

технологические схемы добычи, транспортировки, складирования и т.д. Анимационные модели, которые можно рассмотреть с любой точки, в любом масштабе дают для понимания студента больше информации, к тому же в естественном визуальном представлении. Немаловажным фактором является и то, что просмотр моделей осуществляется с помощью бесплатных VRML-клиентов, которые можно найти в Internet (<http://www.parallelgraphics.com>).

Язык VRML развивается, хочется надеяться, что следующие версии языка будут обладать более развитыми средствами управления объектами и появится стереоскопический VRML-клиент, который сделает виртуальные миры по-настоящему объемными. Уже сейчас есть примеры построения стереоскопического изображения высокого качества по паре снимков (<http://www.vinnitsa.com/geo>), технически персональные компьютеры это уже позволяют, осталось реализовать эти возможности для просмотра VRML-миров.

Библиографический список

1. Шоломицкий А.А. Автоматизированное рабочее место маркшейдера на открытых разработках // Современные пути развития маркшейдерско-геодезических работ на базе передового отечественного и зарубежного опыта: Сб.трудов, 2-я Всеукраинская научно-техническая конференция, 13–15 мая 1998г. — Днепропетровск. — С. 176–178.
2. Крыловский И.Л., Душен Г.В., Каймин М.Ю. Опыт внедрения зарубежного и создания отечественного программного обеспечения для горной промышленности // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации, 1997. — №4(11) — С. 32–33.
3. Шоломицкий А.А. Принципы цифрового моделирования открытых горных работ // Труды ДонГТУ, Выпуск 11, — Донецк, 2000. — С.77–85.
4. Шоломицкий А.А. Моделирование пространственных объектов на открытых горных работах. // Известия Донецкого горного института. — Донецк: ДонГТУ, 2000. — № 1, С. 44–49.
5. Эд Тител, Клэр Сандерс и др. Создание VRML-миров. — К.: BHV, 1997. — 320 с.

© Шоломицкий А.А., Дзеканюк А.О., 2001

УДК 622.235

ШЕВЦОВ Н.Р. (ДонГТУ)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ВОСПЛАМЕНЕНИЙ МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ВЗРЫВОМ ЗАРЯДА ВВ

Существенным отличием характера протекания химического взрыва (взрыв ВВ, метановоздушной и пылевоздушной смесей) от горения жидкостей и твердых тел является то, что продукты взрыва распространяются вдоль канала (шпура, выработки) и на определенном расстоянии от места взрыва сохраняют высокую температуру.

Минимальная протяженность (толщина) пламегасящей среды (оболочки, забойки, предохранительной завесы и др.), через которую расширяющиеся продукты взрыва не способны воспламенить размещенную за ней взрывчатую газопылевоздушную смесь, называется критической дальностью разлета высокотемпературных продуктов взрыва (L_k). Она зависит при прочих равных условиях от тепловой мощности взрыва (Q_1) и от теплофизических свойств пламегасящей среды, которые характеризуются относительным показателем (η) (безразмерная величина). Последний зависит от удельного теплопоглощения взрывоподавляющих веществ (λ), их насыпной плотности (ρ_3) и фактической концентрации в пламегасящей среде (C).

В то же время вопросы о степени влияния этих параметров на взрывозащитную эффективность забойки шпуров, особенно для установления количественных соотношений, изучены недостаточно.

Для решения этой проблемы были обобщены экспериментальные исследования, проведенные МакНИИ (большинство выполнено с участием и под руководством автора) по обеспечению безопасности производства взрывных работ в опасных условиях угольных шахт.

Первая серия экспериментов относится к установлению минимальной длины забойки (l_3), при которой взрыв шпурового заряда ВВ не воспламеняет метановоздушную смесь. Эксперименты проводились в канале стальной mortarы диаметром 55 мм и длиной 900 мм, сообщающегося со взрывной камерой опытного штрека, заполненной взрывчатой метановоздушной смесью. В свободной от заряда ВВ части канала размещался на полное его сечение (впритык к заряду) забоечный материал: известные порошковые составы, увлажненная до 18% песчано-глинистая смесь в соотношении 1:3, а также флюорит и песок. В результате проведения серии экспериментов по методу артиллерийской пристрелки устанавливалась минимальная длина забойки l_3 , при которой не воспламенялась взрывчатая метановоздушная смесь. Процесс воспламенения регистрировался по выходу пламени из штрека, а также по показанию фотодиода, размещенного в стенке взрывной камеры на расстоянии 3,7 м от днища. В качестве ВВ использовался аммонит 6ЖВ массой 0,5 кг, диаметром заряда ($d_{зар}$), равным 32 мм, и длиной заряда ($l_{зар}$), равной 0,57 м (тепловая мощность такого заряда составляла $1,44 \cdot 10^{10}$ Дж/с) или заряд массой 0,6 кг и диаметром 36 мм ($l_{зар}=0,55$ м, $Q_t=2,36 \cdot 10^{10}$ Дж/с). Применялось обратное инициирование.

