



## НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ТРУБОПРОВОДАХ И СОСУДАХ ДАВЛЕНИЯ

Академик НАН Украины **Л. М. ЛОБАНОВ**, **В. А. НЕХОТЯЩИЙ**, инж., **М. Д. РАБКИНА**, д-р техн. наук,  
**А. Л. ПАЛИЕНКО**, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины), **Г. Я. БЕЗЛЮДЬКО**, канд. техн. наук  
(НПФ «Специальные Научные Разработки»)

*Представлены результаты исследования новых возможностей обнаружения эксплуатационных повреждений с внутренней поверхности стенки сосудов бесконтактной ультразвуковой толщинометрией, основанной на электромагнитно-акустическом методе, с помощью прибора УТ-04 ЭМА. Дистанционное измерение толщины стенки — на примере баллонов для сжатых газов — этот метод позволяет дифференцированно подойти к оценке воздействия коррозии на металл и может рассматриваться как эффективное средство по предотвращению аварийных ситуаций во время эксплуатации.*

*The paper presents the results of investigation of new capabilities for detection of in-service damage from the inner surface of vessel wall by contactless ultrasonic thickness measurement, based on electromagneto-acoustic method, using UT-04 EMA instrument. Remote measurement of wall thickness in the case of compressed gas cylinders - this method allows a differentiated approach to assessment of corrosion impact on the metal, and it can be regarded as an effective means to prevent emergency situations in service.*

В настоящее время в Украине повышенное внимание обращено на баллоны среднего объема для сжатых газов [1–3]. Причина кроется в участившихся случаях взрывов кислородных баллонов, сопровождающихся человеческими жертвами [2, 3]. Согласно экспертным заключениям, происходящее — результат нарушений действующего нормативного документа [4]. Львиная доля нарушений приходится на «человеческий» фактор. Но, как показывает анализ, выполнение требований [4] не гарантирует безопасную эксплуатацию баллонов из-за отсутствия эффективных методов контроля их технического состояния. Это усугубляется долгосрочной, свыше 30 лет, и по сути бесконтрольной (в части деградации свойств металла) эксплуатацией подавляющей части многотысячного парка баллонов для сжатых газов [5].

Одной из основных операций при экспертном освидетельствовании является осмотр наружной и внутренней поверхностей с целью обнаружения дефектов, которые потенциально могли бы снизить прочность баллона. Речь идет о трещинах, пленах, раковинах, а также вмятинах, рисках и коррозионных повреждениях глубиной более 10 % номинальной толщины стенки на наружной поверхности, при выявлении которых баллон бракуется. В случае ремонта дефектов остаточная толщина стенки не должна быть ниже минимально допустимого значения по ГОСТ 949–73, т. е. 6,8 мм [6].

Наибольшую сложность представляет осмотр внутренней поверхности. В процессе эксплуа-

тации баллоны вследствие коррозии теряют массу. Коррозией повреждается преимущественно их внутренняя поверхность под воздействием влаги, содержащейся в газах. Масса баллона контролируется при освидетельствовании с помощью взвешивания.

В работе [4] установлена интегральная норма потери массы, при превышении которой баллон переводится на пониженное рабочее давление, либо бракуется. К примеру, при уменьшении массы на 10 % баллон переводится на давление, сниженное против первоначально установленного на 15% [4]. Даже если удастся заметить снижение массы баллона из-за интегральности показателя нельзя установить за счет общей или локальной коррозии оно произошло.

Таким образом, при освидетельствовании баллона согласно действующим нормам [4], нельзя обнаружить участок стенки, поврежденный локальной коррозией, который может отрицательно повлиять на эксплуатацию баллона.

**Выбор метода контроля внутренней поверхности баллона.** Сложность контроля внутренней поверхности баллона состоит в том, что повреждения, как уже отмечалось, находятся на поверхности, обзор которой через отверстие в горловине даже с помощью видеозендоскопа ограничен. Кроме того, поврежденные участки могут располагаться в любом месте внутренней поверхности. В противоположность внутренней, наружная поверхность баллона, находящегося в эксплуатации, не подвержена коррозии, так как она окрашена.



