

УДК 678.027.94:677.529.7

В. С. Ивановский, канд. техн. наук,
О. В. Ивановская, канд. техн. наук

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОМПОЗИТНЫХ БАЛЛОНОВ

Снижение массы баллонов для воздушно-дыхательных аппаратов является актуальной задачей для производительной работы бойцов МЧС и других формирований, работающих в непригодной для дыхания среде.

Использование металлокомпозитных баллонов, хотя и решает проблему снижения массы, тем не менее выставляет очень жесткие требования к содержанию влаги в воздухе, которым заправлен баллон. Наличие повышенного содержания влаги и углекислого газа может приводить к коррозионным поражениям лейнера вплоть до потери им герметичности.

Среди производителей стальных и металлокомпозитных баллонов проводятся работы по нанесению антикоррозионного покрытия на внутреннюю поверхность баллона. Однако в этом случае сталкиваются с такими проблемами:

- выделение из покрытия продуктов его деструкции, сопровождающейся резким запахом, о влиянии вдыхания такого воздуха на человеческий организм еще нет однозначного мнения;
- отсутствие надежного способа контроля целостности покрытия как после его нанесения, так и при техническом освидетельствовании баллонов;
- влага, проникшая через поры покрытия на поверхность металлического лейнера, образует продукты коррозии, под покрытием коррозия происходит по щелевому типу со скоростью, на порядок превышающую скорость атмосферной коррозии;
- отслоившееся покрытие, попадая из баллона в питательную систему, приводит к выходу ее из строя или возможной гибели человека, если баллон используется в дыхательном аппарате.

Опыт освидетельствования стальных баллонов с внутренним покрытием показывает, что в отдельных партиях после семи лет эксплуатации до 30 % баллонов приходят в негодность по причине коррозии.

Металлокомпозитные баллоны для дыхательных аппаратов, выпускаемые на ОАО «Горизонт» (г. Луганск), работающие на сжатом воздухе с лейнером из нержавеющей стали 12Х18Н10Т толщиной 1,5 мм, в течение десяти лет эксплуатации до 10% от их количества потеряли герметичность.

Исследование показало, что межкристаллитная коррозия происходит не только в зонах сварочных швов, но и в сплошном материале. При сертификации зарубежных баллонов с алюминиевым лейнером в лабо-

ратории ОАО «Горизонт» были обнаружены коррозионные пятна из-за некачественного электрохимического покрытия и невозможности контролировать его толщину внутри баллона.

Кроме низкой коррозионной стойкости выпускаемые металлокомпозитные баллоны имеют ограниченный срок эксплуатации из-за усталости металла лайнера при циклических нагрузках, приводящих к потере герметичности конструкции. Для увеличения ресурса необходимо укладывать армирующего материала больше, чем требуется из условия прочности, что приводит к снижению массового совершенства баллонов.

В настоящее время перспективным является изготовление композитных баллонов с пластиковым лайнером, аморфный материал которого не подвержен коррозии и усталости в диапазоне относительных деформаций, возникающих при эксплуатации баллонов. Кроме того, пластиковый лайнер существенно снижает общую массу баллона и стоимость его изготовления по сравнению с металлическим.

Для устранения коррозионных последствий, снижения массы и стоимости были разработаны конструкция баллона с пластиковым лайнером, оснастка и технология производства лайнера и композитного баллона в целом.

На ОАО «Горизонт» разработаны конструкции баллонов объемом 4,5 и 7,3 литра на рабочее давление 20,0 и 30,0 МПа [1].

В целях определения экологической безопасности и длительной герметичности были проведены следующие исследования.

Объект испытаний. Композитный баллон БК 7-300с вместимостью 7,3 литра на рабочее давление 30,0 МПа представляет собой комбинированный сосуд, состоящий из внутренней полимерной оболочки (луполен 4261) и наружного слоя, выполненного спирально-кольцевой намоткой стекловолокна на эпоксидном связующем ЭДТ-10. Баллон предназначен для транспортировки и хранения сжатого воздуха и используется в составе воздушно-дыхательных аппаратов.

Цели испытаний:

1. Определение качественного и количественного составов органических веществ, выделяющихся из материала лайнера при хранении заправленного воздухом баллона под рабочим давлением 30,0 МПа в течение 30 суток.

