

Безопасные параметры сотрясательного взрывания при проведении горных выработок.

В угольных шахтах опасных по газу метану или разрабатывающих пласты, опасные по взрывам угольной пыли и особенно по внезапным выбросам угля, породы и газа, взрывные работы связаны с повышенной опасностью, которая обусловлена высокой природной газоносностью пластов, наличием взрывоопасной атмосферы в забоях горных выработок и способностью применяемых предохранительных ВВ (ПВВ) в определенных условиях воспламенять метановоздушную смесь (МВС) и (или) пылевоздушную смесь (ПВС). Поэтому в этих условиях проводят взрывные работы с дополнительными мероприятиями, которые повышают их безопасность и обеспечивают защиту людей от последствий взрыва МВС, ПВС или внезапного выброса угля, породы, газа. В результате осуществления такого комплекса мер взрывные работы проводятся в режиме сотрясательного взрывания. Для обеспечения безопасности этого вида взрывания на протяжении последних нескольких десятков лет МакНИИ были разработаны специальные рекомендации и параметры взрывных работ для шахт, разрабатывающих пласты склонные к внезапным выбросам угля, породы и газа [1].

Вместе с тем результаты анализа имеющихся сведений об авариях (взрывы МВС, пожары) показывают следующее. За период с 1993 по 2002гг. в угольных шахтах Украины произошло 9 аварий при сотрясательном взрывании, которые привели в 7-ми случаях к воспламенению и взрыву МВС, а в 2-х случаях к загоранию угля с переходом в рудничные пожары.

Во всех этих аварийных случаях для сотрясательного взрывания использовали ВВ IV класса аммоний Т-19, который допущен действующими нормативными документами для этого вида взрывания. В то же время этот аммонит обладает свойствами воспламенять метан с высокой вероятностью вследствие взрывного воздействия на МВС детонирующего или выгорающего заряда. Результаты расследований аварий позволили установить, что в 7 случаях источником воспламенения МВС явились выгорающие заряды аммонита Т-19 и только в 2-х случаях – детонирующие заряды этого ВВ. Оказалось, что в целом состояние техники безопасности и охраны труда при сотрясательном взрывании несколько не лучше, чем при взрывных работах в обычном режиме их проведения. Так, за последние 20 лет при взрывных работах произошло 35 аварий с тяжелыми последствиями из которых 23 аварии (67,5%) произошли при применении ПВВ IV класса, в том числе 30,4% из них в выработках, проводимых по выбросоопасным пластам при сотрясательном взрывании. Известно, что основную роль в обеспечении безопасности взрывных работ, в том числе и при сотрясательном взрывании играют применяемые взрывчатые вещества, обладающие соответствующими предохранительными свойствами, детонационной способностью и устойчивостью против выгорания. Значения этих показателей у

ПВВ IV класса совершенно не достаточны для предотвращения воспламенения метана от зарядов аммонита Т-19 при сотрясательном взрывании. Здесь прослеживается некоторое противоречие, поскольку, считается, что помимо применения специальных ПВВ безопасность взрывных работ должна обеспечиваться соблюдением пыле-газового режима, применением забойки, безопасных средств инициирования, отключением электроэнергии в выработке, созданием инертной среды в забоях при взрывных работах с помощью водяных или порошковых завес. Однако, возникновение аварийной ситуации в забое горной выработки не предсказуемо и предусмотреть ход развития ситуации при взрывных работах не всегда представляется возможным.

Проведенными исследованиями в настоящей работе показано, что основными факторами, определяющими безопасность взрывных работ при сотрясательном взрывании являются наличие взрывоопасной концентрации метана в МВС и источника воспламенения, способного привести ее к взрыву.

