

среды и образования трещин. К ним относятся набухание, усадка, выдавливание грунтовой массы, пластичные изменения формы под действием собственного веса. В горных породах — пучение, сдвигание, пережимы пластов, выдавливание [5]. За критерий деформации первого периода следует принять равенство нормальных ( $gH\gamma_r \cdot \cos 45^\circ$ ) и касательных ( $gH\gamma_r \cdot \sin 45^\circ$ ) деформаций при действии соответственно одинаковых напряжений и соблюдении следующего условия:  $gH\gamma_r \cdot \sin 45^\circ = gH\gamma_r \cdot \cos 45^\circ = gH\gamma_r \cdot 0,707$ .

Энергетически этот процесс можно представить как равенство деформирования и восстановления микрообъемов аморфной среды или разрыва и восстановления ВС между молекулами воды.

Второй период разрушения проявляется в образовании скрытых и видимых трещин в грунтопородомассиве, развивающихся с нарастающей скоростью до образования оползней с плоскостью сдвига, выпора, сплывов в глинистых грунтах, вывалов и выбросов в горных породах. Энергетически второй период разрушения характеризуется компенсированием накопленной потенциальной свободной энергии, проявляющимся при снятии внешней нагрузки в результате пройденной выработки.

Для практических целей предупреждение развития процессов второго периода за начало принимается первый период, связанный с упруго-пластическими деформациями, которые служат критерием начала разрушения.

Таким образом, прочность и разрушение грунтов и пород основаны на физико-химико-механических процессах через потенциалы давления энергетических барьеров водородных связей между молекулами воды, которые устанавливаются в соответствии с величинами внешних нагрузок и совокупности явлений по закону Паскаля, следствием из этого закона, активацией молекул воды при кавитации, вызванной схлопыванием пузырьков в воде.

### **Библиографический список**

1. Вернадский В.И. История природных вод. — Л.: Госхимиздат, 1933, вып. 1.
2. Ультразвуковая технология / Под ред. Аграната Б.А. — М.: Металлургия, 1974. — 504 с.
3. Артеменко Т.К. Применение термодинамики влаги и газов в углях, породах, соли к их выбросам в шахтах // Науковий вісник НГА України, 1999. — №6. — С. 8–10.
4. Бычков С.А., Артеменко Т.К. Новое о природе оползней, пучении, выбросах в глинистых грунтах и горных породах // Будівельні конструкції. Вип. 54. — Київ: НДІБК, 2001. — С. 132–135.

*© Артеменко Т.К., Бычков С.А., Мартыненко С.В., 2005*

УДК 622.235+662.24+536.46

Канд. техн. наук КАЛЯКИН С.А. (МакНИИ), докт. техн. наук ШЕВЦОВ Н.Р. (ДонНТУ)

### **О СПОНТАННОМ ПЕРЕХОДЕ ИНГИБИТОРА РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ МЕТАНА В СОСТАВЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО ВВ В ИНЕРТНОЕ СОСТОЯНИЕ**

В угольных шахтах, опасных по газу или пыли, взрывные работы связаны с повышенной опасностью, которая обусловлена высокой вероятностью образования взрывчатой атмосферы в призабойном участке горных выработок. Поэтому к применению в этих условиях допущены только предохранительные ВВ, которые отличаются от предохранительных более низкой способностью воспламенять взрывчатые

метано- и пылевоздушные смеси (МВС и ПВС). Количественной оценкой уровня предохранительности служит максимальная масса заряда ВВ, которая не воспламеняет МВС (ПВС) в заданных условиях взрывания при испытании [1].

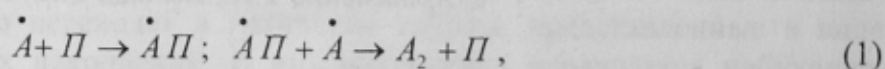
Изучение процесса воспламенения МВС от детонирующего заряда ВВ имеет важное научное и практическое значение.

Анализ последних исследований в этом направлении показал, что взрывание зарядов ВВ в канале мортиры без забойки гораздо менее опасно, чем взрывание аналогичных зарядов ВВ и МВС в открытом виде. Авторы данной работы рассматривают это различие в уровне предохранительных свойств ВВ как результат аномального поведения ингибитора, который в одном случае влияет на цепную реакцию окисления метана кислородом, а в другом — переход в инертное состояние [2]. Во второй из названной ситуации на поверхности кристалла соли ингибитора, введенной непосредственно в состав ВВ, или находящейся вокруг заряда ВВ в виде предохранительной оболочки вокруг патрона, или в виде забойки в шпуре (канале), реакция рекомбинации радикалов отсутствует.

