

Подоваленко Ю.В., Манжос Ю.В., Галиакберова Ф.Н. (ДонНТУ)

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ИНЕРТНЫХ ПРИМЕСЕЙ НА ВЗРЫВЧАТЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВВ АММОНИТНОГО ТИПА

Рассмотрено влияние содержания соли (хлорида натрия NaCl) в качестве инертной добавки на теплоту взрыва, скорость детонации, объем газообразных продуктов взрыва и на предохранительные свойства взрывчатых веществ аммонитного типа. Увеличение NaCl в составе значительно снижает взрывчатые характеристики, уменьшая тем самым практическую эффективность, но повышая предохранительные свойства взрывчатых веществ.

Основным источником поджигания метановоздушной смеси при ведении взрывных работ в угольных шахтах являются высокотемпературные продукты детонации шпуровых зарядов ВВ — на их долю приходится около 40% аварий [1]. Энергия, которая выделяется при взрыве взрывчатых веществ (ВВ) в шпурах, лишь частично расходуется на совершение механической работы. Неиспользованная часть этой энергии может оказаться достаточной для того, чтобы вызвать вспышку и взрыв метановоздушной или пылевоздушной смеси в шахте. Также взрыв рудничной атмосферы может быть вызван нагретыми газообразными продуктами взрыва, горящими или раскаленными твердыми частицами и ударной волной, если индукции до вспышки меньше времени теплового воздействия на газ указанных воспламеняющих агентов. Этими исследованиями в свое время занимались Малляр, Ле-Шателье и Одибер.

Для обеспечения безопасности ведения взрывных работ в угольных шахтах, опасных по газу и пыли, одним из важнейших мероприятий является применение специальных ВВ, уменьшающих вероятность воспламенения рудничной атмосферы. Такие ВВ называют предохранительными или антигризутными (от французского слова grisou — рудничный газ) [2].

Предохранительность ВВ обеспечивается путем введения в рецептуру определенного количества инертных примесей, снижающих до нужного уровня взрывчатые характеристики ВВ такие как теплота взрыва, скорость детонации. В качестве инертных примесей широко используются хлориды щелочных металлов — наиболее активные компоненты для ингибирования вспышек метановоздушной смеси. Особенно часто в качестве такой добавки используют хлорид натрия (NaCl). Например, современные предохранительные ВВ IV класса содержат до 21% инертных добавок, из которых от 15 до 20% составляет NaCl.

К.К. Андреев указывает на способность хлоридов щелочных металлов снижать в составе продуктов взрыва содержание окислов азота, являющихся положительным катализатором в реакции окисления метана и очень токсичными газами. Окислы азота являются гораздо более ядовитыми газами, чем оксид углерода, потому снижение их количества в газообразных продуктах взрыва является целесообразным для уменьшения вредного влияния на окружающую среду.

Изменяя содержание инертных примесей в составе ВВ и их дисперсность можно одновременно регулировать поверхность отрицательного катализа (ингибирование) и тепловые параметры взрыва. С увеличением содержания

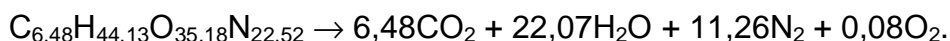
солей усиливаются предохранительные свойства ВВ. Это происходит за счет снижения теплоты (температуры) взрыва, а также за счет возрастания эффекта ингибирования [3].

Рассмотрим влияние содержания инертных примесей на скорость детонации, теплоту взрыва и объем газообразных продуктов взрыва на примере ВВ аммонитного типа.

На базе МакНИИ был проведен ряд экспериментов по исследованию влияния количественного содержания NaCl на скорость детонации с использованием модельных составов. Основой составов являлась механическая смесь с содержанием тротила — 20% и аммиачной селитры марки ЖВ — 80%. В указанную основу вводилось различное содержание соли NaCl и таким образом получали нужные составы (ПЖВ-10, ПЖВ-20, ПЖВ-30, ПЖВ-40, ПЖВ-60). Испытывались крупнодисперсные составы, в которых частицы всех компонентов имели крупность от 0,5 до 2 мм. В качестве нулевой точки был использован аммонит 6ЖВ, не содержащий соль NaCl.

