

УДК 620.179.16

## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ, ПРИ ОГРАНИЧЕННОМ ДОСТУПЕ К ПОВЕРХНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

А.И. ГНЕВКО, О.Е. ЗУБОВ, С.В. ГРАЗИОН, М.В. МУКОМЕЛА, В.А. КОБЗЕВ

Предложено применение известного метода акустической эмиссии для оценки технического состояния объектов, работающих под давлением, при ограниченном доступе к поверхности контролируемого объекта. При этом сокращаются расходы времени и средств, а также повышается достоверность результатов контроля. Преимущество отработанной методики подтверждено примером оценки технического состояния газификаторов.

**Ключевые слова:** акустическая эмиссия, техническое состояние объекта, ограниченный доступ.

Среди объектов, работающих под давлением и требующих периодического контроля их технического состояния, присутствует большая группа объектов, которые имеют ограниченный доступ к их поверхности, или он отсутствует. К таким объектам относятся прежде всего различные газификаторы, которые предназначены для хранения криогенных веществ, их газификации и выдачи потребителям. Газификаторы изготовлены по типу сосуда Дьюара и состоят из внутреннего сосуда и наружного сосуда. При этом контролю необходимо подвергать внутренний сосуд. Такие газификаторы широко используются как в наземном технологическом оборудовании, так и на летательных аппаратах.

Отсутствие непосредственного доступа к объекту контроля определяет выбор методов неразрушающего контроля (НК), которые должны обеспечить высокую достоверность оценки технического состояния объекта контроля. Исходя из особенностей конструкции газификаторов наиболее перспективным и реализуемым, в том числе и в условиях эксплуатации, методом неразрушающего контроля представляется метод акустической эмиссии (АЭ). Возможность применения метода АЭ при отсутствии непосредственного доступа к контролируемой поверхности объясняется тем, что в конструкции газификаторов имеются технологические элементы и трубопроводы, которые могут выступать в качестве акустических волноводов между внутренней емкостью и кожухом.

Метод (АЭ) является одним из наиболее перспективных методов НК для выявления негерметичности сосудов, работающих под давлением, и распространения трещин в материале металлоконструкций. Метод теоретически позволяет не только регистрировать возникновение очагов разрушения, но и определять их координаты, контролировать скорость разрушения, даже если очаги разрушения скрыты под слоем покрытия или находятся в труднодоступном для наблюдения месте на значительном расстоянии (десятки метров) от места стационарно установленного датчика.

Метод АЭ один из пассивных методов акустического контроля основан на регистрации и анализе акустических волн, возникающих в процессе локальной динамической перестройки структуры материала в виде пластической деформации. Акустическая эмиссия связана с появлением, движением и исчезновением дефектов кристаллической решетки, возникновением и развитием микро- и макротрещин; разрывов сплошности материала; трения (в том числе "берегов" трещины друг о друга). Кроме того, процессы утечки рабочей среды способствуют появлению акустических волн. Процесс АЭ проявляется в виде отдельных акустических импульсов, на приеме и регистрации которых основана аппаратура, реализующая данный метод. Широкому его применению способствуют высокая чувствительность, простота использования, возмож-

ность применения для различных материалов, а также то, что метод позволяет по-новому подойти к понятию дефекта.

Применение метода АЭ позволяет формировать адекватную систему классификации дефектов и критерии оценки состояния объекта, основанные на реальном влиянии дефекта на объект.

В процессе мгновенной локальной перестройки структуры материала, обусловленной проявлением дефекта, возникает упругое возмущение, которое распространяется в материале и может быть зафиксировано чувствительными приемниками, расположенными на поверхности контролируемой конструкции. Такая единичная реализация упругой энергии, связанная с проявлением дефекта, называется актом акустической эмиссии. В результате регистрации акта АЭ датчиками, расположенными на поверхности конструкции, возникают электрические сигналы, или сигналы акустической эмиссии.

