

**В. Н. Свищев**, ведучий научный сотрудник Харьковского НИИСЭ, кандидат физико-математических наук

## **ОБ ЭКСПЕРТНОМ ИССЛЕДОВАНИИ ГАЗОВОГО БАЛЛОНА, РАЗРУШЕННОГО ВНУТРЕННИМ ДАВЛЕНИЕМ**

*На прикладі випадку з експертної практики наведено розв'язання нестандартного експертного завдання стосовно визначення величини надмірного тиску газу, що викликав руйнування газового балона. Показано, що розв'язання цього завдання можливе за допомогою методу математичного розрахунку після вимірювання низки механічних характеристик матеріалу балона і визначення марки сталі, з якої його виготовлено.*

*На примере случая из экспертной практики приведено решение нестандартной экспертной задачи по определению величины избыточного давления газа, вызвавшего разрушение газового баллона. Показано, что решение этой задачи возможно с помощью метода математического расчета после измерения ряда механических характеристик материала баллона и определения марки стали, из которой он изготовлен.*

Газовые баллоны и их фрагменты нередко являются объектами экспертного исследования при расследовании дел о взрывах и пожарах. В экспертной практике чаще всего приходится сталкиваться с исследованием газовых баллонов среднего объема (от 20 до 50 л) и низкого давления ( $P \leq 1,6$  МПа), которые широко распространены в быту. В этих случаях на разрешение экспертизы, как правило, ставятся вопросы о причине и механизме разрушения баллона. Они решаются по стандартной схеме, включающей фрактографическое исследование поверхности разрушения, в некоторых случаях установление марки сплава, что обычно затруднений у экспертов-металловедов не вызывает. Однако в практике могут встречаться и нестандартные экспертные задачи, решение которых требует применения нестандартных методов исследования. Так, в частности, в экспертной практике имели место случаи, когда на разрешение металловедческой экспертизы ставился вопрос об определении величины избыточного давления газа, вызвавшего разрушение баллона. Решение этого вопроса наряду с использованием общепринятых методов связано с применением математических методов исследования. Изложению решения этой нестандартной задачи на примере случая из экспертной практики и посвящена данная статья.

В кислородном цехе в процессе заправки кислородом произошел взрыв баллона, в результате чего пострадали работники предприятия и оказалось разрушенным помещение цеха. По версии следствия, в баллоне, который заправлялся кислородом, мог находиться иной газ (водород или метан), который при взаимодействии с кислородом мог образовать взрывоопасную смесь, что и могло послужить причиной взрыва баллона. На разрешение

експертизи был поставлен вопрос об определении величины избыточного давления газа, при котором произошло разрушение баллона.

Для проведения исследований были представлены фрагменты баллона, среди которых – днище, горловина с вентилем и части обечайки. При совмещении фрагментов баллона по имеющимся на них поверхностям разрушения было установлено, что отсутствуют несколько незначительных по своим размерам фрагментов. Исходя из линейных размеров фрагментов, их толщины, особенностей формы, наличия лакокрасочного покрытия черного цвета и маркировочных обозначений, было установлено, что они являются осколками 40-литрового кислородного баллона, предназначенного для эксплуатации на рабочее давление 15 МПа (относится к баллонам среднего объема высокого давления). Средний наружный диаметр баллона составлял 219 мм, а толщина стенок изменялась в пределах от 7,1 до 8,5 мм. Следы внешнего механического воздействия, которые могли бы инициировать разрушение баллона, на его осколках отсутствовали. Макропластическая деформация на фрагментах баллона была незначительной, что указывало на близкий к хрупкому характер его разрушения под воздействием внутреннего давления. На фрагментах обечайки баллона просматривались следы стыкового сварного шва. Видимые дефекты металлургического характера и признаки замедленного разрушения в строении изломов на осколках баллона отсутствовали.

С целью построения схемы проведения исследований были изучены литературные данные, анализ которых показал, что в основу исследований в этом конкретном случае должны быть положены два основных нормативных акта, а именно: ГОСТ 949-73 «Баллоны стальные малой и средней емкости для газов на  $P \leq 19,6$  МПа (200 кгс/см<sup>2</sup>). Технические условия» и ГОСТ 25215-82 «Сосуды и аппараты высокого давления. Обечайки и днища. Нормы и методы расчета на прочность».

ГОСТ 943-73 распространяется на баллоны, изготовленные из углеродистой и легированной стали, среднего объема с рабочим давлением до 19,6 МПа и регламентирует ряд их основных характеристик: марку стали, механические свойства (временное сопротивление разрыву, предел текучести, относительное удлинение, ударную вязкость), минимальную толщину стенки и др.

ГОСТ 25215-82 распространяется на однослойные обечайки, плоские и выпуклые днища сосудов и аппаратов, изготовленных из стального листового проката, работающих при статических нагрузках под действием внутреннего избыточного давления в пределах от 10 до 100 МПа, и устанавливает нормы и методы расчета на прочность сосудов и аппаратов.