Скорость детонации указанных составов определялась лабораторным методом ионизационных датчиков. Для испытаний использовались патроны диаметром 36 мм, плотность заряда ВВ составляла 1,0 г/см³. Было проведено по три опыта для каждого состава и найдены средние значения скоростей детонации ВВ. Также были проведены исследования влияния увеличения содержания соли в составе ВВ на теплоту взрыва и объем газообразных продуктов взрыва. Теплота взрыва составов и объем газообразных продуктов взрывчатого превращения определены нами расчетным путем. Для этого были составлены бруттоформулы составов (см. табл.1), посчитан кислородный баланс, составлены уравнения взрывчатого превращения, определены теплоты образования ВВ и продуктов взрыва и по их разности получена теплота взрыва состава. Из-за своей громоздкости расчеты в данной работе не приводятся.

Объем продуктов взрыва определялся по уравнению взрывчатого превращения. Например, для аммонита 6ЖВ уравнение взрывчатого превращения следующее:



Суммируя количество моль газообразных продуктов взрыва 1 кг аммонита 6ЖВ и умножая эту сумму на объем 1 моля газообразных продуктов взрыва, получаем удельный объем газов:

$$V = 22,4 (6,48 + 22,07 + 11,26 + 0,08) = 894 \text{ л/кг.}$$

Аналогичным образом рассчитываются объемы газообразных продуктов взрыва остальных составов.

Процентное содержание компонентов в составах приведено в таблице 1.

Таблица 1. Компонентный состав модельных смесей

Состав	Бруттоформула ВВ (содержание элементов в 1000 г смеси)	Содержание селитры, %	Содержание тротила, %	Содержание NaCl, %
6ЖВ	$C_{6,48}H_{44,13}O_{35,18}N_{22,52}$	79	21	-
ПЖВ-10	$C_{5,53}H_{39,95}O_{31,74}N_{20,37}Na_{1,71}Cl_{1,71}$	72	18	10
ПЖВ-20	$C_{4,90}H_{35,50}O_{28,20}N_{18,10}Na_{3,42}Cl_{3,42}$	64	16	20
ПЖВ-30	$C_{4,34}H_{31,10}O_{24,72}N_{15,86}Na_{5,13}Cl_{5,13}$	56	14	30
ПЖВ-40	$C_{3,71}H_{26,65}O_{21,18}N_{13,59}Na_{6,48}Cl_{6,48}$	48	12	40
ПЖВ-60	$C_{2,45}H_{17,75}O_{14,10}N_{9,05}Na_{10,26}Cl_{10,26}$	32	8	60

Результаты расчетов и эксперимента представлены на рисунках 1 и 2.

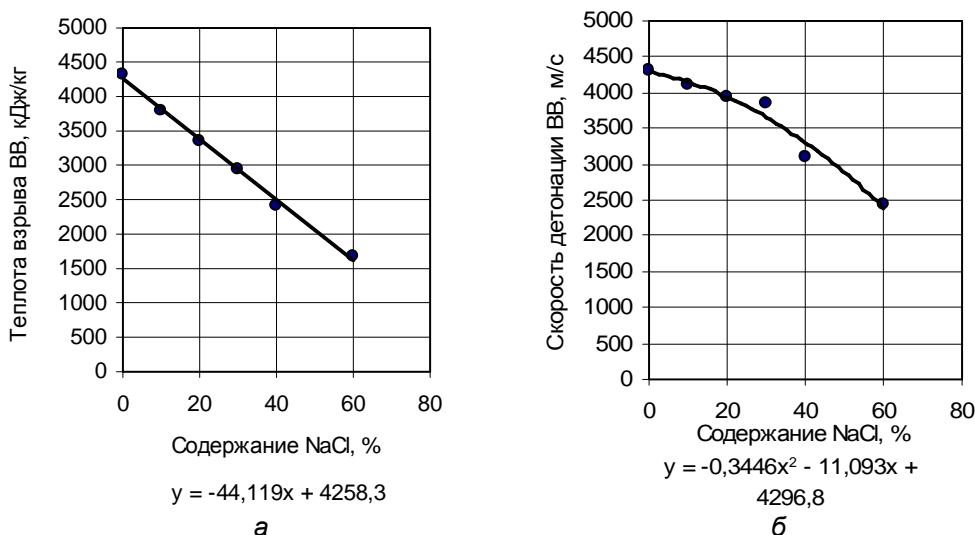


Рис. 1. Влияние содержания NaCl в составе ВВ на: а) теплоту взрыва и б) скорость детонации.