Характерными особенностями метода АЭ контроля, определяющими его возможности и область применения, являются:

- метод АЭ контроля обеспечивает обнаружение и регистрацию только развивающихся дефектов, что позволяет классифицировать дефекты не по размерам, а по степени их опасности;
- метод АЭ контроля обладает весьма высокой чувствительностью к растущим дефектам - позволяет выявить в рабочих условиях приращение трещины порядка долей миллиметра. Предельная чувствительность акустико-эмиссионной аппаратуры по теоретическим оценкам составляет порядка  $1 \times 10^{-6} \text{ мм}^2$ , что соответствует выявлению скачка трещины протяженностью 1 мкм на величину 1 мкм;
- свойство интегральности метода АЭ контроля обеспечивает контроль всего объекта с использованием одного или нескольких преобразователей АЭ контроля, неподвижно установленных на поверхности объекта;
- метод АЭ позволяет проводить контроль различных технологических процессов и процессов изменения свойств и состояния материалов;
- положение и ориентация объекта практически не влияет на выявляемость дефектов;
- метод АЭ имеет меньше ограничений, связанных со свойствами и структурой материалов;
- особенностью метода АЭ, ограничивающей его применение, является в ряде случаев трудность выделения сигналов АЭ из помех. Это объясняется тем, что сигналы АЭ являются шумоподобными, поскольку АЭ есть стохастический импульсный процесс. Поэтому, когда сигналы АЭ малы по амплитуде, выделение полезного сигнала из помех представляет собой сложную задачу.

При развитии дефекта, когда его размеры приближаются к критическому значению, амплитуда сигналов АЭ и темп их генерации резко увеличиваются, что приводит к значительному возрастанию вероятности обнаружения такого источника АЭ.

Метод АЭ может быть использован для контроля объектов при их изготовлении, в процессе приемочных испытаний, при периодических технических освидетельствованиях, в процессе эксплуатации.

Целью АЭ контроля является обнаружение, определение координат и слежение (мониторинг) за источниками акустической эмиссии, связанными с несплошностями на поверхности или в объеме стенки объекта контроля, сварного соединения и изготовленных частей и компонентов. АЭ метод может быть использован также для оценки скорости развития дефекта в целях заблаговременного прекращения испытаний и предотвращения разрушения изделия. Регистрация АЭ позволяет определить образование свищей, сквозных трещин, протечек в уплотнениях, заглушках и фланцевых соединениях.

АЭ-контроль технического состояния обследуемых объектов проводится только при создании в конструкции напряженного состояния, инициирующего в материале объекта работу источников АЭ. Для этого объект подвергается нагружению силой, давлением, температурным полем и т.д. Выбор вида нагрузки определяется конструкцией объекта и условиями его работы, характером испытаний. Вместе с тем возможность реализации достоинств метода АЭ при оценке

технического состояния внутренней емкости может зависеть от ряда обстоятельств и быть связана, главным образом, со следующими причинами:

- трудность расшифровки сигналов о разрушении материалов в условиях разного рода помех, а также из-за отсутствия однозначных зависимостей между параметрами сигнала АЭ и длиной трещины;
- недостаточная отработанность методики применения на конкретных конструкциях.

В связи с отмеченными особенностями и ограничениями необходима отработка методики акустико-эмиссионного контроля внутренней емкости газификатора, которая должна содержать:

- определение возможности использования АЭ метода для контроля внутренней емкости газификатора;
- выбор конфигурации АЭ системы;
- получение параметров сигналов АЭ при разрушении внутреннего сосуда газификатора;
- исследование возможности замены гидравлических испытаний пневматическими;
- изучение особенностей проведения контроля АЭ без демонтажа с объекта, где он используется.

Примером рекомендуемой отработки может служить исследование двух типов газификаторов (рис. 1, 2). Внутренний сосуд газификатора тип 1 изготовлен из нержавеющей стали, а газификация осуществляется за счет наличия внутреннего нагревательного элемента. Внутренний сосуд газификатора тип 2 изготовлен из алюминиевого сплава АМц, а газификация осуществляется за счет наличия внешнего трубчатого теплообменника.