Таким образом, исходя из приведенных нормативных актов, для ответа на вопрос постановления необходимо было определить ряд указанных механических характеристик материала баллона и установить марку стали, из которой он изготовлен. Кроме того, для ответа на сопутствующие вопросы (о соответствии баллона нормативно-техническим требованиям, характере

его разрушения) представлялось необходимым измерить твердость материала баллона и его магнитную характеристику (коэрцитивную силу).

Учитывая то обстоятельство, что для проведения таких исследований необходимы специальная приборная база и оборудование, по согласованию со следователем измерения проводились в специализированном научном учреждении, располагающим соответствующим оборудованием. Поскольку определение марки стали и механических характеристик материала баллона регламентируется конкретными нормативными актами, они измерялись в соответствии с требованиями соответствующих ГОСТов.

Химический состав материала баллона определялся методом фотоэлектрического спектрального анализа по ГОСТ 18895 «Сталь. Метод фотоэлектрического спектрального анализа». В качестве спектрального прибора использовался кварцевый спектрограф ИСП-30 с фотоэлектрической кассетой ФЭК. Содержание углерода определялось кулонометрическим методом по ДСТУ 12344:2005 «Сталі леговані та високолеговані. Методи визначення вуглецю» с использованием экспресс-анализатора АН-7529. Образец для анализа отбирался от фрагмента обечайки баллона. Проведенным исследованием установлено, что в состав материала баллона (кроме железа) входят такие элементы (табл. 1).

Таблица 1

Содержание элементов и погрешность, %				
C	Si	Mn	Cr	Ni
0,53 ± 0,02	0,26 ± 0,03	0,84 ± 0,04	0,12 ± 0,03	0,10 ± 0,02

Из результатов измерений следует, что по химическому составу материал баллона соответствует углеродистой стали марки Дс (динамная сталь) по ГОСТ 4543-71 «Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия», что отвечает требованиям ГОСТ 949-73.

Твердость материала баллона измерялась на статическом твердомере типа ТШ в соответствии с ГОСТ 9012-80. «Металлы. Методы испытаний. Измерение твердости по Бринеллю». Проведенными измерениями было установлено, что твердость на представленных фрагментах баллона неравномерна и изменяется в пределах от 206,5 до 255,1 НВ (соответствует гарантированному временному сопротивлению в пределах от 701 до 853 МПа). Из результатов измерений твердости следует, что материал баллона по своим прочностным характеристикам соответствует требованиям ГОСТ 949-73.

Предел текучести  $\sigma_{0,2\%}$ , временное сопротивление на разрыв  $\sigma_{\epsilon}^*$  и относительное удлинение  $\delta$  определялись на универсальной испытательной машине INSTRON-1186 методом статических испытаний на растяжение по ГОСТ 10006-80 «Трубы металлические. Метод испытания на растяжение». Измерения проводили на трех образцах прямоугольного сечения, вырезанных из фрагментов обечайки баллона в продольном направлении в местах

с разной толщиной стенки. Проведенными измерениями установлено, что предел текучести  $\sigma_{0,2\%}$  на фрагментах баллона изменяется в пределах от 557 до 611 МПа (по ГОСТ 949-73 – не менее 373 МПа), временное сопротивление  $\sigma_s$  – в пределах от 706 до 773 МПа (по ГОСТ 949-73 – не менее 638 МПа), относительное удлинение  $\delta$  – в пределах от 16,8 до 18,8 % (по ГОСТ 949-73 – не менее 15 %). Из результатов исследований следует, что измеренные механические характеристики материала баллона соответствуют требованиям ГОСТ 949-73.

Ударная вязкость определялась с помощью копра типа МК-30А по ГОСТ 9454-78. «Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженной, комнатной и повышенной температурах». Термостабилизация образцов осуществлялась с использованием низкотемпературного модуля с температурным контроллером INSTRON-3110. Проведенными измерениями было установлено, что ударная вязкость на осколках баллона неравномерна и изменяется в пределах от 3,57 до 4,69 кгс м/см<sup>2</sup> (по ГОСТ 949-73 – не менее 3,0 кгс м/см<sup>2</sup>). Однако ненормированные характеристики – критические температуры хрупкости  $t_{кр,1} = +33,4$  °С и  $t_{кр,2} = -14,0$  °С, рассчитанные из результатов измерения ударной вязкости, превышают рабочие температуры, что предопределяет возможность хрупкого разрушения баллона.

Коэрцитивная сила, являющаяся структурно чувствительным параметром ферромагнитных металлов, измерялась с помощью коэрцитиметра КРМ-Ц. Измерения показали, что на осколках баллона она неравномерна и изменяется в пределах от 4,6 до 10,3 А/см. При этом максимальные значения коэрцитивной силы близки к предельным, что также указывает на возможность хрупкого разрушения баллона.

Минимальная толщина стенки исследуемого баллона согласно требованиям ГОСТ 949-73 должна составлять не менее 6,8 мм. Выше, при описании осколков баллона, отмечалось, что толщина стенки на фрагментах баллона неравномерна и изменяется в пределах от 7,1 до 8,5 мм, т. е. соответствует требованиям указанного ГОСТ.

