

Калякин С.А., к.т.н., доц., доцент

Донецкий национальный технический университет

83000, г. Донецк, ул. Артема, д. 58

E-mail: [yglenit@gmail.com](mailto:yglenit@gmail.com)

В работе приведены результаты исследований по определению параметров взрывозащиты в горной выработке при производстве взрывных работ. Установлены концентрации солей-ингибиторов в предохранительной среде, предотвращающие взрыв метана.

Ключевые слова: взрывозащита, предохранительная среда, соль-ингибитор, метано-воздушная смесь, ингибиторная среда.

**Вступление.** При взрывных работах в угольных шахтах, опасных по газу и взрывам угольной пыли, разрешено применение только специальных предохранительных взрывчатых веществ (ПВВ). Они имеют необходимую устойчивость к выгоранию и не воспламеняют при взрыве в опытном штреке пылевоздушную или метано-воздушную смесь (МВС). Однако при производстве взрывных работ в горных выработках возникают опасные ситуации, при которых ПВВ могут воспламенять взрывоопасную среду, например, в трещинах массива и в выработанном пространстве.

**Анализ предыдущих исследований** показал, что при взрывных работах для предотвращения взрывов метана или угольной пыли необходимо создание предохранительной среды в забое и взрывозащиты в горной выработке [1,2]. Это значит, что при взрывных работах необходимо создание надежной взрывозащиты, которая предопределяется профессионализмом людей и уровнем качества выполнения работ («человеческий фактор»). Однако в забое часто имеют место технические нарушения при производстве забойки шпуров, установке водораспылительных завес и расположении средств предотвращения взрыва газа в выработке. Таким образом, надежная взрывозащита может быть создана только применяемыми ПВВ, заряды которых при взрыве формируют газодинамический поток ингибитора и продуктов взрыва, подавляющий воспламенение МВС и угольной пыли.

**Целью работы является** исследование параметров двухфазной ингибиторной среды, образованной при взрыве заряда ПВВ для предотвращения воспламенения горючих газов, и определение концентрации соли-ингибитора в забое выработки, обеспечивающей взрывозащиту при короткозамедленном взрывании шпуровых зарядов.

**Материал и результаты исследований.** Анализ причин аварий при взрывных работах в угольных шахтах показал, что основными источниками воспламенения МВС являются детонирующие и выгорающие заряды ПВВ. Это связано с тем, что шпуровые заряды ПВВ могут выгорать, а в случае их обнажения по боковой поверхности – контактировать с взрывоопасной газовой средой. Создание устойчивых к выгоранию ПВВ [3] делает невозможной дефлаграцию их шпуровых зарядов и, следовательно, не приводит к воспламенению МВС. Неконтролируемое обнажение шпуровых зарядов

происходит при взрыве смежных шпуров или в результате пересечения шпуров трещинами природного характера или образовавшимися в забое выработки. Исследования Песоцкого М.К. [4] показали, что в забоях выработок образуются трещины, пересекающие шпур до начала взрывных работ. Особенно часто они возникают при подрывке боковых пород и в нарушенных клеважом угольных пластах. Ширина трещин – от 0,5 до 30 мм, их длина до открытой поверхности забоя – от 0,2 до 1,8 м. Они заполнены МВС, концентрация метана в смеси – 2,5 % и выше. Таким образом, исследования [4,5] показали, что шпуровые заряды ПВВ контактируют боковой поверхностью заряда с взрывоопасной средой, находящейся в трещинах. При взрывании ПВВ IV класса (ПЖВ-20) МВС воспламеняется в трещине шириной около 2,5 мм, при взрывании ПВВ V класса (угленит Э-6) – шириной более 14 мм. При этом пламя горения МВС распространяется по трещине на расстояние 1,4...2,5 м, в зависимости от её ширины. Следовательно, при короткозамедленном взрывании шпуровых зарядов ПВВ МВС может воспламениться в трещинах массива, а пламя может распространяться по трещинам на большие расстояния в выработанное пространство и забой выработки.