Для определения возможности использования АЭ метода для контроля внутренней емкости газификаторов проводилось исследование наличия акустического канала между наружной оболочкой (на которой устанавливался преобразователь АЭ) и внутренней емкостью. Проведенные исследования показали, что при многократной имитации сигналов АЭ (с использованием имитатора Су-Нельсона) на внутренней емкости, преобразователи акустической эмиссии (ПАЭ), установленные на кожухе, уверенно регистрируют сигналы. Выбор конфигурации АЭ системы заключался в определении частотного диапазона контроля, количества необходимых ПАЭ для контроля, параметров настройки АЭ комплекса.

**Таблица 1**

Характеристики преобразователей

Тип датчика	Область применения	Резонансная частота, кГц	Габариты без кабеля, мм	Масса с кабелем и разъемом, не более, г	Рабочая полоса частот, кГц
ДР15ИАТ	Контроль сосудов давления, котлов, технологических трубопроводов и др.	150	Диаметр - 28 Высота - 32	95	75÷300
ДР6ИАТ	Контроль стенок резервуаров, сосудов, магистральных и технологических трубопроводов	60	Диаметр - 28 Высота - 38	140	30÷120

Для контроля использовался акустико-эмиссионная система «Малахит АС-14А», включающая системный блок, преобразователи (датчики) акустической эмиссии, кабельные линии. Применяемые преобразователи относились к резонансному типу «специальные промышленные», класс II (РД 03-300-99). Требования к преобразователям акустической эмиссии, применяемым для контроля опасных производственных объектов, являлись резонансными и ненаправленными. Чувствительный элемент преобразователя и предварительный усилитель конструк-

тивно совмещены в одном корпусе, что снижало уровень электромагнитных помех. Характеристики преобразователей приведены в табл. 1.

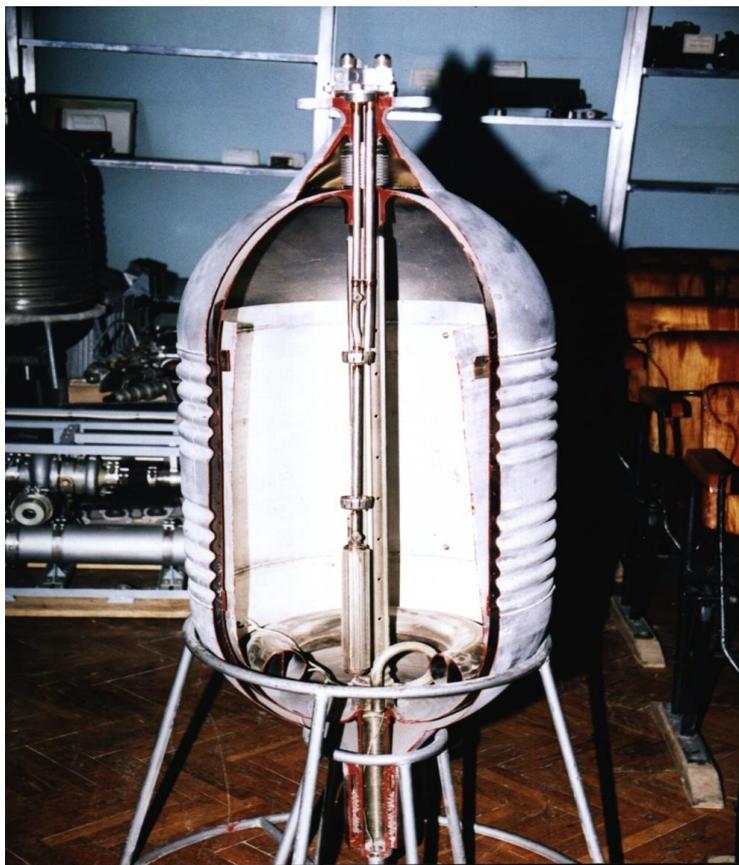


Рис. 1. Газификатор тип 1. Разрез



а



б

Рис. 2. Газификатор тип 2: а – общий вид; б – разрез

Преобразователи устанавливались на внешний кожух. Сигналы имитировались в нижней и верхней частях внутренней емкости (рис. 3, 4).

