

АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ РАЙОНАХ СЕВЕРА

© 2019 г. А.М. Большаков^{1,*} Я.М. Андреев^{1,**}

¹*Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН,
Россия 677980 Республика Саха, Якутск, ул. Октябрьская, 1
E-mail: *a.m.bolshakov@mail.ru; **yakovmich@yandex.ru*

Поступила в редакцию 13.07.2017; после доработки 05.10.2018;
принята к публикации 09.11.2018

Длительная безопасная эксплуатация вертикальных стальных резервуаров для хранения нефтепродуктов (РВС) в труднодоступных районах Севера подразумевает объективное своевременное обнаружение различных видов зарождающихся и имеющихся дефектов с дальнейшей организацией контроля за их развитием. Условия слабого развития инфраструктуры регионов Севера и климатических особенностей, затраты времени и материальных средств на подготовку стандартного объема диагностирования РВС отрицательно влияют на производительность и качество его выполнения. Следовательно, с учетом этих обстоятельств необходим другой подход к диагностированию РВС, эксплуатирующихся в труднодоступных районах Севера. С учетом особенностей эксплуатации РВС в условиях низких температур Севера, на основе анализа аварий и инцидентов, произошедших в результате деградации металлоконструкций РВС, определены источники разрушений, показаны основные проблемы выявляемости плоскостных дефектов, приводящих к катастрофическим разрушениям РВС, предложен усовершенствованный метод локального нагружения несущих элементов РВС при проведении акустико-эмиссионного (АЭ) контроля.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, трещина, хладагент, акустическая эмиссия, диагностирование, нагружение.

DOI:10.1134/S0130308219030035

Из [1] следует, что основными причинами повреждений и аварий резервуаров для хранения нефтепродуктов, длительно эксплуатирующихся в условиях Севера, являются изменение механических свойств сталей в сторону уменьшения хладостойкости, применение марок сталей, не соответствующих низкотемпературным условиям эксплуатации (таких как СтЗсп и редко Ст2кп), низкая выявляемость опасных развивающихся плоскостных дефектов мобильными методами неразрушающего контроля (НК). Известно, что основными повреждениями РВС [1—3], длительно эксплуатирующихся в условиях низких температур, являются плоскостные типы дефектов, которые, согласно распределению по типу дефектов на плоскостные и объемные, занимают 47 %. Таким образом, деградация металла элементов РВС в совокупности с ухудшением хладостойкости и развитием невыявленных плоскостных типов дефектов на несущих элементах металлоконструкции резко увеличивает риск катастрофического разрушения, в связи с этим возникает необходимость увеличения выявляемости данных дефектов.

Обнаружение плоскостных типов дефектов такими распространенными методами НК, как рентгенографический контроль, ультразвуковой контроль и др., затруднено в основном тем, что они направлены на поиск дефектов, образовавшихся в процессе эксплуатации, и не подходят для определения дефектов на раннем этапе их развития. Последнее является наиболее важным, так как при низких температурах эксплуатации в РВС, превысивших нормативный срок, уже произошли необратимые изменения механических свойств стали в сторону охрупчивания. Таким образом, существующие традиционные методы неразрушающего контроля повреждений металла при оценке надежности резервуаров недостаточно эффективны.

Следовательно, необходимо использовать расширенные подходы и методы контроля, в частности АЭ-метод. Однако его применение на РВС ограничивается рядом факторов, основными из которых являются техническая сложность его реализации и высокая себестоимость. При стандартной схеме проведения АЭ-диагностирования резервуара для получения акустических импульсов от потенциальных дефектов в резервуарах создается упругая или пластическая деформация всей конструкции путем налива и слива воды. Нагружение при этом занимает достаточно длительное время, сопровождается значительными акустическими помехами.