Целью данной работы является изучение условий, обуславливающих спонтанный переход кристалла ингибитора при взрыве ВВ в инертное состояние.

Согласно накопленному опыту и знаниям в этом вопросе считается, что воспламенение метановоздушных смесей происходит по цепному механизму. Установлено, что наиболее эффективными ингибиторами воспламенения МВС являются соли галоидов щелочных металлов, которые способны или блокировать активные промежуточные продукты (активные центры), возникающие при цепной реакции окисления, или превратить их в конечные продукты ( $H_2O$ ,  $CO_2$  и др.), или связать их в менее активные продукты ( $CH_2O$  и др.), не способные продолжать цепь окисления. Эти химические процессы происходят на поверхности кристалла соли ингибитора. В связи с этим считается, что наиболее эффективным направлением создания предохранительных ВВ, предохранительной оболочки, окружающей ВВ в патронах, забойки шпуров является применение для этих целей ингибиторов окисления метана кислородом воздуха. При этом предполагается, что в результате детонации ВВ ингибитор увлекается продуктами детонации и попадает в МВС, в которой начинает взаимодействовать с активными центрами.

В общем виде механизм гетерогенного ингибирования реакции окисления кристаллическими солями ингибиторов можно представить в виде следующей схемы:



где  $\dot{A}$  — активный центр (атом или радикал), участвующий в химическом процессе;  $A_2$  — конечный продукт реакции, не способный продолжить цепь окисления;  $П$  — твердая поверхность кристалла соли.

Экспериментально установлено, что при испытании предохранительных ВВ, содержащих в своем составе ингибитор реакции окисления метана, ВВ в окружении предохранительных оболочек и забойки из кристаллических порошкообразных ингибиторов, размещаемой в сводной от заряда части шпура, в МВС, созданной во взрывной камере опытного штрека, имеется ряд особенностей, которые трудно объяснить из этих общепризнанных позиций применения ингибиторов для предотвращения взрывов МВС [3]. Эти особенности сводятся к следующему. Например, ВВ с уровнем предохранительных свойств, который обеспечивает ему невозпламенение МВС при испытании путем взрывания в канале стальной мортиры без забойки, ока-

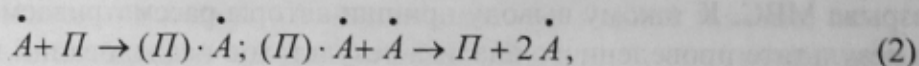
зывается опасным по отношению к воспламенению взрывчатой МВС и не удовлетворяет требованиям безопасности при испытании путем взрывания открытым зарядом в угловой мортире. Следующее отличие в уровне безопасности ВВ получено при испытании во взрывоопасной среде ВВ в окружении предохранительной оболочкой. Оказалось, что объем предохранительной оболочки, состоящей из порошкообразного ингибитора, вокруг патрона ВВ, которая обеспечивает предотвращение воспламенения МВС, превышает необходимый объем забойки из того же материала, расположенный в канале стальной мортиры и предотвращающий воспламенение МВС при взрывании в ней того же заряда ВВ. В этом случае отличие заключается в том, что одно и то же ВВ с одинаковым объемом ингибитора в оболочке вокруг патрона и в виде забойки в канале мортиры при взрывании в МВС имеет неодинаковый уровень безопасности по отношению к ней [4].

Таким образом, установлена закономерность, которая указывала на то, что взрывание зарядов из ВВ, содержащих в своем составе ингибитор или при наличии предохранительных оболочек из этого ингибитора вокруг патронов ВВ в открытом виде или в угловой мортире гораздо более опасно по отношению к МВС, чем взрывание аналогичных зарядов в канале мортиры в тех же условиях. Различия в уровне предохранительности зарядов ВВ можно объяснить только тем, что в одном случае ингибитор тормозит реакцию окисления метана, тогда как в другом случае торможения не происходит и ингибитор не проявляет рекомбинационной способности по отношению к радикалам, участвующим в реакции цепного воспламенения и взрыва МВС. К такому выводу пришли авторы рассматриваемого в статье открытия в результате проведенного анализа результатов исследований влияния теплофизических величин солей на теплообмен с продуктом взрыва с ингибитором, который в процессе исследования находился в составах ВВ, в предохранительной оболочке или в забойке. Оказалось, что доля поглощения тепла ингибитором у продуктов взрыва в процессе теплообмена за время его контакта с ними мала, так же как и мало время запираания продуктов взрыва ВВ предохранительной оболочкой или забойкой. Поэтому определяющим фактором обеспечения безопасности взрывания ВВ во взрывчатой МВС является величина концентрации ингибитора в продуктах взрыва ВВ, зависящая от содержания солей ингибитора в составе ВВ, массы предохранительной оболочки вокруг заряда, безопасной длины забойки. Чем выше концентрация ингибитора в продуктах взрыва, тем ВВ имеет более высокий уровень предохранительности по отношению к МВС [5]. Однако эта тенденция справедлива только для зарядов ВВ, взрываемых в канале стальной мортиры. При взрывании открытых зарядов или зарядов, расположенных в угловой мортире, влияние концентрации ингибитора в продуктах взрыва на безопасность взрывания ВВ в МВС резко падает. В этих условиях главным фактором, определяющим уровень предохранительности ВВ в МВС являлась его скорость детонации [6].