Условия проведения экспериментов и полученные результаты сведены в табл. 1.

Табл. 1. Безопасная длина забойки, размещенной впритык к заряду ВВ

Характеристика материалов забойки				$m_{зар}$, кг	l_3 , мм
Наименование	ρ_3 , кг/м ³	λ , кДж/кг	H		
Огнетушащий порошок ПФ	700	1020	2019	0,5	50
Состав сыпучей забойки ВМК-1	1050	2040	8566	0,6	50
Песчано-глинистая смесь	1810	965	4804	0,5	50
Огнетушащий порошок ПСБ-3	1020	1420	4738	0,5	70
Флюорит	1180	634	1668	0,5	250
Песок	1620	643	2339	0,5	330

Вторая серия экспериментов принципиально отличалась от первой тем, что забойка располагалась у устья канала mortarы, длина которого составляла в этих опытах 1050 мм. Результаты взрывания сведены в табл.2.

Табл. 2. Безопасная длина забойки, размещенной у устья канала mortarы

Тип и параметры ВВ	Вид инициирования	l_3 , мм
Аммонит Т-19 ($l_{зар}=0,52$ м, $d_{зар}=36$ мм, $Q_t=1,66 \cdot 10^{10}$ Дж/с)	Прямое	10
То же	Обратное	20
Аммонит АП-5ЖВ ($l_{зар}=0,52$ м, $d_{зар}=36$ мм, $Q_t=1,70 \cdot 10^{10}$ Дж/с)	Прямое	10
То же	Обратное	30
Аммонит 6 ЖВ ($l_{зар}=0,46$ м, $d_{зар}=32$ мм, $Q_t=1,44 \cdot 10^{10}$ Дж/с)	Прямое	20
То же, но $l_{зар}=0,23$ м	Обратное	20

Следует заметить, что при взрывании без забойки в канале mortarы длиной 1050 мм и диаметром 55 мм величина предельного заряда диаметром, равным 36 мм, т.е. минимального заряда, который при взрыве не воспламеняет метановоздушную

смесь, оказалась равной при прямом инициировании: для аммонита 6ЖВ 186,5 г, а для аммонита Т-19 — 215,3 г (длина свободного пространства в канале mortarы равнялась 0,875 и 0,854 м соответственно).

Воспламеняющая агрессивность взрыва открытых зарядов ВВ (третья серия экспериментов) была проверена при взрывании в метановоздушной смеси свободно подвешенных цилиндрических зарядов (патронов) ВВ в оболочке из жидких, гелеобразных (на основе гидрокарбоната натрия) и порошковых материалов с различными теплофизическими свойствами. При проведении экспериментов заряд ВВ окружался равномерным слоем исследуемого материала заданной толщины. Это достигалось размещением заряда ВВ в эластичном сосуде, изготовленном из полиэтиленовой пленки толщиной 100 ± 20 мм (в случае водяной оболочки применялись картонные центрирующие кольца). Снаряженное таким образом устройство подвешивалось в центре взрывной камеры опытного штрека, в которой создавалась стехиометрическая метановоздушная смесь объемом 10 м^3 .

В результате проведения серии экспериментальных взрываний по принципу артиллерийской пристрелки установлена минимальная (критическая) толщина пламегасящей оболочки, при которой исключается воспламенение метановоздушной смеси. Результаты экспериментов сведены в табл.3.

Взрывозащитная эффективность веществ характеризуется двумя интегральными показателями, а именно: флегматизирующей (ингибирующей) концентрацией (C_{ϕ}) и удельным теплопоглощением (λ).

Флегматизирующая концентрация — это минимальное содержание инертного разбавителя в метановоздушной смеси, при котором оба концентрационных предела воспламенения метана смыкаются, т.е. тройная смесь становится невзрывчатой. Значения этих параметров, установленных в опытном штреке при взрывном способе их распыления по известным методикам [1, 2], определены более чем для 60 простых (однокомпонентных) веществ, опытных и серийных составов.