Для применения в угольных шахтах опасных по газу и угольной пыли допущены только предохранительные ВВ, которые отличаются от других типов ВВ, более низкой способностью воспламенять взрывчатые МВС и ПВС. Воспламеняющая способность характеризуется предохранительными свойствами, количественной оценкой которых является максимальная масса заряда ВВ, предотвращающая в заданных условиях его взрывания воспламенение метана или угольной пыли. Ввиду сложности оценки и многообразия факторов, определяющих безопасность взрывания заряда ВВ во взрывчатых МВС и ПВС величину данного заряда определяют практически, т.е. путем испытания в специальных опытных штреках. Испытания ПВВ в опытных штреках имеет длительную мировую предысторию и базируется на практическом опыте применения ПВВ в угольных шахтах который, требовал решение проблемы в связи с недостаточной безопасностью работ и необходимостью оценки их влияния на них, уровня предохранительных свойств ВВ. Суть состоит в том, что из-за отсутствия постоянства условий ведения взрывных работ наличие нарушений, носящих технический характер, а зачастую возникновение непредвиденных обстоятельств горно-геологического или организационного характера которые приводили к тому, что точно оценить эти условия и прогнозировать возникновение аварийных ситуаций при взрывных работах невозможно. Этот факт зачастую делал неопределенными предохранительные свойства ВВ. Поэтому предлагаемые для угольной промышленности ПВВ стали испытывать в опытных штреках во взрывчатых МВС и ПВС. Данные испытания позволили решить два принципиальных вопроса, которые необходимы для определения уровня предохранительных свойств ПВВ. Первый из них – создать наиболее взрывоопасные МВС и ПВС и контролировать их взрывчатость в процессе испытаний ПВВ. Второй – воспроизвести наиболее опасные условия взрывания в которых могут быть воспламенения метана при взрывных работах в шахтах. К настоящему периоду времени во всем мире приняты следующие наиболее опасные условия взрывания:

- 1) взрывание заряда ПВВ в шпуре без забойки, квалифицируемое как торцевое обнажение заряда и в опытном штреке, моделируется взры-

ванием заряда в канале стальной мортиры без забойки при прямом и обратном инициировании;

- 2) взрывание заряда ПВВ в шпуре, пересеченном трещиной, проходящей по боковой поверхности шпура, либо взрывание заряда ВВ в шпуре, боковая поверхность которого открыта и контактирует с взрывчатой МВС или ПВС. Данные опасные ситуации квалифицируются как боковое обнажение заряда и моделируются взрыванием в уголкового мортире с отражательной стенкой, расположенной от заряда на расстоянии 0,2-0,6м;
- 3) взрывание открытого заряда ПВВ моделирует условия взрывание когда заряд ВВ находится вне шпура (выброшен или расположен в полиэтиленовом мешке водяной завесы).

В результате данных испытаний удалось определить максимальную (предельную) массу заряда ПВВ, при которой в заданных условиях взрывания отсутствуют воспламенения взрывчатых МВС и ПВС. Отсюда исходя из понятия о предельном заряде и характеристики им предохранительных свойств ПВВ, можно перейти к безопасным зарядам этих ВВ, взрывааемых в шпурах при взрывных работах в реальных условиях угольных шахт, опасных по газу и угольной пыли. Воспламенений МВС и ПВС можно избежать при сотрясательном взрывании, если будет выполняться условие при котором масса шпурового заряда ВВ - $m_{ш}$ будет меньше или равна его массе предельного заряда - $M_{пр}$, определяющего уровень предохранительных свойств ПВВ в опытном штреке:

$$\frac{m_{ш}}{M_{пр}} \leq 1 \quad (1)$$

Для реализации условия безопасности в виде критерия (1) необходимо знать распределение массы ВВ в шпурах при проведении сотрясательного взрывания. С этой целью для анализа были отобраны паспорта БВР используемые при проведении сотрясательного взрывания на шахтах Донбасса. Оценка величины массы шпурового заряд аммонита Т-19 проводилась по данным паспортов БВР опробованных в угольных забоях (18 паспортов БВР), смешанных забоях (20 паспортов БВР), чисто породных забоях (12 паспортов БВР). Результаты анализа позволяют утверждать: если известно выборочное распределение оценки, то для оцениваемого параметра можно определить интервал значений, в котором с определенной вероятностью находится истинное значение параметра. Построение доверительного интервала для среднего значения (\bar{x}) основано на использовании t-статистики [2], выборочное распределение которой является t-распределение Стюдента с числом степеней свободы $\nu = n-1$. Тогда доверительный интервал, в который с вероятностью $P=0,95$ попадает истинное значение - $m_{ш}$ равен:

$$P \left\{ \bar{x}_{m_{ш}} - t_{\nu}(0,975) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} < m_{ш} < \bar{x}_{m_{ш}} + t_{\nu}(0,975) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \right\} = 0,95 \quad (2)$$