Пространственно-временные характеристики распространения пламени горения МВС в трещинах не известны. Поэтому выход горящего потока МВС из трещины в выработанное пространство или забой выработки не предсказуем. В настоящее время для борьбы с подобным явлением при производстве взрывных работ предложено создавать в забое выработки предохранительную среду, которая создает взрывозащиту в случае выхода пламени в полость выработки. Предохранительная среда в выработке создается до начала взрывных работ за 15...25 мс до взрыва шпурового заряда и формируется на участке 2...4 м перед забоем. При взрывании шпуровых зарядов предохранительная среда оттесняется от разрушаемого массива продуктами взрыва ПВВ и потоком горной массы. За время разрушения газоносного горного массива (300...400 мс) предохранительная среда удаляется на 20...35 м от забоя и её параметры становятся не достаточными для предотвращения взрыва МВС в случае её горения в трещинах массива. Учитывая это, было предложено использовать ПВВ для создания предохранительной среды в забое

выработки и предотвращения воспламенения МВС в трещинах горного массива при производстве взрывных работ [6]. Установили, что это возможно, но только зарядами тех ПБВ, у которых масса предельного открытого заряда не меньше массы заряда, создающего в газовой среде ингибиторную двухфазную систему, предотвращающую взрыв МВС.

Для определения параметров предохранительной среды, создаваемой взрывом заряда ПБВ, и оценки надежности взрывозащиты при взрывных работах были проведены исследования в опытном штреке МакНИИ. В качестве источников воспламенения МВС использовались открытые заряды ПБВ IV...VI классов и объем МВС диаметром около 1,3 м, детонация в котором инициировалась взрывом двух электровоспламенителей от стандартного электродетонатора ЭДКЗ-ОПМ. Для взрывозащиты создавали предохранительную среду во взрывной камере опытном штреке взрыванием открытых зарядов ПБВ V и VI классов – угленитов 13П и 10П. Заряды ПБВ, создающие предохранительную среду, взрывали в первую очередь, а как источники воспламенения – во вторую, через промежуток времени, равный времени замедления стандартных электродетонаторов короткозамедленного действия. Воспламенение МВС фиксировали визуально. В качестве параметров, характеризующих взрывозащиту, были приняты концентрация ингибитора в опытном штреке, интервал времени между взрывами зарядов –  $\Delta t$  и мощность источника воспламенения МВС. Число молей ингибитора в продуктах взрыва ПБВ определяли по уравнению реакции взрывного разложения угленитов 13П и 10П. В продуктах взрыва угленита 13П содержатся соли-ингибиторы ( $\frac{\ddot{y}\ddot{u}\ddot{u}}{\hat{e}\hat{a}}$ ): 4,365

NaCl, 0,154 CaCl<sub>2</sub>, 0,359 CaO, их удельное содержание – 0,293 кг/кг. Для угленита 10П – 5,7533 NaCl, 0,06735 CaCl<sub>2</sub>, 0,4406 CaO, удельное содержание 0,3687. Мощность зарядов ВВ как источников воспламенения МВС определяли по формулам:

– для заряда из МВС

$$N_D = 0.785d_{MBC}^2 \cdot \rho_{MBC} \cdot D_{MBC}^3 \cdot \frac{D_{жс}}{c},$$

– для заряда из ПБВ

$$N_D = 0.30249m_{BB}^{0.666} \cdot \rho_{BB}^{0.333} \cdot D_{BB}^3 \cdot \frac{D_{жс}}{c},$$

где  $d_{i\ddot{A}\ddot{N}}$  – диаметр заряда МВС;  $\rho_{i\ddot{A}\ddot{N}}$ ,  $\rho_{B\ddot{A}}$  – плотности МВС и ВВ;  $\ddot{A}_{i\ddot{A}\ddot{N}}$ ,  $\ddot{A}_{B\ddot{A}}$  – скорости детонации МВС и ВВ;  $m_{\ddot{A}\ddot{A}}$  – масса заряда ВВ.

Результаты исследований по созданию предохранительной среды в опытном штреке взрывами зарядов ПБВ приведены в табл. 1. Полученные результаты были подвергнуты корреляционному анализу для выявления парного взаимодействия ряда факторов, влияющих на параметры взрывозащиты. Было установлено, что основной фактор – это концентрация ингибитора в опытном штреке ( $C_\phi$ ), которая зависит от мощности

источника воспламенения МВС и интервала времени между взрывами зарядов, один из которых создает предохранительную среду, а второй является источником воспламенения МВС:

$$C_\phi = C_{H\phi} \left( \frac{N_D}{\Delta t} \right) = \left[ 2,236 + 0,0732 \cdot \left( \frac{N_D}{\Delta t} \right)^{0,7645} \right]^{-1} \cdot \frac{\rho}{M^3 \cdot mc}. \quad (1)$$