Из графика на рис.1,а видно, что с увеличением содержания в составе ВВ NaCl теплота взрыва с 4316 кДж/кг при нулевом содержании NaCl (аммонит 6ЖВ — II класс, ВВ взято в качестве нулевой точки) достаточно резко снижается до 1676 кДж/кг при содержании в составе 60% NaCl (аммонит ПЖВ-60).

Полученная зависимость теплоты взрыва от содержания NaCl в составе ВВ — первого порядка, т.е. имеет вид прямой линии и описывается уравнением, приведенным на графике и справедливым только для исследованного интервала значений.

Кривая скорости детонации (рис.1,б) описывается зависимостью второго порядка. Тенденция снижения скорости детонации от 0 до 30% NaCl в составе ВВ нерезкая, а начиная с 30% и до 60% NaCl скорость детонации падает более резко с 3850 м/с (30%) до 2431 м/с (60%).

Объем газообразных продуктов взрыва (ПВ) с увеличением содержания NaCl также снижается (рис. 2), и зависимость имеет вид прямой линии. При

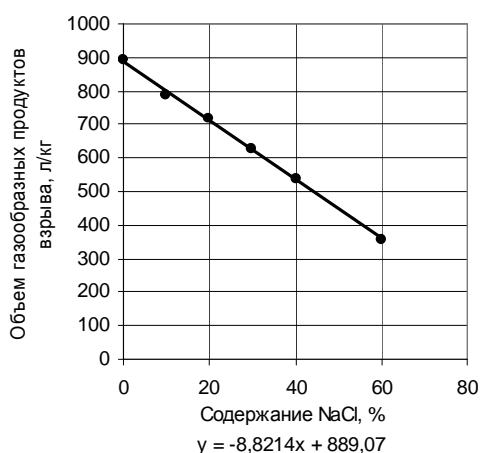


Рис. 2. Влияние содержания NaCl в составе ВВ на объем газообразных продуктов взрыва.

отсутствии NaCl в смеси (аммонит 6ЖВ) объем газообразных продуктов взрыва составляет 894 л/кг, а при содержании NaCl в смеси 60% объем газообразных продуктов — 358 л/кг. Такое резкое снижение газообразных ПВ объясняется тем, что в смеси ПЖВ-60 уменьшилось содержание селитры с 79% до 32% и тротила с 21% до 8%, а ведь именно селитра и тротил при взрыве выделяют много газообразных продуктов, увеличивая тем самым работоспособность ВВ [4], но селитра как раз и дает большое количество вредных оксидов азота в ПВ [5]. Снизив объем газообразных ПВ, мы фактически уменьшили его

работоспособность, но в то же время уменьшили и количество токсичных газов, оказывающих вредное влияние на экологическую ситуацию. Для того чтобы избежать создания предохранительных ВВ с низкой практической эффективностью, были введены нормативные требования к работоспособности ВВ разных классов. ВВ III должны обладать работоспособностью не менее 320 см³, IV класса — не менее 265 см³, V класса — не менее 1,03, а VI — не менее 0,80 от работоспособности угленита Э-6, принятого за эталон [4].

Рассмотрим результаты испытаний аммонита 6ЖВ и аммонита ПЖВ-20 в бомбе Долгова в свинцовых блоках по методу МакНИИ, приведенные в таблице 2 [2].

Таблица 2. Количество ядовитых газов в продуктах взрыва

ВВ	Количество ядовитых газов, л/кг		
	СО	NO	СО + 6,5NO
Аммонит 6ЖВ	29,2	5,5	65,0
ПЖВ-20	29,6	2,4	45,2

Из таблицы 2 видно, что с увеличением содержания соли NaCl в составе ВВ количество токсичной окиси углерода очень незначительно увеличилось, а количество ядовитых окислов азота уменьшилось в 2,3 раза, суммарный объем ядовитых газов также уменьшился в 1,4 раза.

