

---

УДК 622.81

**А.В. ВОЛОДИН**, зав. лаб.,

**В.Д. АШИХМИН**, ст. науч. сотрудник; МакНИИ, г. Макеевка

### **ПОДВЕСНОЕ УСТРОЙСТВО ПЛЕНОЧНЫХ БЕСШОВНЫХ СОСУДОВ ТИПА ПБС-1, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЕ ИХ СРАБАТЫВАНИЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ВЗРЫВА**

*Показаны недостатки существующей конструкции подвесного устройства ПБС-1. Разработана и рекомендована к применению в угольных шахтах новая конструкция подвесного устройства, обеспечивающая раскрытие ПБС-1 под действием ударной волны взрыва метано-пылевоздушной среды.*

**Ключевые слова:** пленочный бесшовный сосуд, локализация взрыва, метод испытаний, огнетушащие вещества, подвесное устройство, пассивные заслоны.

Известно, что угольная пыль может являться причиной крупных аварий – взрывов метано-пылевоздушной среды. Взрыв угольной пыли в шахте может распространяться по горным выработкам на большие расстояния и явиться причиной значительных разрушений и человеческих жертв.

Согласно требованиям Правил безопасности в угольных шахтах [1] на всех шахтах, опасных по взрывам угольной пыли, наряду с применением мероприятий по предупреждению взрывов пылевоздушной среды, должны применяться также средства локализации взрыва, обеспечивающие вторую линию взрывозащиты выработок.

Разработка систем локализации взрывов предусматривает их испытания на работоспособность, т.е. разрушение, опрокидывание или раскрытие под действием ударной волны взрыва.

На данный момент основным способом локализации взрыва метано-пылевоздушной среды являются пассивные заслоны – стационарные сооружения, состоящие из легко разрушаемых емкостей с водой или инертной пылью. В последнее время широкое применение на угольных шахтах получили заслоны из пленочных бесшовных сосудов типа ПБС-1. Данный сосуд представляет собой круг диаметром 800 мм из полиэтиленовой пленки толщиной 0,25 мм, по окружности которого равномерно распределены 32 отверстия диаметром 5 мм, расположенные через равные расстояния. В отверстия продета бесконечно гибкая связь (тесьма, капроновый шнур), снабженная восемью опорными кольцами, навешиваемыми при

---

монтаже на двуплечий кронштейн, предварительно жестко закрепленный на верхнем элементе крепи. Заполненный пламегасящим веществом сосуд приобретает форму сферической полости. [2]

Взрывоподавляющее действие сосудов ПБС-1 основывается на предварительном образовании облака диспергированных огнетушащих веществ на пути движения фронта пламени. Это происходит за счет энергии взрыва метанопылевоздушной среды, распространяющегося по горным выработкам. Ударная волна, воздействуя на сосуд, вызывает его раскрытие, что приводит к диспергированию огнетушащего материала, который при взаимодействии с горящим пылевым облаком снижает его температуру.

Важной деталью, влияющей на работоспособность и эффективность сосудов ПБС-1, является правильная установка и монтаж креплений сосудов в горных выработках. Способность сосудов к раскрытию напрямую зависит от конструкции подвесного устройства. Схема крепления, предусмотренная технической документацией на ПБС-1, приведена на рис. 1.