В соответствии с выражением (2) рассчитаны параметры паспортов БВР, которые используются в Донбассе для проведения сотрясательного взрывания. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Полученные результаты позволяют определить массу ВВ шпурового заряда соответствующую верхней границе доверительного интервала, т.е. максимальную массу, которая может быть использована при взрывных работах при сотрясательном взрывании. Для аммонита Т-19 она равна в угольном забое – 0,671кг, в смешанном забое – 0,841кг, в чисто породном – 0,942кг. Масса предельного заряда при взрывании в мортуре без забойки в опытном штреке МакНИИ для аммонита Т-19 составляет около 0,2кг. Таким образом, масса шпурового заряда превышает аналогичную величину предельного заряда в 3,3 ... 4,7 раза. Следовательно, можно утверждать, что критерий безопасности (1) при сотрясательном взрывании не выполняется. Иначе обстоит дело если определить величины шпуровых зарядов при применении ПВВ V и VI классов. В работе [3] определены коэффициенты позволяющие рассчитать заряды ПВВ V и VI класса равной работоспособности по отношению к зарядам ПВВ IV класса. В результате величина массы шпурового заряда равной работоспособности заряду ПВВ IV класса для ПВВ V класса будет равна:

$$m_{ш}^V = 1,25m_{ш}^{IV} ,$$

а для ПВВ VI класса:

$$m_{ш}^{VI} = 1,56m_{ш}^{IV} .$$

Таблица 1

Результаты расчетов параметров паспортов БВР для сотрясательного взрывания и доверительные интервалы для каждого показателя.

| № | Параметры паспорта БВР | Значения параметров в зависимости от типа забоя | | |
|---|--|---|--------------|----------------|
| | | Угольный | Смешанный | Чисто породный |
| 1 | Кол-во шпуров на м ² выработки в черне, шт/м ² | 2,081±0,366 | 3,092±0,57 | 3,352±0,742 |
| 2 | Величина заряда ВВ на шпур, кг/шп | 0,615±0,0562 | 0,754±0,0869 | 0,901±0,041 |
| 3 | Средняя длина шпура, м | 2,013±0,212 | 1,778±0,108 | 1,908±0,113 |
| 4 | Масса ВВ на 1м шпура, кг/м | 0,296±0,033 | 0,420±0,035 | 0,475±0,027 |
| 5 | Удельный расход ВВ, кг/м ³ | 0,712±0,162 | 1,469±0,259 | 1,809±0,419 |
| 6 | Коэффициент использования шпура, К.И.Ш. | 0,889±0,052 | 0,871±0,042 | 0,877±0,044 |

Тогда для паспортов БВР, параметры которых приведены в табл. 1 величина массы ВВ на шпур для ПВВ V класса составит для угольного забоя – 0,839кг, смешанного – 1,05кг, чисто породного – 1,177кг. Соответственно для ПВВ VI класса величина массы шпуровых зарядов составляет для угольного забоя – 1,05кг, смешанного – 1,312кг, чисто породного – 1,47кг забоев. Для сопоставимых условий взрывания этих ПВВ в опытном штреке (прямое инициирование зарядов в мортуре без забойки) предельные заряды составляют для ПВВ V класса – 1,2 кг, для ПВВ VI класса – 1,6 кг. Если сравнить указанные массы

предельных зарядов ПВВ V и VI классов с массами их шпуровых зарядов, то оказывается, что условие безопасности взрывания ПВВ во взрывчатых МВС и ПВС соблюдается, и критерий (1) выполняется.