Для уменьшения количества токсичных газов в результате взрывчатого превращения стараются подбирать соотношение компонентов взрывчатой смеси так, чтобы кислородный баланс был нулевым или очень близким к нулевому. Также применяют различные методы нейтрализации (орошение забоев перед взрывом водой или щелочью), улучшают качество ВВ (например, сейчас разработаны экологически относительно чистые эмульсионные ВВ) [2].

Увеличение содержания поваренной соли в составе ВВ приводит к возрастанию предохранительных свойств. В опытном штреке были испытаны три смеси ПЖВ-10, ПЖВ-20, ПЖВ-30. Смеси патронировались в бумажные гильзы диаметром 44 мм, вес заряда при испытании по газу — 600 г, по пыли — 700 г. Испытание по пыли проводилось без забойки, а по газу — с глиняной забойкой толщиной 10 мм. Результаты испытаний приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты испытаний в опытном штреке

Смесь	Частота воспламенения		Примечание
	газа	пыли	
ПЖВ-10	1/10	2/2	В числителе — число воспламенений, в знаменателе — число опытов
ПЖВ-20	0/10	0/10	
ПЖВ-30	0/10	0/10	

Из таблицы 2 видно, что испытания по газу и пыли выдерживают составы с содержанием поваренной соли 20% и выше. Состав с 10% соли испытаний не выдерживает. То есть, чем больше инертных добавок содержит ВВ, тем больше может быть заряд, не вызывающий воспламенения [6]. Смесь ПЖВ-20 была дополнительно испытана по газу в канале mortarы стандартно без забойки. Результаты приведены в таблице 4. Однако получая высокопредохранительные ВВ за счет увеличения поваренной соли в составе, мы можем не получить ожидаемой практической эффективности, т.е. происходит понижение взрывного эффекта и ухудшение детонационной способности.

Таблица 4. Результаты испытания аммонита ПЖВ-20 в опытном штреке без забойки

Смесь	Диаметр патрона, мм	Частота воспламенения при заряде	
		600 г	550 г
ПЖВ-20	44	1/10	0/10

Вернемся к рисункам 1 и 2. Резкое снижение теплоты взрыва (с 4316 кДж/кг до 1676 кДж/кг, т. е. в 2,5 раза) и скорости детонации (с 4300 м/с до 2431 м/с, почти в 2 раза) в результате повышения содержания в составе инертной соли NaCl, в отличие от снижения объема газообразных продуктов взрыва, является нежелательным. Такая картина может привести к тому, что реакция взрывчатого превращения пройдет не до конца. В свою очередь это вызовет снижение практической эффективности взрыва ВВ. Также будет иметь место выделение в продуктах взрыва ВВ повышенного количества ядовитых газов, в том числе окиси углерода — продукта разложения тротила, и окислов азота, которые образуются за счет неполного разложения азотосодержащих компонентов ВВ (например, азот содержит селитра). Может произойти затухание детонации в шпуре вследствие переуплотнения ВВ в патронах, идущей по ним ударной волной за счет канального эффекта, а эти ВВ более чувствительны к переуплотнению.

Таким образом, встает задача оптимизации свойств предохранительных ВВ: либо достижение максимального уровня предохранительности при заданном уровне практической эффективности, либо достижение максимально возможного уровня практической эффективности ВВ при необходимом уровне предохранительных свойств [7].

Ранее инертные соли вводились в состав ВВ только в качестве средства, которое понижает температуру продуктов взрыва. После опубликования результатов исследований, в которых было обнаружено каталитическое действие многих минеральных солей и окислов металлов, вводимых в состав ВВ, использование ингибирующего действия солей-пламегасителей стало целенаправленным.

Управление эффектом ингибирования значительно упрощает задачу создания предохранительных ВВ. Степень предохранительности ВВ без изменения энергетических характеристик можно увеличивать за счет повышения ингибирующего действия солей-пламегасителей, не увеличивая их количество в составе ВВ. Уменьшая содержание солей, но компенсируя это повышением их ингибирующего действия, можно увеличить энергию ВВ при заданном уровне предохранительных свойств ВВ [3].