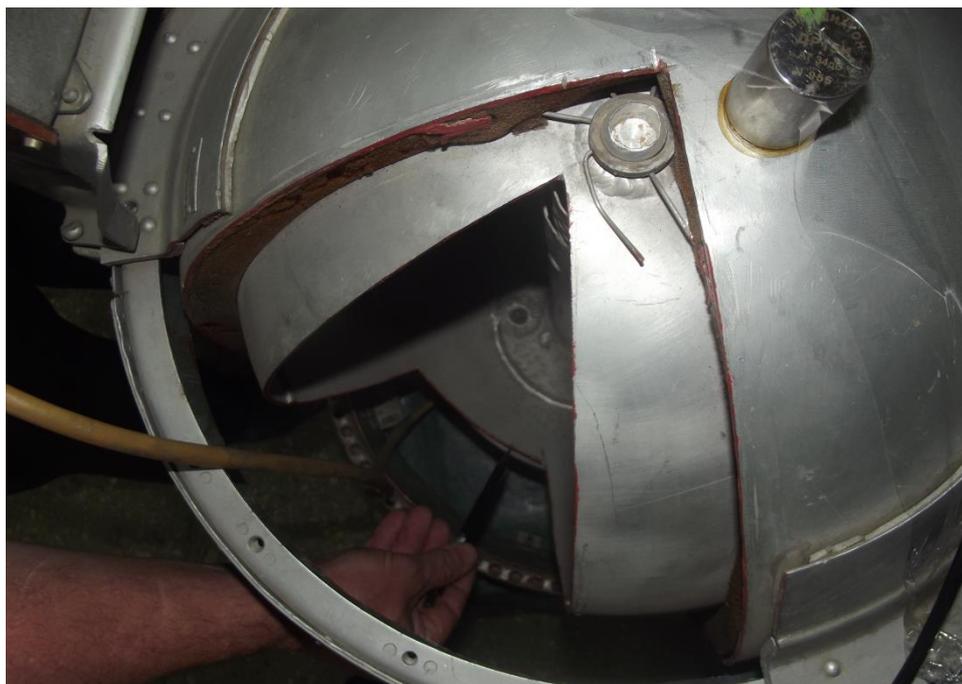


Рис. 3. Имитация сигналов АЭ в нижней части



Рис. 4. Имитация сигналов АЭ в верхней части

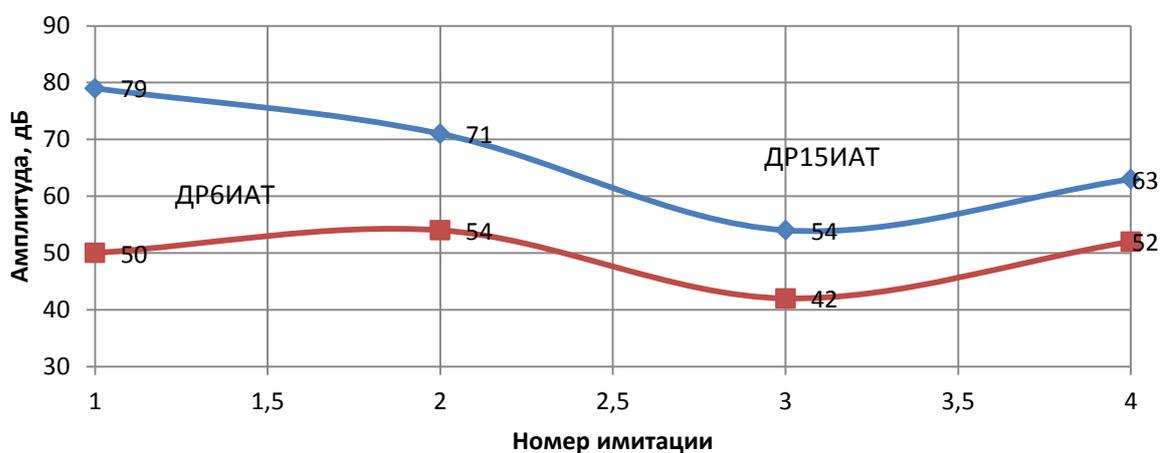
Проведенные исследования показали, что:

- для ПАЭ ДР15ИАТ регистрируемая амплитуда при имитации сигналов АЭ:
  - в нижней части внутренней емкости лежит в интервале 74-89 дБ;
  - в верхней части внутренней емкости лежит в интервале 54-79 дБ;
- для ПАЭ ДР6ИАТ регистрируемая амплитуда при имитации сигналов АЭ:
  - в нижней части внутренней емкости лежит в интервале 46-68 дБ;
  - в верхней части внутренней емкости лежит в интервале 42-53 дБ.