Исходя из трудностей, с которыми связан осмотр внутренней поверхности баллона с целью контроля его состояния на уровне рядовой экспертизы, предпринята попытка заменить или дополнить этот визуальный контроль сплошной толщинометрией оболочки. Выбор остановили на УЗ измерении толщины стенки с использованием электромагнитно-акустического (ЭМА) метода как наиболее практичном. Приняв за базу для отсчета наружную поверхность, которая при эксплуатации не подвергается коррозии, измеряя толщину стенки через краску дискретно в отдельных точках или непрерывно, представляется возможным отобразить профиль внутренней поверхности баллона. Полнота отображения профиля и возможность обнаружения изменений, связанных с коррозией, зависит от количества и частоты размещения точек измерения. В связи с этим предпочтительно измерение толщины проводить сканированием.

Преимущество ЭМА-метода в сравнении с контактными УЗ методами толщинометрии в том, что он обеспечивает контроль по неподготовленной (окрашенной) поверхности без промежуточной среды (воды, масла, глицерина и т. п.). Контакт преобразователя с поверхностью изделия осуществляется за счет электромагнитного взаимодействия.

Особенность метода заключается в бесконтактном возбуждении УЗ волн в металле, т. е. датчик не касается поверхности, работая через слой воздуха и краски. С помощью ЭМА-преобразователя в поверхностном слое контролируемого металла создается сильное магнитное поле. Как только в катушку, смонтированную на магните, подается импульс переменного тока УЗ частоты, в поверхностном слое образуются вихревые токи. В результате их взаимодействия с полем магнита возбуждается УЗ волна, импульс которой направлен перпендикулярно поверхности металла, инициируя при этом колебания так называемого поперечного вида. Войдя в металл, импульс УЗ-волны достигает противоположной поверхности, отражается от нее и возвращается к месту контакта с катушкой, откуда он был подан. Вернувшийся импульс УЗ-волны взаимодействует с магнитным полем (создаваемым постоянным магнитом), в результате чего в поверхностном слое контролируемого металла снова возникают вихревые токи, электромагнитное поле которых наводит в катушке (которая смонтирована на постоянном магните) импульсы тока. Импульсы тока обрабатываются в значения толщины контролируемого металла.

Цель работы состояла в исследовании возможностей ЭМА-метода с помощью измерений толщины стенки установить контроль состояния внутренней поверхности баллона и в разработке предложений по его практическому использованию.

**Материалы и методика проведения.** Для выполнения работы применен УЗ толщиномер УТ-04 ЭМА (Дельта), созданный фирмой «Специальные Научные Разработки». Исследование возможностей контроля внутренней поверхности осуществлялось в два этапа: на контрольном образце, а затем на стандартных кислородных баллонах.

При проведении эксперимента на образце стояла задача установить достоверность отображения рельефа поверхности по измерениям толщины стенки с противоположной поверхности. Для этого был взят лист металла толщиной 5 мм прямоугольной формы (240×440 мм), имитирующий развертку фрагмента цилиндрической стенки баллона. На его лицевую и обратную поверхности наносились соответствующие друг другу координатные сетки с шагом 20×20 мм. Механически обратная поверхность листа на двух участках была модельно повреждена. А затем УЗ толщиномером ТУЗ-3 в узлах координатной сетки с лицевой поверхности проведен обмер образца.

На основании проведенных измерений построены диаграммы распределения толщин в образце для координатных сеток 40×40 и 20×20 мм. Как показали результаты, распределение толщин практически полностью соответствовало повреждению на обратной поверхности образца. При этом результаты измерений с координатной сеткой 20×20 мм более информативны.

Таким образом, проведенный эксперимент подтвердил потенциально правильность решения об использовании толщинометрии со сканированием для отслеживания состояния внутренней поверхности баллона.