Весьма интересными оказались исследования по изучению электромагнитного излучения, возникающего при детонации ВВ. Оказалось, что при взрыве ВВ возникает электромагнитное излучение, которое может быть принято при помощи антенны, расположенной на некотором расстоянии от заряда [7]. В результате исследований было установлено, что в случае ввода в состав ВВ (индивидуальных или смесевых аммиачно-селитренных) ингибиторов резко (в 5...10 раз) возрастает амплитуда сигнала электромагнитного излучения и его продолжительность. При этом этот эффект сохраняется даже в том случае, когда ингибитор окружает заряд в виде предохранительной оболочки. Вместе с тем при помещении такого заряда ВВ в канал мортиры характер электромагнитного излучения изменяется. Амплитуда сигнала и

его продолжительность резко уменьшаются по мере «заглубления» заряда ВВ в канале mortarы. Таким образом, было установлено, что характер сигнала электромагнитного излучения связан с ингибитором, контактирующим с ВВ, а также со степенью заглубления заряда ВВ в канале mortarы или со временем, когда продукты взрыва подойдут к устью mortarы и этот сигнал можно будет фиксировать (стальная mortarа экранирует сигнал).

Поэтому появилась гипотеза, которая связывала изменение характера электромагнитного излучения продуктов взрыва, содержащих ингибитор, с феноменологическими отличиями в уровне предохранительных свойств зарядов ВВ, взрывааемых в МВС. Суть ее сводилась к следующему. Под действием мощной детонационной волны, распространяющейся по ВВ, кристалл ингибитора подвергает сильному с ее стороны воздействию. В результате чего нарушается структурная константа кристалла соли и падает результирующая энергия электростатического взаимодействия на поверхности соли между радикалами и ионами кристаллической решетки кристалла. Наличие электромагнитного излучения указывает на нестабильное состояние кристалла ингибитора и резкое снижение энергии электростатического притяжения ионов как на поверхности так и в самом кристалле, что приводит к разделению их и электронов и возникновению диполя. В результате этого радикалы не могут быть адсорбированы поверхностью кристалла и, следовательно, исчезает реакция их рекомбинации по механизму Или-Ридила и Лэнгмюра-Хиншельвуда. В этом случае схема процесса (1) протекает следующим образом:



т.е. радикалы отражаются от поверхности кристалла без химического превращения, и рекомбинация радикалов отсутствует. Поэтому скорость химической цепной реакции в МВС вследствие попадания радикалов из продуктов взрыва резко возрастает, что приводит к ее воспламенению и неприемлемому уровню предохранительности ВВ.

Таким образом, экспериментально установлено ранее неизвестное явление перехода кристаллического ингибитора, способного тормозить реакцию окисления метана кислородом воздуха путем рекомбинации радикалов на поверхности кристалла соли, в состояние, при котором он спонтанно становится неспособным на рекомбинацию радикалов на поверхности кристалла (дезрекомбинационный эффект) вследствие процесса взаимодействия кристалла соли ингибитора и сильной детонационной (ударной) волны, с возобновлением утраченной способности рекомбинировать радикалы через время релаксации, необходимого для восстановления структуры кристаллической решетки соли.

Анализ скоростей истечения продуктов взрыва из канала mortarы показал, что интервал времени, необходимый для восстановления ингибирующей способности соли ингибитора, должен составлять 0,4...0,5 мс.

Научное значение этого открытия заключается в том, что оно существенно изменяет сложившиеся представления о механизме воспламенения МВС детонирующим зарядом ВВ. Благодаря данному открытию находят логическое объяснение многие экспериментальные факты изменения уровня предохранительности ВВ в зависимости от условий взрывания и конструкции зарядов ВВ.

Открытие позволяет создать новую, более совершенную теорию предохранительных свойств ВВ, что в свою очередь представляет возможность определить новые, нетрадиционные пути построения ВВ для угольных шахт. Кроме того, практическое

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 — производство»*. — 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 развет-