На рис. 5-6 представлены графики изменения амплитуды регистрируемые ПАЭ ДР15ИАТ и ДР6ИАТ при имитации сигналов АЭ в нижней и верхних частях внутренней емкости газификатора. Точки на графиках соответствуют математическому ожиданию при шести измерениях амплитуды.



**Рис. 5.** Графики амплитуды для ДР15ИАТ и ДР6ИАТ при имитации сигналов АЭ в нижней части внутренней емкости



**Рис. 6.** Графики амплитуды для ДР15ИАТ и ДР6ИАТ при имитации сигналов АЭ в верхней части внутренней емкости

Результаты выполненных работ свидетельствуют о том, что для акустико-эмиссионного контроля внутренней емкости газификатора достаточно одного ПАЭ ДР15ИАТ, установленного на верхней части кожуха газификатора. Может устанавливаться и второй ПАЭ на верхней части кожуха для повышения достоверности результатов контроля и сокращения возможных перерывов в ходе испытаний, связанных с заменой датчика.

Для получения реальных параметров сигналов АЭ при разрушении внутренней емкости было проведено гидронагружение внутренней емкости газификатора до разрушения с контролем АЭ. После завершения испытаний кожух газификатора был разрезан и снят. Изучение внутренней емкости показало, что разрушение произошло по зоне термического влияния нижнего сварного шва (рис. 7, 8). Излом имеет вязкий характер.

Установлено, что устойчивые сигналы АЭ возникают, если нагрузка превышает 85% от разрушающей. Таким образом, имеется возможность своевременно останавливать повышение

нагрузки и предотвращать разрушение. Отмеченные особенности позволяют осуществлять замену гидравлических испытаний пневматическими в случае использования метода АЭ.

Исследование возможности проводить испытания пробными нагрузками без демонтажа газификатора с объекта показало, что требуется изготовление дополнительных относительно недорогих переносных приспособлений для обеспечения и контроля пневмонагружения. Поэтому многократно сокращаются сроки и стоимость работ по оценке технического состояния газификаторов.

В результате анализа графиков изменения параметров сигналов АЭ, регистрируемых при нагружении, были выявлены основные параметры сигналов АЭ, по изменению которых можно судить о процессах, происходящих в металлоконструкции при нагружении.



**Рис. 7.** Общий вид места разрушения снаружи



**Рис. 8.** Общий вид места разрушения внутри

Проведенные работы и исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Для контроля технического состояния внутренней емкости газификаторов возможно использование метода АЭ.
2. Анализ параметров сигналов АЭ, регистрируемых при нагружении, позволяет распознавать процессы, происходящие в металлоконструкции.
3. Применение метода АЭ при оценке технического состояния объектов, работающих под давлением, при ограниченном доступе к поверхности позволяет сократить расходы времени и средств, а также повысить достоверность результатов контроля. Преимущество отработанной методики подтверждено примером при оценке технического состояния газификаторов.
4. Рассмотренная методика обследования технического состояния наиболее нагруженных внутренних емкостей газификаторов, относящихся к объектам повышенной опасности, не учитывает другие операции, которые необходимо проводить для более полной оценки соответствия требованиям конструкторской документации при продлении сроков эксплуатации. К таким операциям относятся, например, проверки расхода от испарения жидкого азота при хранении, контроль состояния узлов крепления к объекту, проверки работоспособности клапанов, проверки трещиностойкости конструкционных материалов и сварных соединений при криогенных температурах и некоторые другие.

На основании проведенных работ были разработаны методики оценки технического состояния внутренних сосудов газификаторов и проведены обследования реальных объектов.