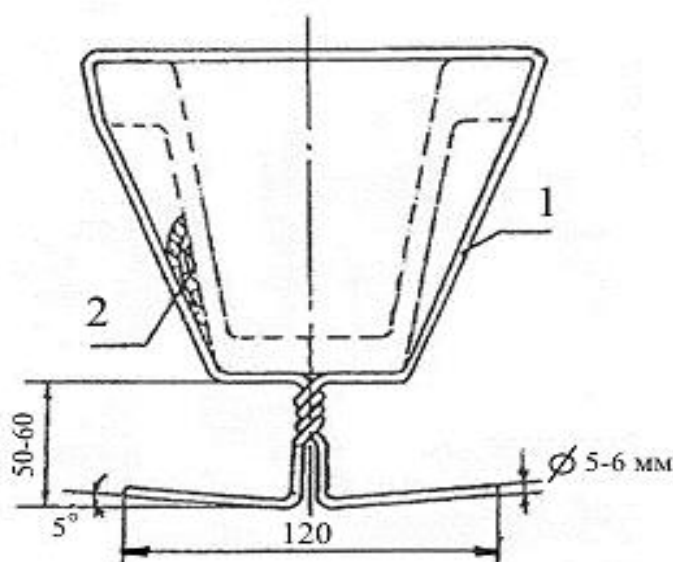


Рис. 1. Схема крепежного устройства для монтажа сосудов ПБС-1:  
1 – кронштейн из проволоки; 2 – деревянная вставка.

При изменении угла наклона плечей кронштейна или если плечи не будут расположены вдоль направления движения ударной волны взрыва, сосуд ПБС-1 теряет возможность эффективного срабатывания (раскрытия под действием ударной волны взрыва).

Учитывая то, что объем одного сосуда ПБС-1 составляет 12 л, а норма загрузки пассивного водяного заслона составляет  $400 \text{ кг/м}^2$  площади поперечного сечения выработки [1], для оборудования одного заслона из сосудов ПБС-1, для выработки сечением  $10 \text{ м}^2$ , необходимо порядка 330

сосудов и, соответственно, такое же количество креплений. Однако, согласно нормативным документам, кронштейн для крепления сосудов изготавливается силами предприятия-заказчика [3]. Изготовить такое количество креплений самостоятельно и установить сосуды в условиях запыленности и плохой освещенности в выработке так, чтобы выдержать требования нормативных документов (угол наклона и длина плечей кронштейна, расположение плечей параллельно направлению движения ударной волны взрыва), представляется весьма проблематичным. Поэтому на практике отсутствие креплений заводского изготовления приводит к нарушению условий эксплуатации сосудов ПБС-1 из-за того, что крепления, изготовленные кустарным способом на шахтах, не отвечают требованиям технической документации на сосуды ПБС-1. Примером этого могут служить фотографии, приведенные на рисунке 2, на которых изображены сосуды ПБС-1, размещенные в горных выработках шахт.