**Проведение исследования.** Исследование ЭМА-методом на стандартных кислородных баллонах проводилось на специализированном стенде толщиномером УТ-04 ЭМА с преобразователем, установленным на тележке с датчиком пути (рис. 1). Стенд оснащен простым приводом как для непрерывного перемещения тележки, так и для работы с остановками, на которых проводилось измерение толщины стенки баллона.

Измерениям была подвергнута партия баллонов с разным сроком службы, в том числе три новых баллона и семь снятых с эксплуатации (таблица). Зазор между преобразователем и окрашенной поверхностью баллона составил 0,5 мм. Измерение толщины осуществлялось последовательно по мере перемещения тележки с преобразователем в 28 точках на каждой из 16 образующих наружной поверхности. Управление процессом измерения было ручным. Следует отметить, что возможности прибора позволяют надежно работать с зазором до 2 мм.

Таким образом, толщина цилиндрической стенки баллона была измерена в 448 точках, равномерно

размещенных на наружной поверхности. Результаты измерений по каждому баллону были сохранены в памяти толщиномера, а затем с помощью программы «Толщиномер» преобразованы в удобный для практического использования вид.



Рис. 1. Измерение толщины стенки прибором УТ-04 ЭМА

Измерения показали, что реальная толщина стенок изменяется в широких пределах независимо от срока службы исследуемых баллонов (см. таблицу). При этом диаграммы распределения толщин (рис. 2) отражают состояние внутренней поверхности баллонов и указывают на потенциально опасные участки цилиндрической стенки. В связи с неопределенностью места расположения таких участков в баллоне их наиболее вероятно обнаружить с помощью измерений со сканированием.

Свидетельством отсутствия надежного способа контроля состояния стенки баллонов явились результаты выполненных измерений: из пятнадцати эксплуатируемых три баллона подлежат отбраковке, а из семи снятых с эксплуатации в четырех толщина стенки соответствует требованиям [6].

Следует заметить, что технология производства баллонов и правила их освидетельствования формировались на определенном уровне возможностей и пониманий много лет назад. Сейчас с уверенностью можно утверждать, что не каждое утонение стенки баллона является несомненным

**Характеристика исследуемых баллонов по результатам толщинометрии**

Номер п/п	Заводской номер	Срок эксплуатации, год	Толщина стенки $\delta$ , мм		Нормативная пригодность к эксплуатации
			мин.	макс.	
Сдаваемые в эксплуатацию					
1	25	0	7,3	8,9	Пригоден
2	785	0	7,5	9,8	-«-
3	15365	0	7,3	8,8	-«-
Находящиеся в эксплуатации					
4	93636	18	6,9	9,1	-«-
5	467838	19	8,2	9,3	-«-
6	56607	21	6,8	8,6	-«-
7	1345	22	7,6	8,9	-«-
8	252557	27	8,0	9,7	-«-
9	224582	28	7,4	9,4	-«-
10	130503	30	7,2	9,1	-«-
11	112671	35	6,6	8,3	не пригоден
12	116264	33	6,8	8,7	пригоден
13	115181	36	6,0	9,7	не пригоден
14	286897	36	8,0	9,8	пригоден
15	30013	48	6,0	10,8	не пригоден
Снятые с эксплуатации					
16	269418	36	6,6	8,5	не пригоден
17	89952	48	6,1	10,3	-«-
18	91200	45	5,6	9,0	-«-
19	86482	48	6,9	8,2	пригоден
20	49607	49	7,4	8,0	-«-
21	147710	52	7,3	9,2	-«-
22	153737	56	7,8	9,6	-«-

*Примечание.* Минимально допустимая толщина стенки 6,8 мм согласно ГОСТ 949–73.