2. Определение качественного и количественного состава органических выделений после выдержки заправленного воздухом баллона под давлением 3,0 МПа при температуре плюс 60⁰С в течение 4 часов.

3. Определение газопроницаемости баллона.

Программа испытаний:

- измерительный контроль баллона (проверка габаритных размеров, вместимости, массы);
- проверка прочности баллона при пробном гидравлическом давлении;

- проверка вместимости баллона при пробном гидравлическом давлении и после нагружения пробным давлением;
- проверка герметичности при пневматическом рабочем давлении;
- заполнение баллона воздухом до рабочего давления с содержанием примесей в соответствии с п. 4.3 [2] во ВНИИ пожарной охраны;
- отбор проб воздуха из баллона после 30 дней хранения его в баллоне при давлении 30,0 МПа;
- исследование пробы воздуха;
- выдержка баллона, заправленного воздухом до давления 3,0 МПа при температуре плюс 60⁰С в течение 4 часов;
- отбор проб воздуха из баллона после 4 часов нахождения его в баллоне при давлении 3,0 МПа при температуре плюс 60⁰С;
- исследование пробы воздуха;
- заполнение баллона воздухом до рабочего давления;
- определение газопроницаемости баллона, находящегося под рабочим давлением в течение 1 года.

Методика испытаний. Измерительный контроль, проверка прочности и герметичности и испытания баллона БК 7-300с при температуре 60⁰С проведены в соответствии с «Программой-методикой предварительных испытаний баллонов малолитражных вместимостью до 12 литров на рабочее давление до 31,0 МПа» № 665-МТ-05.

Отбор проб воздуха из баллона после выдержки осуществлялся в чистый металлический сосуд из нержавеющей стали вместимостью 5 литров на рабочее давление до 1,0 МПа. Сосуд через редуктор соединялся с испытываемым баллоном, 4 раза продувался воздухом из него, после чего отбиралась проба.

Анализ воздуха из баллона на содержание органических веществ проводился методом газовой хроматографии на хроматографе фирмы «Hewlett-Packard» (США) с использованием плазменно-ионизационного детектора на капиллярной колонке с метилсиликоновой фазой OV-1 в режиме программирования температуры от 30 до 110⁰С. Отбор пробы на анализ из металлического контейнера проводился путем концентрирования воздуха на трубки с полимерным сорбентом Тенакс GC. Объем отобранных проб – 500 мл.

Идентификация разделяемых веществ проводилась путем сравнения хроматографических параметров удерживания компонентов анализируемой пробы с параметрами удерживания стандартных химических веществ, а также по индексам удерживания веществ-эталонов, содержащихся в каталоге «THE SADTLER STANDARD GAS CHROMATOGRAPHY RETENTION INDEX LIBRARY» (USA 1986 г.)

Определение концентрации органических веществ в воздушных пробах проводилось методом абсолютной калибровки. При отсутствии эталонных веществ использовали коэффициенты пересчета. Предел обнаружения – 0,005 мг/куб.м.

Для определения формальдегида исследуемый воздух аспирировался через поглотители с ацетилацетоновым реактивом со скоростью 1 л/мин, время прокачки – 20 мин. Предел обнаружения формальдегида – 0,1 мг/куб.м.

Газопроницаемость баллона при хранении определялась методом периодического взвешивания на электронных весах типа ПВ-30 с записью результатов взвешивания в журнале.

Оборудование и средства измерения соответствовали требованиям Государственного стандарта.

Результаты испытаний:

1. Результаты измерительного контроля приведены в табл. 1.

2. Баллон испытан на прочность пробным гидравлическим давлением, равным 45,0 МПа. Падения давления в течение 10-минутной выдержки, трещин, видимых деформаций, течей, капель не обнаружено. Результат испытаний соответствует требованиям п. 3.4.5 [2] и п. 10.2.2 [3]. При пробном давлении 45,0 МПа полная объемная деформация баллона составила 0,470 л. После испытания на прочность вместимость баллона увеличилась на 0,050 л, что составляет $\approx 0,7\%$ и соответствует требованию п. 6.9 [2] (не более 5 %).

3. Баллон испытан на герметичность пневматическим рабочим давлением 30,0 МПа, течей – отделения пузырьков воздуха от поверхности баллона при погружении его в воду – не обнаружено.