Ряд флегматизирующей эффективности рекомендованных к применению в угольных шахтах и в пожаротушении веществ, их аналогов, а также наиболее эффективных опытных составов (в порядке убывания эффективности) выглядит следующим образом (в скобках даны значения флегматизирующей концентрации в г/м^3): взрывоподавляющий порошок КСВ-3 (13,5) > взрывоподавляющий порошок ПХВ-1Н (17,8) > огнетушащий порошок «Пирант» (19,8) > взрывоподавляющий порошок ПСБ-ТМ (19,8) > флюорит (26,9) > хлорид калия удобрительный (35,2) > хлорид натрия тонкодисперсный (36,2) > сыпучий состав ВМК-1 (55,0) > хлорид калия (68,0) > доменный шлак (83,0) > водный раствор смачивателя ДБ (125,0) > огнетушащий порошок П-1А (142,0) > огнетушащий порошок ПСБ-2 (144,0) > гидрокарбонат калия (150,0) > гидрофосфат аммония (150,0) > огнетушащий порошок ПСБ-3 (159,0) > алюмоаммонийные квасцы (222,0) > сульфат натрия безводный (290,0) > карбамид гранулированный (319,0) > вода (360,0) > зола-унос (481,0) > хлорид натрия грубодисперсный (550,0) инертная пыль (788,0).

Ряд теплофизической эффективности этих же веществ (в порядке убывания эффективности), построенный по величине удельного теплопоглощения, выглядит следующим образом (в скобках даны значения удельного теплопоглощения в кДж/кг): водный раствор смачивателя ДБ (2730) > карбамид (2510) > алюмоаммонийные квасцы (2480) > вода (2307) > ВМК-1 (2040) > ПСБ-ТМ (2012) > КСВ-30 (2012) > «Пирант» (1622) > гидрокарбонат натрия (1580) > ПСБ-2 (1560) > ПСБ-3 (1420) > гидрофосфат аммония (1020) > П-1А (930) > инертная пыль (795) сульфат натрия безводный (730) > хлорид натрия (697) > флюорит (651) > хлорид калия (620) > доменный шлак (600).

Таб. 3. Толщина предохранительной оболочки вокруг заряда ВВ

Материал предохранительной оболочки	Параметры заряда ВВ						$\delta_{\text{с}}$, мм
	тип ВВ	$d_{\text{зар}}$, мм	$m_{\text{зар}}$, кг	$\rho_{\text{зар}}$, М	D, м/с	$Q_i \cdot 10^{-3}$, Дж/с	
1	2	3	4	5	6	7	8
Вода ($\eta=9811$)	Аммонит Т-19	36	0,3	0,25	4050	166,0	7
То же	То же	70	0,9	0,34	4270	658,0	15
-//-	Аммонит 6ЖВ	32	0,2	0,24	4000	144,0	5
-//-	То же	36	0,3	0,27	4200	236,0	8
-//-	-//-	54	0,9	0,30	4580	498,0	15
-//-	Детонит 10А	36	0,3	0,27	4540	260,0	11
-//-	То же	70	0,9	0,20	5640	1276,1	22
-//-	Тротил литой	45	0,3	0,12	6960	901,7	12
-//-	То же	54	0,4	0,12	6970	1128,7	18
Гель ($\eta=8794$)	Аммонит Т-19	36	0,3	0,25	4050	166,0	8
То же	То же	45	0,5	0,20	4120	265,0	10
-//-	-//-	54	0,9	0,35	4270	376,0	12
-//-	Аммонит 6ЖВ	32	0,2	0,24	4000	144,0	6
-//-	То же	36	0,3	0,27	4200	236,0	8
-//-	-//-	45	0,4	0,23	4400	346,0	10
-//-	-//-	45	0,5	0,26	4400	346,0	10
-//-	-//-	54	0,6	0,23	4580	498,0	12
Огнетушащий порошок ПСБ-3 ($\eta=4738$)	-//-	32	0,2	0,24	4000	144,0	11
Грубодисперсный хлорид натрия ($\eta=1449$)	Аммонит 6ЖВ	45	0,6	0,33	4400	346,0	28
То же	То же	54	0,9	0,36	4580	498,0	30
-//-	Аммонит 6ЖВ с проложенной вдоль заряда нитью ДШ	54	0,9	0,36	6500	700,7	35
Состав ВМК-1 ($\eta=8566$)	Аммонит 6ЖВ	36	0,3	0,27	4200	236,0	10
Песок ($\eta=2339$)	Аммонит ПЖВ-20	70	0,9	0,20	4300	658,0	40
Воздушно-механическая пена ($\eta=46,3$)	То же	36	0,3	0,25	3650	143,8	100
То же	-//-	45	0,6	0,31	3800	342,4	150
-//-	Аммонит 6ЖВ	32	0,2	0,24	4000	144,0	200
-//-	-//-	54	0,6	0,23	4580	498,0	400
-//-	Детонит 10А	32	0,2	0,21	4400	213,1	250
-//-	То же	46	0,4	0,22	4750	434,0	450
Воздух ($\eta=1,0$)	Аммонит ПЖВ-20	32	0,2	0,21	3650	91,9	450
То же	То же	36	0,3	0,25	3650	143,8	600
-//-	-//-	66	0,9	0,23	3650	658,0	1000
-//-	Аммонит 6 ЖВ	32	0,2	0,24	4000	144	700
-//-	То же	46	0,4	0,22	4000	346	900
-//-	-//-	56	0,6	0,23	4580	498	1100
-//-	Детонит 10А	32	0,2	0,21	4400	213	800
-//-	То же	46	0,4	0,22	4750	434,1	1000
-//-	-//-	64	0,8	0,22	4750	884,2	1250