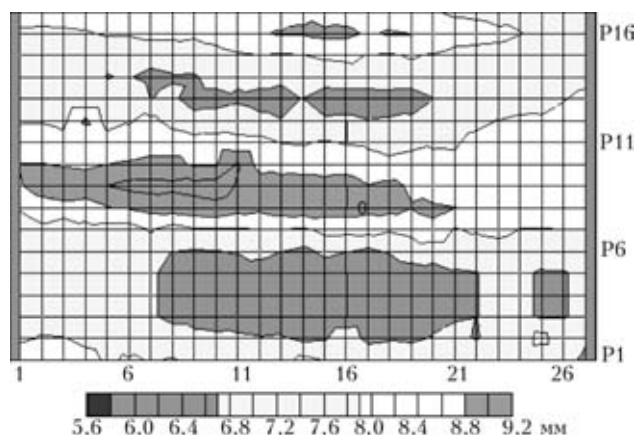


Рис. 2. Диаграмма распределения толщины стенки в баллоне № 13

поводом для его отбраковки. И здесь эффективным подтверждающим приемом могла бы быть сопутствующая коэрцитиметрия металла в области утонения. Если в такой зоне за время службы коэрцитивная сила металла не возросла по сравнению со средним значением по баллону, то это является доказательством того, что концентрации напряжений здесь не происходит. За счет перераспределения напряжений с соседними областями ускоренного накопления поврежденности в области локального утонения нет.

Технически несложно изготовить прибор, который одновременно одним и тем же датчиком измерял бы и толщину, и коэрцитивную силу металла. Изготовить простой механический стенд для оперативного 100 % контроля оболочки каждого баллона перед или в процессе его заправки сегодня и вовсе несложно и недорого. Такой контроль с базой данных по каждому баллону позволит существенно повысить безопасность эксплуатации парка баллонов [7].

## Выводы

Для повышения требований к техническому освидетельствованию эксплуатируемых баллонов показана необходимость отказа от интегрального

показателя потери массы от коррозии (п. 10.2.18 НПА ОП 0.00–1.07).

Бесконтактное измерение толщины стенки УЗ методом дает возможность дифференцированно подойти к оценке воздействия коррозии на металл баллона и может рассматриваться как эффективное средство по предотвращению аварийных ситуаций во время эксплуатации.

Выполненная работа показала, что с помощью измерения толщины стенок возможен эффективный контроль внутренней поверхности, являющийся составной частью оценки пригодности баллона к эксплуатации.

Для повышения разрешающей способности предложенного контроля следует рекомендовать увеличение точек измерения и применение сканирования.

Предложенный способ контроля состояния труднодоступных внутренних поверхностей с помощью УЗ толщиномера УТ-04 ЭМА должен найти широкое применение при диагностике металлоконструкций.

1. *Магнитный контроль и структурно-текстурные особенности металла кислородных баллонов* / Л. М. Лобанов, В. А. Нехотящий, М. Д. Рабкина и др. // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2011. — № 1. — С. 7–12.
2. *Чижиченко В. П.* Взрывобезопасность кислородных баллонов // Технические газы. — 2009. — № 6. — С. 64–65.
3. *Белосточный А. В., Троцан А. И., Коротич И. К.* Исследование металла цельнометаллических баллонов для сжатых газов, разрушившихся при эксплуатации // Вісн. Призов. держ. техн. ун-ту. — 2009. — Вип. № 19. — С. 91–94.
4. *НПА ОП 0.00-1.07-94.* Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (с изм. и доп.).
5. *Рубан А. Г.* Международный опыт обновления газобаллонного парка производителей промышленных газов // Технические газы. — 2009. — № 6. — С. 54–63.
6. *ГОСТ 949-73.* Баллоны стальные малого и среднего объема для газов на Рр Г 1 9,6 МПа.
7. *Безлюдько Г. Я., Елкина Е. И., Попов Б. Е.* Радикальное улучшение оценки текущего состояния кислородных баллонов применением метода коэрцитивной силы (по результатам исследований 1990–2000 гг.) // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2011. — № 3. — С. 34–35.

Поступила в редакцию  
16.04.2012