Вместе с тем существует реальная опасность бокового обнажения шпурового заряда. Эта опасность заложена в самом способе короткозамедленного взрывания и является его специфической особенностью. Способ короткозамедленного взрывания предусматривает неодновременность взрывания шпуровых зарядов и создает условия для воздействия ранее взорвавшегося заряда на шпуровые заряды последующих ступеней замедления. В результате, взрывание приводит к частичному обнажению шпуровых зарядов последующих ступеней замедления. До настоящего времени возникали трудности в оценке величины обнажений шпурового заряда, что приводило к тому, что в разных странах оценка этих величин была различной, и соответственно отличались требования к уровню предохранительных свойств ВВ. В данной работе, основываясь на сведениях о действии взрыва в горной среде и элементах расчета зарядов при взрывных работах [4] получены расчетные формулы для оценки величины бокового обнажения шпурового заряда при короткозамедленном взрывании:

$$1) \text{ радиус сферы выброса} - R_{\text{сф}} = l_{\text{ш}} \sqrt{\frac{l_{\text{ш}} + 1}{l_{\text{ш}}}},$$

$$2) \text{ радиус воронки выброса} - r = \sqrt{R_{\text{сф}}^2 - l_{\text{ш}}^2},$$

3) связь между параметрами шпуров с расстоянием между ними:

$$\frac{l_{\text{ш}}}{r} = \frac{l_{\text{срез}}}{(r - a_{\text{ш}})},$$

где - $l_{\text{срез}}$ – длина срезанной части шпура;

$a_{\text{ш}}$ – расстояние между соседними шпурами.

Величина $a_{\text{ш}}$ не может быть менее некоторой величины, которая оговорена «Едиными правилами безопасности при взрывных работах» и регламентируется ими в зависимости от крепости горных пород, а так же от того, где производится взрывание в угле или породе. Для угольного и породного забоя при значениях $a_{\text{ш}}$, оговоренных ЕПБ при ВР сделан расчет возможных обнажений шпурового заряда ПВВ IV, V и VI класса. За основу взяты параметры паспортов БВР из табл. 1, а результаты приведены в табл. 2

Результаты расчетов показывают, что заряды ПВВ IV, V и VI класса при определенных условиях ведения взрывных работ могут быть частично обнажены по боковой поверхности. Так при расстоянии между шпурами 0,3м и величинами зарядов ПВВ IV, V и VI классов равными верхней доверительной границе массы шпурового заряда при сотрясательном взрывании возможны обнажения для ПВВ IV класса до 0,282м, V класса – 0,325м, VI класса – 0,511м. Поскольку исследования, связанные с определением влияния величины обнажения заряда ПВВ на его способность воспламенять МВС и ПВС в опытном штреке достаточно широко используются во всем мире при испытании ПВВ, с целью их допуска в угольные шахты. В Украине были проведены аналогичные исследования по методике и на оборудовании опытного штрека, описанного в работе

[5]. При этом был использован способ обратного инициирования заряда ПВВ (патрон-боевик располагался в канальной мортире), а остальная часть заряда, согласно [5] располагалась (обнаженная) в уголковогой мортире (взрывание в комбинированной мортире). Результаты этих опытов по определению способности зарядов ПВВ IV, V и VI классов при их обнажении воспламенять метан приведены в табл. 3.