С целью уменьшения недостатков стандартного метода АЭ-диагностирования РВС и, соответственно, увеличения выявляемости дефектов, предложено изменение методики нагружения на участках РВС, где при традиционном методе нагружения дефекты не выявляются либо выявляют-

ся со сниженной степенью опасности. Суть предлагаемого нагружения заключается в изменении напряженно-деформированного состояния материала [4] на локальном участке РВС путем его охлаждения твердым диоксидом углерода. Поскольку данный метод контроля проводится только на локальных участках и является достаточно мобильным, предложено его применять для поиска развивающихся дефектов в РВС, эксплуатирующихся в труднодоступных районах Севера.

Рассмотрим пример АЭ-диагностирования локального участка днища резервуара РВС-3000 с низкотемпературным нагружением. Объект контроля представляет собой соединенные между собой дуговой сваркой 8 прокатные стальные листы 7 толщиной 4 мм (рис. 1).

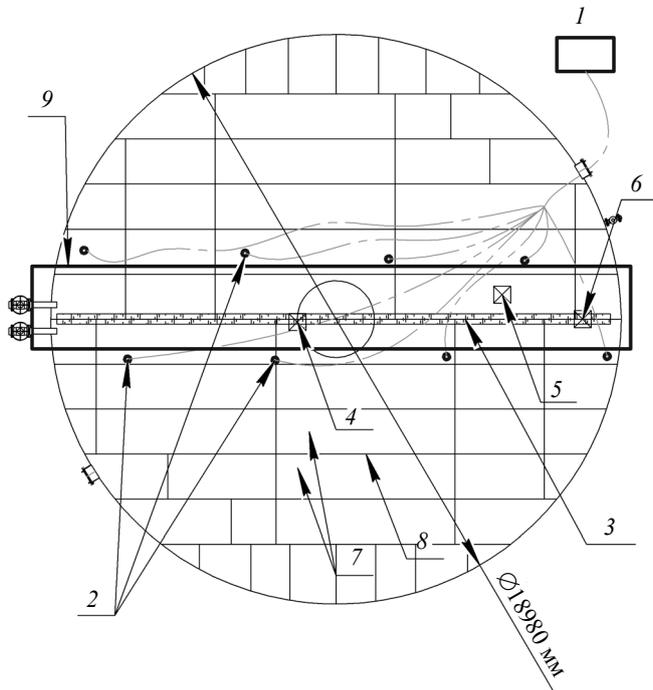


Рис.1. Схема АЭ-диагностирования при низкотемпературном методе нагружения днища РВС-3000:

1 — блок регистрации и обработки акустических сигналов; 2 — преобразователи акустической эмиссии; 3 — хладагент в виде твердого диоксида углерода; 4, 5, 6 — обнаруженные дефекты; 7 — стальные прокатные листы; 8 — сварное соединение; 9 — участок контроля.

Контроль проводился АЭ-комплексом российской разработки Эксперт-2014 [5] в три основных этапа:

выбор участка днища с учетом анализа распределения дефектов [2, 3] (на основании анализа технического состояния днища участком контроля выбрана центральная часть днища 9);

настройка параметров АЭ-комплекса с предварительным тестированием;

размещение твердого диоксида углерода (CO_2) таким образом, чтобы на участке контроля можно было получить максимальные напряжения растяжения.

Классификация источников АЭ по степени опасности при проведении контроля любого объекта является важнейшей операцией АЭ-метода диагностирования, позволяет связать параметры АЭ с параметрами предельного состояния объекта контроля. По результатам предыдущего диагностирования днища резервуара, выполненного стандартными средствами НК, коррозионных повреждений обнаружено не было, поэтому причиной потерь нефтепродукта могли быть трещины, соответственно тип принимаемых сигналов будет дискретным. Подходящим критерием для оценки подобных типов источников АЭ является локально-динамический критерий (МР 204-86 [6]). Поскольку возникающие акустические помехи и технологические шумы при низкотемпературном нагружении минимальны, для более точной оценки состояния участка днища выбран встроенный в программное обеспечение АЭ-комплекса модифицированный локально-динамический критерий [7—9]. Модификация критерия заключается в совмещении с интегрально-динамическим критерием (NDIS 2412-80, Япония [6]), который, в дополнение к числу и энергии событий, учитывает концентрацию принимаемых событий на виртуальных кластерах, при этом расчет производится встроенным программным обеспечением комплекса [7]. Тем не менее из-за высокой чувствительности к акустическим помехам он не получил распространения. Частота акустической эмиссии при развитии трещины обычно находится в пределах 105—300 кГц, следовательно, необходимы преобразователи акустической эмиссии (ПАЭ) с полосой пропускания от 50 до 300 кГц.