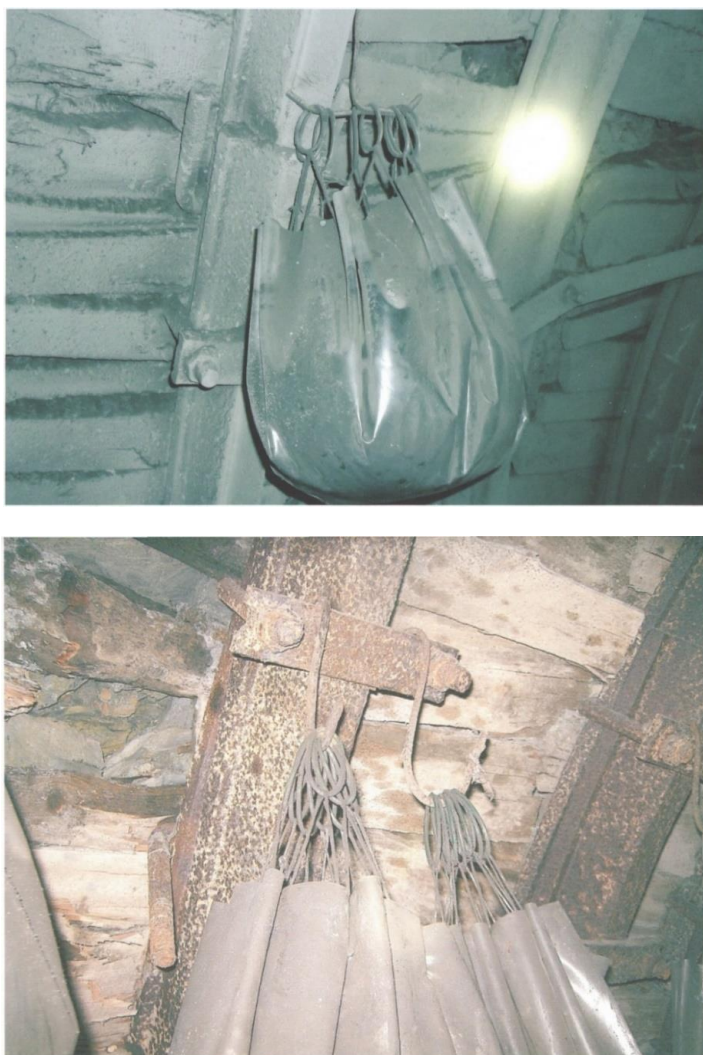


Рис. 2. Размещение сосудов ПБС-1 в горных выработках шахт

Очевидно, что сосуды, закрепленные таким образом, не могут быть работоспособными, а, следовательно, нет смысла говорить об эффективной локализации взрыва. Поэтому особенно актуальной представляется разработка креплений заводского изготовления, которые были бы простыми в эксплуатации и обеспечивали надежную работоспособность сосудов ПБС-1 в условиях шахт.

Согласно проведенным исследованиям, пассивные водяные и сланцевые заслоны эффективны при скоростях фронта пламени взрыва, превышающих 100 м/с и неэффективны при скоростях менее 60 м/с [4].

Водяные заслоны с сосудами из различных пластмасс эффективно гасят пламя взрывов угольной пыли, распространяющихся со скоростью 85-285 м/с. Заслоны, в которых сосуды подвешивались к крепи при помощи крючьев, эффективно гасили только сравнительно сильные взрывы. При малых скоростях распространения пламени (менее 100 м/с) такие заслоны неэффективны. [5]

Таким образом характеристики разрабатываемых средств локализации взрывов угольной пыли должны быть не ниже применяемых, были выбраны параметры взрыва для испытаний сосудов ПБС-1 на работоспособность. В данном случае этими параметрами является диапазон скоростей пламени пылевоздушной среды от 100 до 300 м/с, при котором пассивные средства локализации эффективно гасят пламя взрыва.

Целью работы является разработка конструкции подвесного устройства ПБС-1, обеспечивающей раскрытие сосуда под действием ударной волны взрыва метанопылевоздушной среды.

Проведение испытаний пленочных бесшовных сосудов типа ПБС-1 с подвесным устройством проводились в опытном штреке МакНИИ, схема которого изображена на рис. 3.

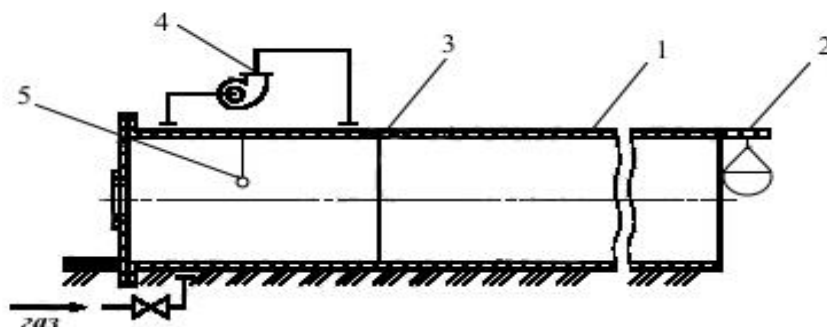


Рис. 3. Схема опытного штрека:

1 – труба штрека; 2 – сосуд ПБС-1 с подвесным устройством;  
3 – диафрагма; 4 – вентилятор для перемешивания газовой смеси;  
5 – заряд взрывчатого вещества для инициирования газовой смеси.

Прохождение пламени взрыва газовой смеси фиксировалось с помощью инфракрасных датчиков и осциллографа. В качестве источника воспламенения газовой смеси стехиометрической концентрации объемом  $10 \text{ м}^3$  применялись электровоспламенители ЭВ-Ж ГОСТ 21806 и взрывчатое вещество аммонит № 6 ЖВ ГОСТ 21984.

Скорость фронта пламени взрыва в месте установки ПБС-1 определялась в соответствии с графиком, представленным на рис. 4.