Таблица 2
Расчет возможных обнажений шпуровых зарядов для ПВВ IV, V, VI классов

| Класс ПВВ | Тип забоя | Плотность ВВ, кг/м ³ | Расстояние между шпурами, м | Длина шпура, м | Длина срезывания шпура, м | Длина "стакана" шпура, м | Масса шпурового заряда, кг | Длина заряда, м | Длина обнажения, м |
|-------------------|-------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------|--------------------|
| IV (аммонит Т-19) | угольный породный | 1050 | 0,6 | 2,0 | 1,0 | 1,0 | 0,671 | 0,628 | нет |
| | | 1050 | 0,3 | 2,0 | 1,4 | 0,6 | 0,942 | 0,882 | 0,282 |
| V (углениит 13П) | угольный породный | 1250 | 0,5 | 2,0 | 1,13 | 0,87 | 0,839 | 0,66 | нет |
| | | 1250 | 0,3 | 2,0 | 1,4 | 0,6 | 1,177 | 0,925 | 0,325 |
| VI (углениит 10П) | угольный породный | 1300 | 0,4 | 2,0 | 1,26 | 0,74 | 1,05 | 0,794 | 0,054 |
| | | 1300 | 0,3 | 2,0 | 1,4 | 1,4 | 1,47 | 1,11 | 0,511 |

Таблица 3
Результаты исследования частоты воспламенения МВС частично обнаженным зарядом ПВВ IV, V и VI классов в комбинированной мортире.

| № | Наименование и марка ПВВ | Класс ПВВ | Масса заряда, кг | Длина заряда, м | Длина обнаженного заряда, м·10 ⁻² | Способ инициирования | Результаты опытов (числитель – кол-во воспламенений, знаменатель – кол-во опытов) |
|-----|--------------------------|-----------|------------------|-----------------|--|----------------------|---|
| 1. | Аммонит Т-19 | IV | 0,3 | 0,26 | 0 | прямой | 4/20 |
| 2. | Аммонит Т-19 | IV | 0,3 | 0,26 | 0 | обратный | 5/5 |
| 3. | Аммонит Т-19 | IV | 0,3 | 0,26 | 9,0 | обратный | 9/10 |
| 4. | Углениит 13П | V | 1,0 | 0,8 | 16,0 | обратный | 0/1 |
| 5. | Углениит 13П | V | 1,0 | 0,8 | 24,0 | обратный | 4/13 |
| 6. | Углениит 13П | V | 0,8 | 0,64 | 32,0 | обратный | 0/2 |
| 7. | Углениит 13П | V | 0,8 | 0,64 | 40,0 | обратный | 4/10 |
| 8. | Углениит 13П/1 | V | 1,0 | 0,8 | 32,0 | обратный | 2/3 |
| 9. | Углениит 13П/1 | V | 1,0 | 0,8 | 40,0 | обратный | 3/3 |
| 10. | Углениит 10П | VI | 1,0 | 0,8 | 48,0 | обратный | 0/11 |
| 11. | Углениит 10П | VI | 1,0 | 0,8 | 56,0 | обратный | 1/10 |

Результаты опытов показали следующее. Аммонит Т-19 зарядом массой 0,3кг воспламеняет МВС практически со 100% вероятностью при обратном инициировании и с вероятностью 20% при прямом инициировании, при нали-

чии обнажений заряда вероятность воспламенения метана также остается высокой. Иначе обстоит дело при испытаниях высокопредохранительных ПВВ V и VI класса. Углиниты 13П и 13П/1 воспламеняют МВС только в том случае когда длина обнаженной части заряда достигает величины 0,24м и имеют практически 100% вероятность воспламенения при длине 0,4м. Углинит 10П не воспламеняет МВС при длине обнаженной части заряда 0,48м и имеет всего одно воспламенение при длине равной 0,56м. Посмотрим как полученные результаты согласуются с результатами расчетов приведенных в табл. 2. Относительно ПВВ IV класса можно сказать однозначно, что аммонит Т-19 не удовлетворяет требованиям безопасности при всех известных условиях взрывания в опытном штреке. ПВВ V класса углениты 13П и 13П/1 могут представлять опасность в отношении воспламенения МВС только в том случае, если величина обнажений шпурового заряда достигнет длины 0,24 м. Расчеты в табл. 2 показывают, что существует вероятность образования обнажений заряда длиной 0,32 м. Поэтому необходимо ограничить массу шпурового заряда ПВВ V класса во вспомогательных отбойных и оконтуривающих шпурах величиной равной 1,0кг. В этом случае величина обнажения заряда будет менее 0,2 м, что практически безопасно для взрывания ПВВ V класса во взрывчатой МВС. Абсолютную безопасность взрывания при обнажениях шпуровых зарядов показал VI класса ПВВ. Обнаженные заряды угленита 10П не воспламеняют МВС вплоть до длины равной 0,56м, что более чем расчетная длина обнажения шпурового заряда согласно табл. 2. Поэтому применение шпурового заряда 10П при сотрясательном взрывании безопасно для зарядов массой 1,5кг.