Зависимость (1) показывает, что увеличение мощности источника воспламенения МВС приводит к увеличению концентрации ингибитора в предохранительной среде и, наоборот, увеличение интервала времени между взрывами смежных зарядов уменьшает концентрацию. Натурное моделирование в комбинированной мортире условий взрывов обнаженных шпуровых зарядов показало, что при взрывании таких зарядов с массой, не превышающей массу предельного заряда ПБВ VI класса, создается предохранительная среда. Эта среда обеспечит взрывозащиту при взрывных работах даже в том случае, если в ней взорвется заряд ПБВ, масса которого больше массы предельного заряда. Например, взрыв предельного заряда угленита 10П массой 0,6 кг создает предохранительную среду, которая в течение 30 мс обеспечивает взрывозащиту при взрывании заряда ПБВ, вызывающего в опытном штреке воспламенение МВС. Поэтому при производстве взрывных работ с применением ПБВ VI класса – угленита 10П достигаются такие параметры взрывозащиты, которые при короткозамедленном взрывании шпуровых зарядов предотвращают взрыв МВС. Эти параметры зависят от начальной концентрации соли-ингибитора ( $C_H$ ) в продуктах взрыва угленита 10П и времени замедления при взрывании смежных зарядов. Эмпирическая зависимость концентрации ингибитора в предохранительной среде, создаваемой взрывом угленита 10П при замедленном взрывании, имеет вид:

$$C_\phi(t) = \left[ 0,17065 + 0,1309 \cdot (\Delta t)^{0,66345} \right]^{-1} \cdot \frac{\rho}{M^3 \cdot mc}. \quad (2)$$

Графики зависимостей (1) и (2) показаны на рис. 1.

Таким образом, проведенные исследования позволили сформулировать основные принципы создания взрывозащиты в горной выработке при производстве взрывных работ:

– использование шпуровых зарядов ПБВ VI класса, которые при взрыве формируют в забое газодинамическую двухфазную ингибиторную среду, флегматизирующую МВС на время короткозамедленного взрывания;

– концентрация соли-ингибитора в двухфазной ингибиторной среде должна быть такой, чтобы концентрация соли-ингибитора в газовой среде ( $C_\phi$ ) на момент действия источника воспламенения МВС была не меньше концентрации ингибитора ( $C_\phi(\Delta t)$ ), предотвращающей взрыв МВС.

Эти принципы позволяют дать оценку взрывозащиты в забое горной выработки при производстве взрывных работ ПБВ VI класса угленитом 10П, например, при проведении вентиляционного ходка 1-й западной лавы УПЦП

Таблица 1. – Результаты исследований по созданию предохранительной среды в опытном штреке

№ п/ п	Параметры источника воспламенения МВС			Параметры заряда ПВВ, обеспечивающего взрывозащиту			Начальная конц-ция ингибитора в штреке, $C_n, \text{г/м}^3$	Время замедления $\Delta t$ , мс (серия ЭД)					
	тип ВВ	масса заряда, кг	мощность, $N_D, \frac{\text{кДж}}{\text{с}^2}$	тип ВВ	масса заряда, кг	масса ингибитора, г		0-2 (1)	15 (2)	23 (3)	30 (4)	46 (5)	60 (6)
								Флегматизирующая МВС концентрация ингибитора, $\text{г/м}^3\text{мс}$					
								$C_\phi(V, \Delta t_1)$	$C_\phi(V, \Delta t_2)$	$C_\phi(V, \Delta t_3)$	$C_\phi(V, \Delta t_4)$	$C_\phi(V, \Delta t_5)$	$C_\phi(V, \Delta t_6)$
1	МВС	сфера $d=1,3\text{м}$	$7,898 \cdot 10^9$	13П	0,2	58,6	5,86	–	–	–	–	–	
2	Т-19	0,15	$6,304 \cdot 10^{10}$	10П	0,4	147,49	14,75	–	0,983	–	–	–	
3	Т-19	0,21	$7,832 \cdot 10^{10}$	10П	0,6	221,23	22,12	–	–	0,962	–	–	
4	13П	05	$2,538 \cdot 10^{10}$	10П	0,4	147,49	14,75	–	–	–	0,492	–	
5	Т-19	0,21	$7,832 \cdot 10^{10}$	10П	0,8	294,98	29,5	–	–	–	–	0,641	
6	10П	0,7	$1,924 \cdot 10^{10}$	10П	0,6	221,23	22,12	–	–	–	0,737	–	
7	10П	0,7	$1,924 \cdot 10^{10}$	10П	0,8	294,98	29,5	–	–	–	–	0,492	
Среднее значение:								5,86	0,983	0,962	0,615	0,641	0,396