Правильность использованного подхода к разработке методик по оценке технического состояния внутренних емкостей газификаторов подтверждена успешной эксплуатацией десятков обследованных газификаторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **ГОСТ Р 52727-2007.** *Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Общие требования.*
2. *Неразрушающий контроль* / под ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2005. Т. 7.
3. ПБ 03-593-03. *Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля аппаратов, котлов и технологических трубопроводов.*
4. РД 03-299-99. *Требования к акустико-эмиссионной аппаратуре, используемой для контроля опасных производственных объектов.*
5. РД 03-300-99. *Требования к преобразователям акустической эмиссии, применяемым для контроля опасных производственных объектов.*
6. *Основы технического диагностирования объектов военной техники:* учеб. пособие / под ред. А.И. Гневко. М.: ВА РВСН им. Петра Великоко, 2013.

#### PRESSURISED OBJECTS TECHNICAL CONDITION EVALUATION WITH LIMITED ACCESS TO SURFACE USING ACOUSTIC EMISSION METHOD

Gnevko A.I., Zubov O.E., Grazion S.V., Mukomela M.V., Kobzev V.A.

The article deals with the use of a known method of acoustic emission to assess the technical condition of working under pressure, with limited access to the surface of the object under control. This reduces the cost of time and money and increases reliability of the test results. The advantage of this method is confirmed by gasifiers technical condition evaluation example.

**Keywords:** acoustic emission, object technical condition, limited access.

#### REFERENCES

1. **GOST R 52727-2007.** *Tehnicheskaja diagnostika. Akustiko-jemissionnaja diagnostika. Obshhie trebovanija.* (In Russian).
2. *Nerazrushajushhij kontrol'.* Pod red. V.V. Kljueva. M.: Mashinostroenie. 2005. T. 7. (In Russian).
3. ПБ 03-593-03. *Pravila organizacii i provedenija akustiko-jemissionnogo kontrolja apparatov, kotlov i tehnologicheskikh truboprovodov.* (In Russian).

4. RD 03-299-99. *Trebovanija k akustiko-jemissionnoj apparature, ispol'zuej dlja kontrolja opasnyh proizvodstvennyh ob#ektov.* (In Russian).

5. RD 03-300-99. *Trebovanija k preobrazovateljam akusticheskoj jemissii, primenjaemym dlja kontrolja opasnyh proizvodstvennyh ob#ektov.* (In Russian).

6. *Osnovy tehničeskogo diagnostirovanija ob#ektov voennoj tehniki: ucheb. posobie.* Pod red. A.I. Gnevko. M.: VA RVSН im. Petra Velikogo. 2013. (In Russian).

### Сведения об авторах

**Гневко Александр Иванович**, 1937 г.р., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана (1960), профессор, доктор технических наук, профессор кафедры ВА РВСН им. Петра Великого, автор более 150 научных работ, область научных интересов – механика разрушения материалов.

**Зубов Олег Евгеньевич**, 1965 г.р., окончил Краснодарское ВВКИУ РВ (1987), кандидат технических наук, доцент кафедры авиатопливообеспечения и ремонта летательных аппаратов МГТУ ГА, автор 26 научных работ, область научных интересов – техническая диагностика металлоконструкций и неразрушающий контроль методом акустической эмиссии.

**Грацион Сергей Васильевич**, 1957 г.р., окончил Харьковское ВВКИУ (1980), доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры ВА РВСН им. Петра Великого, автор 35 научных работ, область научных интересов – техническая диагностика металлоконструкций и неразрушающий контроль.

**Мукомела Михаил Васильевич**, 1944 г.р., окончил ВИА им. Дзержинского (1975), научный сотрудник НИЛ ВА РВСН им. Петра Великого, автор 16 научных работ, область научных интересов – техническая диагностика металлоконструкций и неразрушающий контроль.

**Кобзев Владимир Александрович**, 1976 г.р., окончил МГУИЭ (1998), начальник участка ООО «Криоген-монтаж», область научных интересов – техническая диагностика металлоконструкций и неразрушающий контроль.