Достижение высокого уровня предохранительных свойств у зарядов V и VI классов еще полностью не гарантирует, что данные заряды во взрывчатой атмосфере угольных шахт при взрывных работах будут безопасными. Дело в том, что воспламенение МВС может быть вызвано выгорающим зарядом ПВВ. Основная опасность выгорания ПВВ заключается в том, что процесс горения заряда очень длительный (до нескольких десятков минут), а процесс взрыва чрезвычайно быстрый (несколько микросекунд). Поэтому за время горения заряда в забое горной выработки может образовываться взрывоопасная концентрация метана, кроме того, может загореться отбитый взрывом уголь.

Принимая во внимание изменение газовой обстановки в забое горной выработки (достижение взрывоопасных концентраций метана и необходимого для его воспламенения времени индукции) и массы горящего ПВВ в зависимости от скорости его горения, удалось оценить опасность выгорающего заряда. Критерий опасности его применения имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{\tau}{t_{\Gamma}} \leq 1; & \frac{l_{кр}}{l_{вг}} \leq 1, \end{cases} \quad (3)$$

т.е. время горения заряда ПВВ - t_{Γ} должно быть больше или равно τ - времени образования взрывоопасной концентрации МВС с учетом времени индукции, а величина сгоревшей части заряда ПВВ - $l_{вг}$ должна быть больше или равна некоторой критической величины $l_{кр}$, определяемой скоростью горения, време-

нем образования взрывоопасной МВС, её составом и временем индукции необходимым для воспламенения.

Анализируя критерий (3) можно сделать вывод о том, что метод Одибера-Дельмаса (Германия, Бельгия) [6] позволяет оценить безопасность применения ПВВ в отношении его устойчивости против выгорания. Этим методом определяется, какая часть заряда ПВВ выгорает, т.е. можно определить величину $l_{\text{вг}}$. Если величина $l_{\text{вг}} < l_{\text{кр}}$, то ПВВ обладает достаточной устойчивостью против выгорания, обеспечивающей его безопасное применение. Величину $l_{\text{кр}}$ можно определить, проанализировав опыт применения в шахтах отечественных и зарубежных ПВВ, для которых имеются данные по устойчивости против выгорания, определяемой по методу Одибера-Дельмаса. Оказалось, что у ПВВ которые достоверно давали выгорание зарядов в шахте, горение по заряду при испытании методом Одибера-Дельмаса распространялось на величину 4,0см и более. А ПВВ у которых горение по заряду распространялось на величину менее 4,0см, оказались устойчивыми против выгорания и в шахтах выгораний не давали. Для обоснования достоверности этой величины был рассмотрен процесс выгорания заряда ПВВ в шпуре. При этом было принято во внимание, что выгорание заряда ПВВ происходит только тогда, когда продукты горения выбрасывают из шпура забойку и могут беспрепятственно воздействовать на взрывчатую МВС. В результате было получено аналитическое уравнение позволяющее определить необходимую массу выгоревшего в шпуре ПВВ для того, чтобы произошло его выгорание:

$$m_{\text{ВВ}} = \frac{(P_{\text{н}} - P_{\text{п}}) \cdot S_{\text{ш}} \cdot l_{\text{заб}}}{\left[1 - \left(\frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{н}}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \cdot \eta \cdot Q_{\text{V}_2}}, \quad (4)$$

- где $P_{\text{н}}$ – начальное давление в шпуре, при котором происходит поджигание;
 $P_{\text{п}}$ – давление продуктов горения на момент выброса забойки из шпура, определяет устойчивость горения заряда ПВВ или его поджигаемость;
 $S_{\text{ш}}$ – сечение шпура;
 $l_{\text{заб}}$ – длина забойки;
 Q_{V_2} – удельная теплота горения ПВВ;
 η – коэффициент учитывающий тепловые потери;
 k – показатель адиабаты продуктов горения.