При расстановке и выборе количества (8) ПАЭ следовали ГОСТ Р 52727—2007 [10] и методике ПБ 03-593-03 [6] (см. рис. 1), для подбора расстояний между ПАЭ и установления порога дискриминации (45 дБ) использовался источник Су-Нильсена. По результатам имитаций производилось программирование каналов: время определения конца событий установлено 500 мкс, время определения пика события — 180 мкс, длительность блокировки канала после определения события, то есть мертвое время, — 17 000 мкс. Полезные шумы от фоновых выделялись во время тестового низкотемпературного нагружения с установкой программных фильтров на частоте от 160 до 230 кГц.

Длительность низкотемпературного нагружения при температуре внутри резервуара +8 °С составила 1 ч с продолжительностью регистрации лоцированных (АЭ, идентифицированные как развивающиеся дефекты) событий 17 мин от начала низкотемпературного нагружения (рис. 2), их частота находилась в пределах 180—215 кГц с амплитудой до 60 дБ.

По результатам контроля зарегистрированы критически активные источники акустических эмиссий III класса опасности [6, 7].

Источник № 1 соответствует 4 (см. рис. 1) и 1 (рис. 2). На данном секторе присутствует сварное соединение опорного кольца центральной стойки резервуара к его днищу. При проведении ультразвукового обследования сварного соединения обнаружена протяженная несплошность с высотой на всю толщину проката.