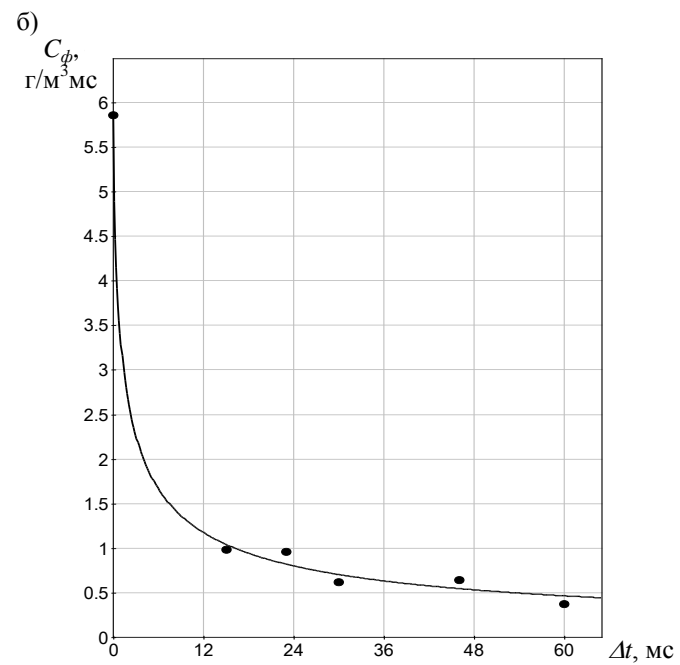
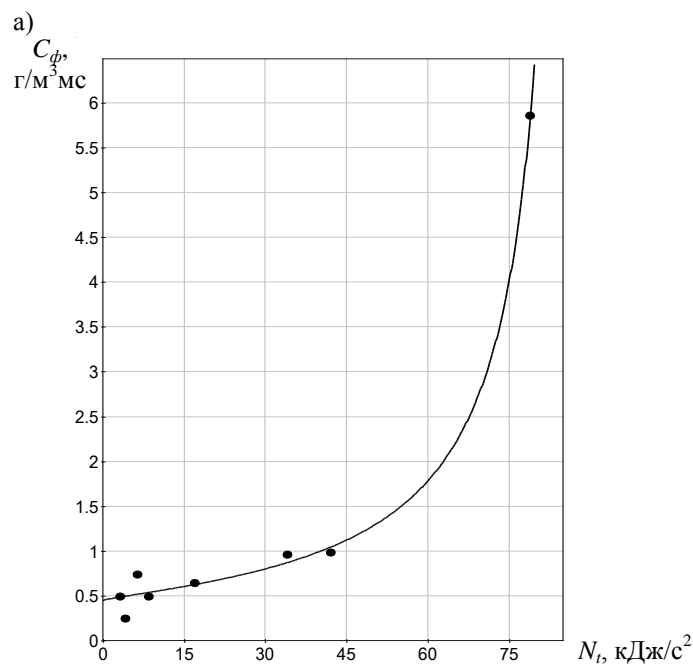


Рис. 1. Зависимость концентрации ингибитора от мощности источника воспламенения МВС (а) и времени замедления между взрывами смежных зарядов (б)

шахты им. А.А. Скопинского по выбросоопасному угольному пласту  $h_6^1$  «Смоляниновский». Глубина разработки равна 1200...1300 м. Сечение выработки в черне  $S_6 = 13,0 \text{ м}^2$ , крепость пород  $f = 4...6$ . Глубина заходки на цикл  $l_{зax} = 1,55 \text{ м}$ , расход угленита 10П  $M_{BB} = 27,0 \text{ кг}$ . Принимаем максимальное время короткозамедленного взрывания шпуровых зарядов  $\Delta t = 320 \text{ мс}$ . Длина выработки, в которой должна быть создана предохранительная среда для взрывозащиты во время производства взрывных работ, равна:

$$L = l_{зax} + l_{отб},$$

где  $l_{отб}$  – длина отброса продуктов взрыва шпуровых зарядов ПВВ, определяющаяся по формуле [7]:  $l_{отб} = 3,4 \cdot 10^{-4} \frac{M_{BB} \cdot D_{BB}}{a_{ш}^2 \cdot \sqrt{f \cdot S_6}}$ , м ( $a_{ш}$  – расстояние между смежными шпурами, м).

Объем предохранительной среды в выработке:

$$V_n = L \cdot S_6 - l_{зax} \cdot S_6 \cdot k, \text{ м}^3,$$

где  $k$  – коэффициент рыхления горной породы.

Концентрация соли-ингибитора в предохранительной среде:

$$C_\phi = \frac{\varepsilon \cdot M_{BB}}{V_n} \cdot \frac{\rho}{\text{м}^3},$$

где  $\varepsilon$  – содержание ингибитора в продуктах взрыва ВВ, г/кг.