Используя большой экспериментальный материал полученный Л.В. Дубновым, А.И. Романовым, Ф.М. Галаджием и В.Н. Бондаренко при изучении склонности к выгоранию аммонита ПЖВ-20 можно по уравнению (4) определить массу выгорающего заряда из этого ВВ. Она оказалась примерно равной 0,05 кг или в пересчете на длину патрона диаметром 36 мм и плотностью 1,02 г/см³ длина сгоревшей части патрона ВВ будет равна 4,7 см. Таким образом, значение обеих величин - $l_{\text{кр}}$ достаточно близкое, хотя они были получены совершенно разными способами. Таким образом, было установлено значение

критической длины при выгорании $l_{кр} = 4,0$ см. Поскольку в настоящее время в Украине стандартной методикой определения устойчивости ПВВ против выгорания является метод поджигаемости ПВВ [7], то был сделан корреляционный анализ зависимости относительного показателя устойчивости против выгорания $l_0 = l_{кр}/l_{вг}$ от величины навески, характеризующей поджигаемость ПВВ - Π_{50} .

В результате было получено эмпирическое уравнение позволяющее определить значение поджигаемости ПВВ Π_{50} от величины относительного показателя его устойчивости против выгорания - l_0 :

$$\Pi_{50} = 1,065l_0^{0,42} \quad (5)$$

Анализ уравнения (5) позволил установить, что если ПВВ имеют значение показателя поджигаемости $\Pi_{50} \geq 1,2$ г, то их заряды являются устойчивыми против выгорания при взрывных работах. Поэтому выгорание этих зарядов исключается и предотвращается воспламенение МВС от выгорающего заряда. В табл. 5 приведены значения поджигаемости ПВВ и их устойчивости против выгорания.

Таблица 5

Результаты расчетов показателей поджигаемости ПВВ
и их устойчивости против выгорания

| Название ВВ | Страна в которой применяется ПВВ | Метод Одибера-Дельмаса | | Метод поджигаемости | | Устойчивость против выгорания ПВВ в шахтах |
|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------|------------------------|--|
| | | l_0 - эксперимент. | l_0 - расчетное | Π_{50} - эксперимент. | Π_{50} - расчетное | |
| Шарбрит 4/50 | Бельгия Голландия | 1,45 | - | - | 1,24 | $l_0 > 1$; $\Pi_{50} > 1,2$ |
| Кемпоксит | Бельгия | 2,67 | - | - | 1,61 | $l_0 > 1$; $\Pi_{50} > 1,2$ |
| Веттерэнергит В Веттеркарбонит Ц | Германия | >4,0 | - | - | >1,91 | $l_0 > 1$; $\Pi_{50} > 1,2$ |
| Осравит Ц | Чехия | - | 6,9 | 2,4 | - | $l_0 > 1$; $\Pi_{50} > 1,2$ |
| Угленит 12ЦБ | СССР | 0,53 | - | 0,74 | - | $l_0 < 1$; $\Pi_{50} < 1,2$ |
| Угленит Э-6 | СССР | 0,25 | - | 0,79 | - | $l_0 < 1$; $\Pi_{50} < 1,2$ |
| Аммонит Т-19 | Украина | <0,25 | - | 0,71 | - | $l_0 < 1$; $\Pi_{50} < 1,2$ |
| Аммонит Ф-5 | Украина | - | 2,33 | 1,52 | - | $l_0 > 1$; $\Pi_{50} > 1,2$ |
| Угленит 13П | Украина | 2,0 | 2,08 | 1,45 | - | $l_0 > 1$; $\Pi_{50} > 1,2$ |
| Угленит 13П/1 | Украина | - | 5,04 | 2,1 | - | $l_0 > 1$; $\Pi_{50} > 1,2$ |
| Угленит 10П | Украина | - | 3,13 | 1,72 | - | $l_0 > 1$; $\Pi_{50} > 1,2$ |