Таким образом, из результатов проведенных исследований вытекало, что баллон, осколки которого представлены на исследование, по химическому составу и механическим свойствам полностью отвечает требованиям ГОСТ 949-73. Кроме того, видимые дефекты металлургического характера и признаки замедленного разрушения в строении изломов на его осколках отсутствовали. Следовательно, разрушение исследуемого баллона произошло вследствие существенного превышения допустимого рабочего давления газа. При этом было установлено, что по своему характеру разрушение баллона относится к категории хрупких.

Избыточное давление, при котором произошло разрушение исследуемого баллона, рассчитывалось в соответствии с требованиями ГОСТ 25215-82 «Сосуды и аппараты высокого давления. Обечайки и днища. Нормы и методы расчета на прочность». Поскольку в баллонах цилиндрической формы, нагруженных внутренним давлением, тангенциальные

(поперечные) напряжения существенно превышают аксиальные (продольные) напряжения, их разрушение чаще всего происходит на цилиндрической части и развивается в продольном направлении. С учетом этого обстоятельства расчет на прочность производился для цилиндрической части баллона (обечайки).

Формула для расчета разрушающего давления имеет следующий вид:

$$P = \sigma_{\epsilon}^* \times \ln \left[ \frac{D_{\epsilon} + 2 \times S_{\min}}{D_{\epsilon}} \right] \times \varphi,$$

где  $\sigma_{\epsilon}^*$  – минимальное значение временного сопротивления материала по результатам измерений;  $D_{\epsilon}$  – внутренний диаметр баллона;  $S_{\min}$  – минимальная толщина цилиндрической части баллона;  $\varphi$  – коэффициент прочности сварных соединений.

Значения коэффициента прочности сварных соединений  $\varphi$  приведены в ГОСТ 14249-89 для различных видов сварных швов. В данном случае обечайка баллона имеет стыковой шов, выполненный автоматической сваркой с флюсовой подкладкой, что соответствует значению коэффициента прочности  $\varphi = 0,9$ .

Исходные данные, использованные для расчета давления, при котором произошло разрушение баллона, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные	Обозначение	Значение
Наружный диаметр баллона, мм	$D_{\text{н}}$	219,0
Внутренний диаметр баллона, мм	$D_{\text{в}}$	205,4
Минимальное значение толщины стенки цилиндрической части баллона по результатам измерений, мм	$S_{\min}$	7,1
Минимальное значение временного сопротивления материала по результатам измерений, МПа	$\sigma_{\epsilon}^*$	706
Коэффициент прочности сварных соединений	$\varphi$	0,9

Таким образом, величина разрушающего давления для исследуемого баллона составила:

$$P = \sigma_{\epsilon}^* \times \ln \left[ \frac{D_{\epsilon} + 2 \times S_{\min}}{D_{\epsilon}} \right] \times \varphi = 706 \times \ln \left[ \frac{205,4 + 2 \times 7,1}{205,4} \right] \times 0,9 = 42,4 \text{ МПа.}$$

Из результатов расчета следует, что величина внутреннего избыточного давления газа в 2,8 раза превысила допустимое рабочее давление для исследуемого баллона.

Таким образом, применение различных методов измерения механических характеристик материала баллона и определения его химического состава в сочетании с использованием метода математического расчета позволило решить нестандартную экспертную задачу.

Учитывая это и принимая во внимание то, что разрушенный баллон полностью отвечал нормативно-техническим требованиям, следователем был сделан вывод о том, что его разрушение произошло не по вине предприятия-изготовителя баллона, не в результате его неправильного хранения или транспортировки, а вследствие существенного превышения внутреннего давления газа в нем.

**В. Н. Чукавин**, эксперт Приволжского регионального центра судебной экспертизы Министерства юстиции РФ

### **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ КАК НЕОБХОДИМАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЭКСПЕРТНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МЕТАЛЛОВЕДЧЕСКИХ ЭКСПЕРТИЗ: СЛУЧАЙ ИЗ ЭКСПЕРТНОЙ ПРАКТИКИ**

*Описано випадок із практики проведення повторних експертиз за фактом аварії транспортного засобу. Проаналізовано причини, за якими первинні експертизи не дали результатів. Показано порядок проведення комплексної криміналістичної експертизи, порушення якого могло призвести до неможливості вирішення питань по суті.*

*Описан случай из практики производства повторных экспертиз по факту аварии транспортного средства. Проанализированы причины, по которым первичные экспертизы не дали результатов. Показан порядок производства комплексной криминалистической экспертизы, нарушение которого могло привести к невозможности решения вопросов по существу.*

Изделия из металлов и сплавов часто выступают в качестве вещественных доказательств при расследовании дел, связанных с авариями транспортных средств, разрушением промышленных установок, металлоконструкций и т. п. Как показывает экспертная практика последних лет, наиболее часто на металловедческую экспертизу выносятся диагностические задачи, конечной целью которых является установление механизма и причины разрушения какого-либо металлического изделия. Решение такого рода задач обычно не вызывает затруднений у экспертов-металловедов. В таких случаях применяется стандартная схема, включающая фрактографическое исследование поверхности разрушения и в некоторых случаях установление марки сплава.