — М.: Недра, 1974 — С. 5–14.
2. Дубовицкий А.М., Кильман Я.И. Технология аммиачной селитры. — М.: Наука, 1949 — С. 186–187.
3. Дубнов Л.В., Росси Б.Д. Свойства взрывчатых материалов и их совершенствование. Сборник «Взрывное дело» №75/32. — М.: Недра, 1975 — С. 173–174.

4. Рыбалов Е.А., Солнцева Р.К., Степанова И.В. О загустителях для водонаполненных взрывчатых веществ. — М.: Недра, 1975 — С. 163–166.

© Лебедева Е.А., Галиакберова Ф.Н., Праздников Т.Н., Деньга В.В., 2005

УДК 539.2

Канд. физ.-мат. наук. ЩЕРБАК Я.Я. (ДонНТУ)

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР НЕОДНОРОДНЫХ ИЗОВАЛЕНТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ РАСТВОРОВ

Свойства полупроводниковых материалов с неоднородным распределением примесных центров в значительной степени отличаются от свойств, которые предсказывает теория для материалов с однородным их распределением. Происходит, например, размытие края оптического поглощения, уширение полос излучения, изменение характера зависимости коэффициента поглощения света от частоты [1,2].

Влияние крупномасштабных флуктуаций состава твердого раствора на спектр «мелких» центров, а также свойства макронеоднородных систем изучались в работах [2,3].

В реальных полупроводниковых системах преобладающими будут мелкомасштабные флуктуации состава, обусловленные взаимодействием примесных центров между собой и с атомами исходного соединения, а также технологическими причинами [4]. Размеры таких флуктуаций порядка длины волны электрона, т.е. реализуется микронеоднородное распределение примесных центров.

В модели направленной кристаллизации, например, распределение концентрации можно представить в виде [5]

$$x(g) = kx_0(1-g)^{k-1}, \quad (1)$$

здесь  $x(g)$  — концентрация примеси в той части твердой фазы, где закристаллизовалась доля  $g$  расплава;  $x_0$  — исходная концентрация примеси в расплаве;  $k$  — коэффициент распределения, равный отношению концентрации примеси в твердой и жидкой фазах у границы раздела.

Локальная плотность состояний, как функция энергетического параметра  $\omega$  и концентрации  $x(g)$ , может быть представлена в виде:

$$\rho_0(\omega, x(g)) = \rho_1(\omega, x(g)) + \rho_2(\omega, x(g)),$$

где  $\rho_1$  представляет плотность состояний в области «хвоста» зоны;  $\rho_2$  — плотность токовых состояний в однородном растворе с концентрацией  $x(g)$ .

Согласно [6] для изовалентных растворов у границы плотности токовых состояний:

$$\rho_2(\omega, x) = \frac{2(m(x))^{3/2}}{4\pi^2} (\omega - E(x))^{1/2},$$

здесь  $E(x)$  — граница состояний,  $m(x)$  — эффективная масса носителей. Зависимость последней от  $x$  связана с изменением постоянной решетки при введении примеси.