В результате расчетов видно, что ПВВ: углениты Э-6, 12ЦБ и аммонит Т-19 не являются устойчивыми против выгорания и уступают по этому показателю лучшим зарубежным ПВВ. Напротив аммонит Ф-5, углениты 13П, 13П/1, 10П являются устойчивыми против выгорания и по этому показателю не уступают, а по сравнению с некоторыми образцами превосходят зарубежные ПВВ.

Таким образом, выполненная работа, результаты которой приведены в настоящей статье наглядно показывает как необходимо предотвращать воспламенения метана от зарядов ВВ при сотрясательном взрывании. Для этого необходимо, чтобы предельный заряд, характеризующий уровень предохранительных свойств ПВВ в опытном штреке был больше или равен массе шпурового

заряда ВВ, применяемого в шахтах. Устойчивость против выгорания шпуровых зарядов обеспечивается низкой поджигаемостью ПВВ.

Выводы:

- 1) применение аммонита Т-19 для сотрясательного взрыва недопустимо по причине низкого уровня предохранительных свойств и устойчивости против выгорания;
- 2) аммонит Ф-5 имеет высокую устойчивость против выгорания шпуровых зарядов, однако невысокий уровень предохранительных свойств. Поэтому необходимо совершенствование этого ВВ с целью повышения предохранительных свойств, в противном случае он тоже может быть опасен во взрывчатых МВС;
- 3) ПВВ V и VI класса могут всецело заменить при сотрясательном взрывании аммониты IV класса. При этом необходимо использовать обратное инициирование шпуровых зарядов этих ВВ;
- 4) уровень предохранительных свойств ПВВ V и VI класса обеспечивается высоким значением их предельных зарядов в опытном штреке;
- 5) устойчивость против выгорания обеспечена высокой детонационной способностью ПВВ V и VI класса, а так же их низкой поджигаемостью;
- 6) для значительного повышения безопасности сотрясательного взрывания необходимо, вместо аммонита Т-19, применение ПВВ V и VI классов (углениты 13П, 13П/1, 10П) в комплексе с указанными научно обоснованными параметрами БВР.

Литература

1. Сборник нормативных документов по взрывным работам в угольных шахтах. – Макеевка-Донбасс: МакНИИ. – 2000. – 240с.
2. Плескунин В.И., Воронина Е.Д. Теоретические основы организации и анализа выборочных данных в эксперименте. – Л.: ЛГУ, 1979. – 230с.
3. Песоцкий М.К., Калякин С.А., Песоцкий М.М., Грицюк И.С. Влияние фугасности взрывчатых веществ на эффективность и безопасность взрывных работ в угольных шахтах // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах / Сб. науч. тр. МакНИИ. - Макеевка-Донбасс: МакНИИ. – 2002. – с .
4. Ларес Г. Уточненная формула расчета зарядов при горных взрывных работах. – М-Л-Н.: ОНТИ, 1934. –51с.
5. Песоцкий М.К., Толстых К.М., Бутуков А.Ю., Белодед А.В. К вопросу о безопасности взрывных работ в условиях возможного обнажения шпуровых зарядов ВВ // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах / Сб. науч. тр. МакНИИ. - Макеевка-Донбасс: МакНИИ. – 2000. – С 66-73.
6. Старокожев В.Ф. Обзор зарубежных предохранительных ВВ // Повышение эффективности и безопасности взрывных работ: Сб. “Взрывное дело”, №84/41. М.: - Недра. – 1982. – С. 147-156.

7. Зенин В.И., Казачков В.С. Метод определения устойчивости предохранительных ВВ против выгорания // Повышение эффективности и безопасности взрывных работ: Сб. "Взрывное дело", №84/41. М.: - Недра. – 1982. – С. 97-103.