В соответствии с данным графиком, определение скорости пламени заключается в нахождении зависимости  $V=f(L)$ , с дальнейшим вычислением скорости пламени по формуле:

$$V_c = 1,651V_b - 0,651V_a$$

$$V_a = \frac{1,82}{\Delta t_{A-B}}, \quad V_b = \frac{3,4}{\Delta t_{B-C}},$$

где  $V_c$  – скорость пламени в месте расположения сосуда ПБС-1, м/с;

$V_a$  – скорость пламени на участке между датчиками А и В, м/с;

$V_b$  – скорость пламени на участке между датчиками В и С, м/с;

$\Delta t_{A-B}$  – время прохождения пламени от датчика А к датчику В, с;

$\Delta t_{B-C}$  – время прохождения пламени от датчика В к датчику С, с.

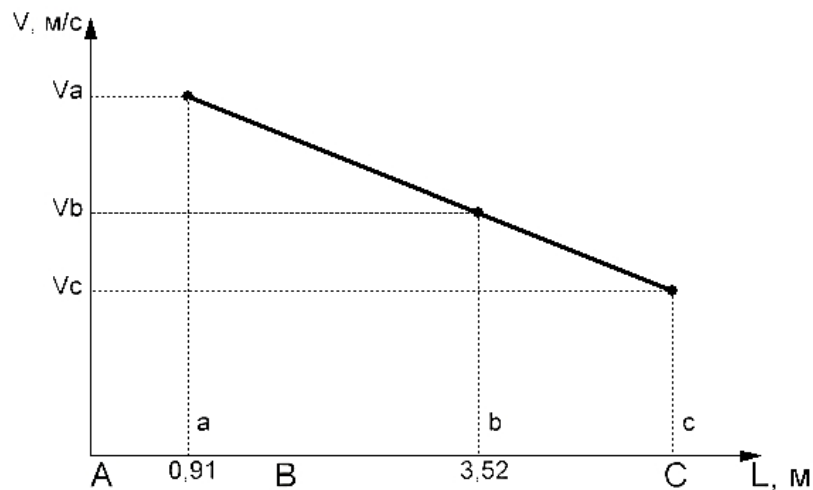


Рис. 4. График определения скорости пламени взрыва газовой смеси:

А, В, С – условное обозначение инфракрасных датчиков; а, b – точки, в которых скорость пламени определяется при проведении испытаний; с – место подвески ПБС-1;  $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$  – скорости пламени взрыва в точках а, b, с соответственно, м/с; L – расстояние, м.

В первом случае были испытаны пластмассовые крепления, конструкция которых приведена на рис. 5.

Данное подвесное устройство представляет собой пластмассовый кронштейн, состоящий из основания и двух плечей. В верхней части основания выполнено отверстие, в которое продевается проволока для установки кронштейна в выработку. На основании кронштейна имеются крючки, на которые надеваются опорные кольца сосуда ПБС-1 при установке.

После испытаний был проведен анализ данных съемки раскрытия сосудов ПБС-1, состояния сосудов и подвесных устройств. По итогам испытаний был сделан вывод о неработоспособности данной конструкции крепежного устройства. Все опорные кольца на сосуде целые, а плечи подвесного устройства оторваны. Это говорит о том, что из-за недостаточной жесткости крепления в направлении движения ударной волны и малой механической прочности произошел не сброс колец и раскрытие сосуда, а его разворот и обрыв крепления.



Рис. 5. Крепление из пластмассы

Было принято решение повысить жесткость крепления в направлении ударной волны и повысить его механическую прочность, чтобы избежать разворота и обрыва крепления при испытаниях.

Следующей была испытана конструкция обратного загнутого крепления. Материал крепления – проволока низкоуглеродистая общего назначения, термически не обработанная без покрытия по ГОСТ 3282-74, диаметром 3 мм. Данная конструкция приведена на рис. 6.

Принцип установки сосуда ПБС-1 на описываемое подвесное устройство заключается в следующем: подвесное устройство крепится к спецпрофилю проволокой АД1 2 по ГОСТ 14838-78, после установки

опорные кольца сосуда ПБС-1 зацепляются за плечи и сосуд наполняется огнетушащим материалом. В силу того, что плечи подвесного устройства направлены друг к другу, сосуд можно подвешивать в пустом состоянии, что облегчает монтаж заслона.