Испытания показали, что наибольшим удельным теплопоглощением обладают водные растворы смачивателя ДБ и хлорида калия (попытка многих разработчиков хотя бы достичь этого с помощью порошковых композиций пока не увенчалась успехом). Однако испытания показали, что даже при диспергировании жидкости взрывом на ее флегматизирующую эффективность в значительной степени влияют не только условия распыления, но и поверхностное натяжение.

Так, например, если для чистой воды флегматизирующая концентрация равна $0,36 \text{ кг/м}^3$, то для раствора ПАВ «Прогресс» — $0,15 \text{ кг/м}^3$, а смачивателя ДБ — $0,12 \text{ кг/м}^3$. Это означает, что взрывозащитные свойства воды являются весьма неустойчивыми и поэтому на практике средства на ее основе могут отказать.

В этом плане существенным преимуществом перед жидкостями обладают порошковые составы — им можно задать в принципе любую исходную дисперсность в зависимости от необходимого уровня флегматизирующей эффективности и в случае необходимости управлять этим уровнем. Кроме того, порошковые составы, могут

обладать высокой ингибирующей способностью, а, следовательно, предотвращать воспламенение химическим путем.

Проведенные испытания позволили дать всестороннюю оценку уровня взрывозащитной эффективности фреону 114В2. При определении флегматизирующей концентрации воспламенение получено при 0,12 и 0,20 г/м³ и взрыв не был локализован при распылении навесок 8,6 и 17,2 кг. Полученные данные позволяют утверждать, что фреон 114В2 обладает самой низкой среди испытанных веществ пламегасящей эффективностью и сравнительно невысокой флегматизирующей способностью. В то же время вследствие низкой температуры кипения (320,5 К) фреон является весьма интенсивным генератором пара. Это важное свойство позволяет создать равномерную взрывопредотвращающую концентрацию флегматизатора в защищаемом объеме практически при любом способе распыления. Этим объясняется его достаточно эффективное применение для подавления взрывов в замкнутых аппаратах с помощью устройств с сетчатой насадкой. Однако установлено, что в результате взаимодействия с продуктами взрыва эта прозрачная жидкость превращалась в темно-коричневую, которая покрывала всю внутреннюю поверхность штрека, и бурое облако с резким удушающим запахом, в котором, как показали замеры, произведенные силами штаба гражданской обороны, содержится фосген. Аналогичный результат получен и при испытании стеарата марганца (C₃₆H₇₀O₄Mn): при распылении 1,86 кг пламя вышло из штрека, образовался желтый дым со стойким удушливым запахом.

В процессе испытаний модельного состава ПВХ-5с (на основе хлористого аммония), а также ПВС-А (на основе сернистого аммония) в опытном штреке после производства взрывания наблюдалась резь в глазах, резкий запах аммиака, который в случае применения ПВС-А не исчезал даже на следующий день после взрывания (в штрек невозможно было заходить).

Испытания установили двойственное влияние порошковых веществ на их флегматизирующую способность: для простых составов типа хлорида натрия с уменьшением размера частиц (увеличением поверхности), как и следовало ожидать согласно классическим представлениям, флегматизирующая концентрация резко уменьшалась, однако в случае легкоразлагающихся составов, — с уменьшением дисперсности флегматизирующая концентрация возрастала на основе гидрокарбоната натрия и гидрофосфата аммония — наоборот, что объясняется более низкими ингибирующими свойствами продуктов их пиролиза.

Поэтому наиболее эффективными составами для взрывозащиты горных выработок являются такие, флегматизирующая эффективность которых после взаимодействия с фронтом пламени, по крайней мере, не ухудшается. В противном случае чрезмерное измельчение порошка может оказаться вредным, как и грубое измельчение.

Приведенные экспериментальные данные могут быть использованы для разработки основ теории безопасной длины забойки шпуров, а также для решения целого ряда практических задач по взрывозащите горных выработок.

Библиографический список

1. Александров В.Е., Шевцов Н.Р., Вайнштейн Б.И. Безопасность взрывных работ в угольных шахтах. — М.: Недра, 1986. — 150 с.
2. Умнов А.Е., Голик А.С., Палеев Д.Ю., Шевцов Н.Р. Предупреждение и локализация взрывов в подземных условиях. — М.: Недра, 1990. — 286 с.