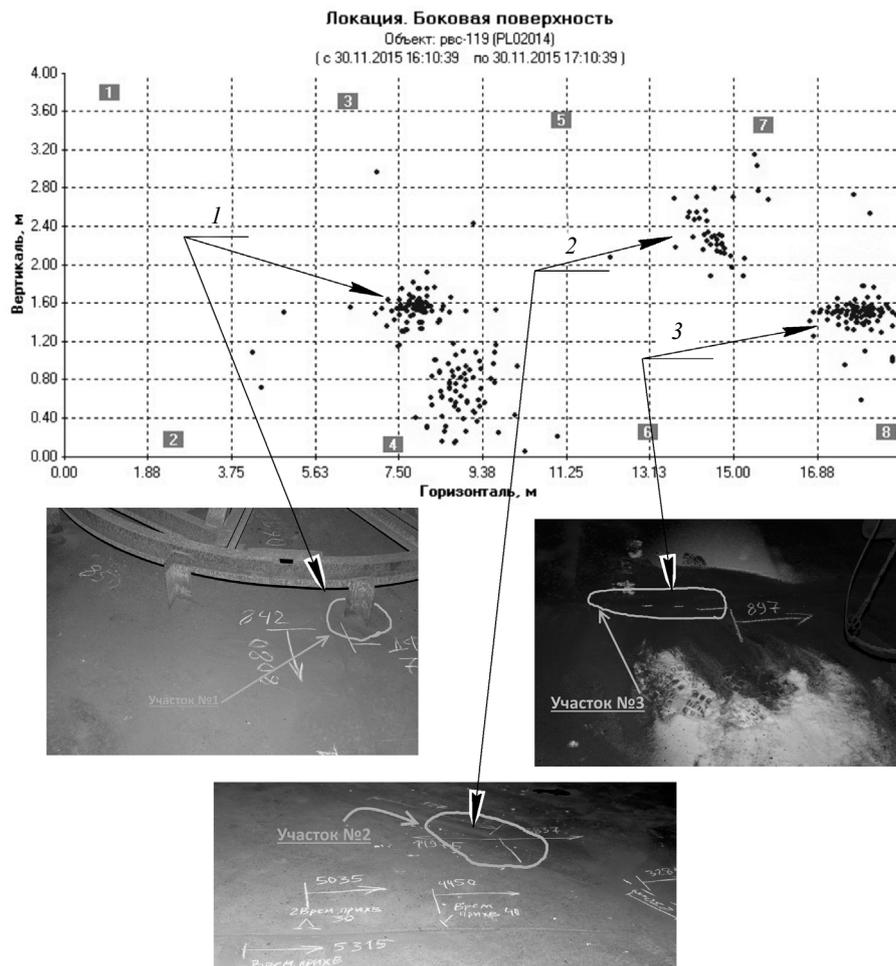


Рис. 2. Лоцированные АЭ на днище резервуара и источники АЭ (№ 1, 2 и 3).

Источник № 2 соответствует 5 (см. рис. 1) и 2 (см. рис. 2). На его секторе обнаружена граница локальной деформации в виде вмятины (хлопуна) с резкими перегибами. Соответственно, источником акустической эмиссии на этом секторе является изменение структуры материала. Переносным ультразвуковым твердомером установлено снижение твердости материала проката на данном секторе относительно других на 50 %, что свидетельствует об изменении структуры материала.

Источник № 3 соответствует 6 (см. рис. 1) и 3 (см. рис. 2). На нем обнаружен дефект в виде вырыва основного металла проката, последующий ультразвуковой контроль показал наличие протяженной несплошности по границам вырыва и превышающие его размеры.

На основании полученных результатов АЭ-диагностирования и других методов НК обнаружены причины утечки нефтепродукта: два дефекта из трех относятся к трещиноподобным, третий идентифицируется как изменение структуры материала проката, которое связано с циклической деформацией вмятины (хлопуна). Представленный метод нагружения показал высокую точность определения зарождающихся дефектов за счет снижения посторонних помех и уменьшения объема контроля. Таким образом, данное усовершенствование существенно снижает общую себестоимость диагностирования без снижения выявляемости опасных плоскостных дефектов и, соответственно, за счет мобильности может быть применен при диагностировании резервуаров, эксплуатирующихся в труднодоступных районах Севера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большаков А.М., Андреев Я.М.* Характер дефектов и виды отказов резервуаров, работающих в условиях Севера // Газовая промышленность. 2012. № 3. С. 90—92.
2. *Bol'shakov A.M., Andreev Y.M.* The types of failures and defect distribution by degree of danger of reservoirs exploited in the extreme north // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2014. V. 50. No. 9. P. 499—505.
3. *Большаков А.М., Андреев Я.М.* Характер отказов резервуаров для хранения нефтепродуктов, эксплуатирующихся в условиях Севера по принципу плоскостных и объемных дефектов / Материалы МК «ЖиКМ» 22—24 октября 2012 г. М.: ИМАШ РАН. С. 12—13.
4. *Андреев Я.М., Большаков А.М.* Патент. Способ низкотемпературного локального нагружения объекта при акустико-эмиссионном методе неразрушающего контроля. Изобретение № 2614190. 23.03.2017.
5. Акустико-эмиссионный комплекс Эксперт-2014. Дзержинск. URL:<http://www.alcor.pro/expert-2014.php>
6. ПБ 03-593-03. Приказ Ростехнадзора от 13.01.2015 № 5. Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов. М.: 2015. С. 64. Система стандартов полинформ.
7. ТИКБ.466.535.202И2. Инструкция по использованию источников акустических эмиссий и алгоритм коммутации каналов комплексного программного обеспечения. ЗАО НПО «АЛЬКОР». Дзержинск.
8. *Dunegan H.L. & Hartman W.F.* Advances in acoustic emission // Hardcover. 1979.
9. *Harris D., Dunegan H.* Non-Destructive Testing, Acoustic emission-5 // Applications of acoustic emission to industrial problems. 1974. No. 7(3). P. 137—144.
10. ГОСТ Р 52727—2007. Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Общие требования.