Рис. 6. Крепление из проволоки (обратнозагнутое)

По итогам испытаний был сделан вывод о неработоспособности данной конструкции крепежного устройства. Хотя и была достигнута необходимая жесткость крепления в продольном направлении и при действии ударной волны взрыва происходит соскакивание крепежных колец с плечей подвесного устройства, но раскрытие сосуда и диспергирование огнетушащего материала должным образом не происходит.

Было принято решение изменить конструкцию подвесного устройства таким образом, чтобы плечи были направлены в противоположные стороны для более легкого раскрытия сосуда.

Фотография подвесного устройства приведена на рис. 7.



Рис. 7. Крепление из проволоки (прямое)

Результаты испытаний сосудов ПБС-1 на работоспособность представлены в таблице.

Таблица

Результаты испытаний сосудов ПБС-1

№ п/п	Источник воспламенения	$t_{A-B}$ , мс	$t_{B-C}$ , мс	$V_a$ , м/с	$V_b$ , м/с	$V_c$ , м/с	Срабатывание сосуда
1.	Аммонит № 6 ЖВ 50 г	6,6	18,8	276	181	119	+
2.	Аммонит № 6 ЖВ 50 г	5	9,8	364	347	336	+
3.	Аммонит № 6 ЖВ 30 г	7,2	13,2	253	258	261	+
4.	Аммонит № 6 ЖВ 30 г	6	11,2	303	304	304	+
5.	Аммонит № 6 ЖВ 30 г	6,4	12,8	284	266	253	+
6.	ЭВ-Ж, 4 шт.	25,2	38,4	72	89	99	+
7.	ЭВ-Ж, 5 шт.	44,6	92,8	41	37	34	+
8.	Аммонит № 6 ЖВ 30 г	6,2	12	294	283	277	+
9.	Аммонит № 6 ЖВ 30 г	7,7	15,2	236	224	215	+
10.	Аммонит № 6 ЖВ 30 г	8,4	17,6	217	193	178	+
11.	Аммонит № 6 ЖВ 30 г	6,6	12,2	276	279	281	+
12.	Аммонит № 6 ЖВ 30 г	6,4	13	284	262	247	+

Анализ состояния сосудов и подвесных устройств свидетельствует о том, что во всех испытаниях произошло срабатывание сосуда. Это подтверждается данными съемки раскрытия сосудов.

Вероятность срабатывания ПБС-1 при 12 положительных испытаниях при доверительной вероятности 0,9 составила 0,83-1,0.

## ВЫВОДЫ

Разработанная конструкция подвесного устройства обеспечивает надежное срабатывание ПБС-1 под действием ударной волны взрыва, что подтверждается проведенными испытаниями. Подвесное устройство может изготавливаться в заводских условиях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безопасности в угольных шахтах: НПАОТ 10.0-1.01-16. – Донецк, 2016. – 218 с.
2. Типовой паспорт установки пленочных сосудов ПБС-1 в водяных и сланцевых заслонах. – Луганск, 1997. – 16 с.



3. Сосуд бесшовный пленочный ПБС-1: ТУ У 22.2-22142491-001:2012. – 13 с.

4. Лебецки К. А. Пылевая взрывоопасность горного производства / К. А. Лебецки, С. Б. Романченко. – Т.6. Промышленная безопасность. Кн. 10. – М.: Горное дело, 2012. – 464 с.

5. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах / [Нецепляев М. И., Любимова А. И., Петрухин П. М. и др.]. – М.: Недра, 1992. – 300 с.

Получено: 06.07.17

### **HANGER ASSEMBLY OF FILM SOLID-DRAWN VESSELS OF TYPE PBS-1 WHICH GUARANTEES THEIR OPERATION UNDER EXPLOSION SHOCK WAVE**

*The disadvantages of existing construction of PBS-1 hanger assembly have been shown. The new construction has been developed and recommended for use in coal mines which guarantees the opening of PBS-1 under shock wave by methane-coal-dust-air explosion.*

**Keywords: film solid-drawn vessel, explosion localization, test method, fire extinguishing agents, hanger assembly, passive barriers.**