Для повышения предохранительных свойств ВВ без ухудшения их детонационной способности иногда заряды ВВ помещают в специальные оболочки из пламегасителей или повышают степень измельчения компонентов, включая и инертную соль. Для улучшения детонационной способности ВВ, ослабленных введением в их состав инертных солей, их сенсibiliзируют добавками жидких нитроэфиров [2].

Существует ряд принципов построения предохранительных ВВ: снижение теплоты взрыва до заданных пределов; ингибирование газовой смеси; применение в качестве окислителя аммиачной селитры; создание взрывчатой системы, которая обеспечит образование пламегасителя в процессе взрыва; принцип селективной детонации, обеспечивающий саморегулирование взрывчатой системы [4].

Вывод: увеличение инертных добавок (NaCl) в составе ВВ до 60% резко снижает взрывчатые характеристики (теплоту взрыва, скорость детонации и

объем газообразных продуктов взрыва) исследуемых ВВ. Увеличивая содержание инертных добавок можно получить составы, которые будут представлять собой смесь инертных веществ с небольшим количеством сенсibilизатора. Такие составы будут иметь наивысшую степень безопасности, но обеспечение надежной детонации этих составов — трудная задача. Рекомендуется использовать предохранительные ВВ с содержанием в составе соли NaCl от 20 до 30%. При таком содержании соли в составе теплота взрыва (ПЖВ-20 — 3352 кДж/кг, ПЖВ-30 — 2933 кДж/кг) и скорость детонации (ПЖВ-20 — 3950 м/с, ПЖВ-30 — 3850 м/с) являются достаточными для обеспечения наиболее полного взрывчатого превращения и практической эффективности. Такие ВВ выдерживают испытания в опытном штреке.

Полученные в работе результаты исследований могут быть в дальнейшем использованы при разработке новых высокопредохранительных и экологически чистых ВВ.

Литература

- 1 **Сургай А.Н., Манжос Ю.В.** Обеспечение безопасности взрывных работ в угольных шахтах // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах / Сб. научных трудов МакНИИ. — Макеевка-Донбасс, 2000. — 295 с.
- 2 **Светлов Б.Я., Яременко Н.Е.** Теория и свойства промышленных взрывчатых веществ. — М.: Недра, 1973. — 320 с.
- 3 **Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Романов А.И.** Промышленные взрывчатые вещества. — М.: Недра, 1973. — 320 с.
- 4 **Шевцов М.Р., Таранов П.Я., Левит В.В., Гудзь О.Г.** / Під заг.ред. М.Р. Шевцова Руйнування гірських порід вибухом: Підручник для вузів. — 4-е видання перероб. і доп. — Донецьк: ТОВ «Лебідь», 2003. — 272 с.
- 5 **Матвейчук В.В., Чурсалов В.П.** Взрывные работы: Учебное пособие. — М.: Академический Проект, 2002. — 384 с. — (Серия «Gaudeamus»).
- 6 **Кукиб Б. Н., Росси Б.Д.** Высокопредохранительные взрывчатые вещества. — М.: Недра, 1980. — 176 с.
- 7 **Вайнштейн Б.И.** Оптимизация свойств предохранительных ВВ // Безопасность взрывных работ, улучшение проветривания в угольных шахтах / Сб. научных трудов МакНИИ. — Макеевка-Донбасс, 1983. — 89 с.

О Подоваленко Ю.В., Манжос Ю.В., Галиакберова Ф.Н., 2007

УДК 662.215

Бида Н.Ю., Галиакберова Ф.Н., Манжос Ю.В. (ДонНТУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ВОДНОГЕЛЕВЫХ ВВ

В статье представлены некоторые этапы исследования предохранительного водонаполненного взрывчатого вещества марки Гелекс, которое относится к IV классу, применяемому для подрывания в шахтах, опасных по газу и пыли.

Угольные шахты, опасные по газу и пыли, еще недостаточно обеспечены разнообразными по взрывчатым и антигризутным свойствам предохранительными взрывчатыми веществами (ПВВ). Это значительно снижает безопасность, эффективность и экономичность взрывных работ. Необходимы высококачественные ПВВ, различные по энергетическим характеристикам и предохранительным свойствам, с устойчивой и надежной