Условие взрывозащиты имеет вид:

$$C_\phi \geq C_\phi(\Delta t).$$

Для принятых параметров БВР получим следующие значения параметров взрывозащиты:

$$C_\phi(\Delta t) = C_\phi(t) \cdot \Delta t = 0,162 \cdot 320 = 51,76 (\rho / \text{м}^3);$$

$$L = 1,55 + 3,4 \cdot 10^{-4} \frac{27,0 \cdot 1950}{0,45^2 \cdot \sqrt{5 \cdot 13}} = 12,55 (\text{м});$$

$$V_n = 12,55 \cdot 3,0 - 1,55 \cdot 13,0 \cdot 1,3 = 136,96 (\text{м}^3);$$

$$C_\phi = \frac{368,7 \cdot 27}{136,96} = 72,68 (\rho / \text{м}^3).$$

Получаем:  $72,68 > 51,76$ , то есть  $C_\phi > C_\phi(\Delta t)$  и, следовательно, концентрация соли-ингибитора в предохранительной среде достаточна для взрывозащиты выработки при взрывных работах.

#### Выводы.

1. Определены параметры предохранительной среды в выработке, обеспечивающие взрывозащиту при взрывных работах. При производстве взрывных работ ПВВ VI класса – угленитом 10П взрывозащита в выработке обеспечивается взрыванием его шпуровых зарядов.

2. Установлена концентрация соли-ингибитора в предохранительной среде, создаваемой при взрывании зарядов ПВВ VI класса, обеспечивающая предотвращение взрыва МВС.

3. Сформулированы необходимые принципы создания взрывозащиты в горной выработке при производстве взрывных работ. Этим принципам удовлетворяет только ПВВ VI класса угленит 10П.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Стикачев В.И. Создание предохранительной среды при взрывных работах / Стикачев В. И. – М.: Недра, 1972. – 111 с.
2. Александров В.Е. Безопасность взрывных работ в угольных шахтах / В.Е. Александров, Н.Р. Шевцов, Б.И. Вайнштейн. – М.: Недра, 1986. – 147 с.
3. Калякин С.А. Предотвращение воспламенения метана от выгорающего заряда при взрывных работах в угольных шахтах взрывчатыми веществами V класса: автореферат дисс. на соиск. научн. степени кандидата технических наук: спец. 05.26.01 “Охрана труда” / С.А. Калякин. – Макеевка – Донбасс. – 21 с.
4. Песоцкий М.К. Исследование условий и способов обеспечения безопасности взрывных работ в трещиноватом массиве шахт, опасных по газу и пыли: автореферат дисс. на соиск. научн. степени

кандидата технических наук: спец. 520 “Техника безопасности и противопожарная техника” / М.К. Песоцкий. – Ленинград, 1968. – 19 с.

5. Тейлор Дж. Взрывчатые вещества, применяемые в угольной промышленности Англии / Тейлор Дж, Гей П. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 138 с.

6. Калякин С.А. Использование зарядов ВВ в забоях горных выработок в качестве средств, которые создают предохранительную среду / С.А. Калякин // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сборник научных трудов МакНИИ. – Макеевка – Донбасс, 2005. – С.158-166.

7. Ярембаш И.Ф. Очистка рудничной атмосферы после взрывных работ / И.Ф. Ярембаш. – М.: Недра, 1979. – 186 с.

## **ВИБУХОЗАХИСТ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК ПІД ЧАС ВИБУХОВИХ РОБІТ**

*Калякін С.О., к.т.н., доц., доцент*

*Донецький національний технічний університет*

*83000, м. Донецьк, вул. Артема, б. 58*

*E-mail: [yglenit@gmail.com](mailto:yglenit@gmail.com)*

У роботі наведені результати досліджень з визначення параметрів вибухозахисту у гірничій виробці під час вибухових робіт. Встановлені концентрації солей-інгібіторів у запобіжному середовищі, що запобігають вибуху метану.

Ключові слова: вибухозахист, запобіжне середовище, сіль-інгібітор, метано-повітряна суміш, середовище, що інгібує.

## **PROTECTION OF MINE EXCAVATIONS AGAINST EXPLOSION IN THE TIME OF EXPLOSIVE WORKS**

*Kalyakin S.A., Cand. Sci. (Tech.), Assoc.Prof.*

*Donetsk National Technical University*

*Artema Str., 58, Donetsk, 83000*

*E-mail: [yglenit@gmail.com](mailto:yglenit@gmail.com)*

The results of researches of determination of parameters of protection against explosion in mine excavations in the time of explosive works are shown in this article. The concentrations of salts-inhibitors in a preventive environment, preventing the explosion of methane, are set.

Key words: protection against explosion, safety environment, salt-inhibitor, methane-air mixture, inhibitors environment