4. Баллон заправлен воздухом, соответствующим требованиям, предъявляемым [2] к воздуху для дыхания, до рабочего давления 30 МПа с помощью компрессора «Вауег». Масса заправленного воздухом баллона составляла 8,685 кг.

5. Через 30 дней после заправки из баллона была отобрана проба воздуха и направлена на исследование. Результат представлен в табл. 2.

6. Давление воздуха в баллоне было снижено до 3,0 МПа, баллон был помещен в климатическую камеру и выдерживался там при температуре 60⁰С в течение 4 часов.

7. Было проведено контрольное взвешивание баллона, показавшее массу 6,805 кг, после чего из баллона была отобрана проба воздуха, и баллон был вновь взвешен: 6,665 кг. Проба воздуха направлена на исследование. Результат представлен в таблице 2.

8. Была проведена закачка баллона воздухом до рабочего давления 30,0 МПа, после чего вентиль баллона был перекрыт, баллон был отсоединен от заправочного трубопровода и взвешен. В дальнейшем в течение одного года заправленный баллон хранился в ИЦ и периодически взвешивался. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 1 – Результаты измерительного контроля

Обозначение баллона	Вместимость, л	Масса, кг	Длина, мм	Диаметр, мм
БК 7-300с	7,3	5,870	603,5	164,5

Таблица 2 – Содержание органических веществ в составе воздушной среды баллона

Наименование вещества	Содержание, мг/куб.м		ПДК, среднесуточная мг/м ³	ПДК, раб.зоны. мг/м ³
	20 ⁰ С, 30,0 МПа, 30 суток	20 ⁰ С, 30 суток затем 3,0 МПа, 60 ⁰ С, 4 часа		
Изопропанол	0,03	0,05	0,6	10
Изобутанол	0,02	0,40	0,1	10
Бутанол	0,15	0,25	0,1	10
Этилацетат	0,03	0,03	0,1	50
Пропилацетат	0,06	0,06	0,1	200
Бутилацетат	0,04	0,04	0,1	50
Толуол	0,15	0,18	0,6	50
Формальдегид	не обнаружен	не обнаружен	0,003	0,5

Таблица 3 – Результаты проверки баллона на длительную герметичность

Длительность хранения, суток	Масса баллона, кг	Длительность хранения, сутки	Масса баллона, кг	Длительность хранения, сутки	Масса баллона, кг
0	8.685	102	8.670	235	8.645
10	8.685	115	8.660	265	8.645
19	8.680	134	8.655	283	8.640
45	8.680	142	8.655	296	8.640
73	8.675	157	8.655	333	8.635
83	8.670	208	8.645		

Выводы

1. Измеренные концентрации органических веществ в воздухе, длительно хранившемся в композитном баллоне с лайнером из луполе-на 4261 производства ОАО «Завод горноспасательной техники «Горизонт», г. Луганск, Украина, не превышает ПДК рабочей зоны.

2. Содержание бутанола и изобутанола превышает ПДК среднесуточной концентрации. Повышение температуры (2-й отбор) приводит к увеличению концентрации изопропанола, бутанола и изобутанола в два раза. Содержание остальных компонентов практически не изменилось.

3. За 333 суток (7992 часа) масса баллона со сжатым воздухом уменьшилась на 0,050 кг. Газопроницаемость из расчета на один литр водной вместимости баллона составила около 0,0009 мл/ч, что меньше допустимой величины 0,25 мл/ч по Европейскому стандарту EN 12245.

4. Баллоны могут использоваться в составе воздушно-дыхательных аппаратов.

Список использованных источников

1. Ивановский, В. С. Разработка композитных баллонов высокого давления ($P_{\text{раб}}=30$ МПа) с полимерным лейнером / В. С. Ивановский, О. В. Ивановская // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Вып.1(65). – Х., 2011. – С. 71–75.

2. Нормы пожарной безопасности. НПБ 190–2000. Техника пожарная. Баллоны для дыхательных аппаратов со сжатым воздухом для пожарных. Общие технические требования. Методы испытаний. ФГУ ВНИИПО МВД России (приказ ГУГПС МВД России от 20 июля 2002 г. № 42). – 25 с.

3. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. ПБ 03-570-03. Постановление Госгортехнадзора РФ от 11.06.2003, № 91.

Поступила в редакцию 03.06.2016.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Сало,
Академия ВВ МВД Украины, г. Харьков.*