

УДК 620.179.1

doi: 10.53816/20753608_2025_2_135

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТОВ
АЗОТОКИСЛОРОДОДОБЫВАЮЩИХ СТАНЦИЙ
С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**

**TECHNICAL DIAGNOSTICS OF NITROGEN AND OXYGEN PRODUCTION
STATIONS METAL STRUCTURES USING THE ACOUSTIC EMISSION METHOD**

По представлению академика РАН В.Ю. Мелешко

И.А. Меделяев, А.В. Челноков, В.А. Гатауллин

Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого

I.A. Medelyaev, A.V. Chelnokov, V.A. Gataullin

Информационная модель агрегата (сооружения) ракетного комплекса при динамическом нагружении может быть представлена системой с одной степенью свободы. Для сложных технических систем такие оценки имеют смысл первого приближения, но для решения задачи подтверждения требований заказчика к изделию, часто, таких оценок оказывается достаточно.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, дефект, акустическая эмиссия, сосуд, техническое диагностирование/

An information model of a rocket complex unit (structure) under dynamic loading can be represented by a system with one degree of freedom. For complex technical systems, such estimates make sense as a first approximation, but to solve the problem of confirming the customer's requirements for the product, such estimates often turn out to be sufficient.

Keywords: non-destructive testing, defect, acoustic emission, vessel, technical diagnostics.

Исследование проблем оценки технического состояния оборудования, применяющегося как на опасных производственных объектах, так и в сфере обеспечения обороноспособности государства, имеет крайне важное значение. К такому оборудованию относятся и агрегаты криогенной техники, в частности азотокислорододобывающие станции. Выявление дефектов и неисправностей элементов криогенной техники, возникающих в процессе эксплуатации и приводящих к снижению безопасности использования и большим экономическим потерям, связа-

но со своевременным проведением ряда работ по достоверному установлению мест предварительного разрушения конструкций. Данные работы строго регламентированы руководящими документами как в области промышленной безопасности страны, так и в сфере деятельности Министерства обороны Российской Федерации. Однако руководящие документы не могут учесть всех конструктивных и эксплуатационных особенностей большого количества подконтрольных объектов, в связи с чем возникает потребность проведения исследовательских

работ с целью совершенствования методик технического диагностирования. Представленное исследование направлено на решение проблемных вопросов технического диагностирования элементов азотокислорододобывающих станций, применяемых как на предприятиях общепромышленного назначения, так и на объектах, связанных с обеспечением обороноспособности государства.

Исследования проводились применительно к элементам азотокислорододобывающих станций СТАД-100, которые являются составной частью систем заправки компонентами продуктов разделения воздуха.

В технологическом отделении станции особое внимание следует уделить блоку разделения воздуха, который, в свою очередь, включает в себя оборудование, работающее под избыточным давлением (ОРД) [1]. Требования промышленной безопасности устанавливают необходимость проведения периодических технических освидетельствований ОРД, а также в установленных случаях экспертизы безопасности, в рамках которой проводятся испытания оборудования и техническое диагностирование — определение технического состояния, задачами которого являются контроль технического состояния объекта, поиск мест и определение причин отказов (неисправностей) прогнозирование технического состояния, влияющего на установление условий и параметров дальнейшей эксплуатации [2, 3].

На сегодняшний день проблемным вопросом является техническое диагностирование (ТД) элементов ОРД СТАД-100 с применением методов неразрушающего контроля (НРК). Это обусловлено следующими объективными причинами:

- сложное конструктивное исполнение сосудов блока разделения воздуха (сосудов БРВ);
- отсутствие методики технического диагностирования, позволяющей в полном объеме оценить состояние металлоконструкций сосудов БРВ.

Все сосуды БРВ агрегата СТАД-100 изолированы несъемным теплоизоляционным материалом типа K-FLEX, существенно сужающим выбор применяемых методов НРК [1]. Демонтаж (для доступа непосредственно к металлоконструкциям) теплоизоляционного материала и

его последующий монтаж должны проводиться по методике предприятия-изготовителя квалифицированным персоналом. Это не всегда может быть выполнено для станций, подвергаемых техническому диагностированию по месту эксплуатации. Некачественная изоляция, с учетом условий воздействия криогенной температуры рабочей среды — азота и кислорода, приведет к неправильному функционированию всего агрегата в целом. В связи с этим возникает задача оценки возможности диагностирования сосудов БРВ без демонтажа теплоизоляционного покрытия, выбора соответствующего метода НРК.

Дефектоскопия материалов конструкций в процессе изготовления и эксплуатации показывает, что исходные дефекты практически всегда присутствуют в элементах конструкций. Поэтому разрушение, как правило, инициируется в местах предварительного нарушения сплошности.

Основными процессами, приводящими к преждевременному выходу сосудов и трубопроводов БРВ из строя, являются процессы зарождения и распространения трещин, а также пластическое деформирование элементов. Одним из значимых последствий развития дефектов конструкций для ОРД является потеря герметичности.

В настоящее время перспективным методом НРК, позволяющим оценить техническое состояние внутренних сосудов БРВ, является метод акустической эмиссии (АЭ), который обладает характерными особенностями, определяющими его возможности параметры, области применения, достоинства и ограничения [4–7]:

- комплексный характер метода исследования материалов и процессов неразрушающего контроля и технического диагностирования (включает в себя механику и физику разрушения, акустику, теорию сигналов и т.д.);
- обнаружение и регистрация только развивающихся дефектов, что позволяет классифицировать дефекты не по размерам, а по степени их опасности для контролируемого объекта;
- высокая чувствительность к растущим дефектам относительно других методов;
- интегральность, которая заключается в том, что используя один или несколько преобразователей акустической эмиссии (ПАЭ), установленных неподвижно на поверхности объекта, можно проконтролировать весь объект;

- возможность контроля различных технологических процессов и процессов изменения свойств и состояния материалов в реальном времени;

- выявляемость дефекта методом АЭ независимо от его формы;

- меньше количество ограничений, связанных со свойствами и структурой материалов, чем для других методов НРК;

- возможность обнаруживать потерю герметичности — наиболее важный критерий при диагностировании ОРД;

- высокое отношение эффективность/стоимость в области НРК и ТД.

Для реализации возможностей метода АЭ по выявлению развивающихся дефектов или негерметичности оборудования необходимо нагрузить объект после установки ПАЭ: для ОРД — провести пневматические испытания [2, 4].

Непосредственный контакт ПАЭ с контролируемой поверхностью сосуда БРВ не представляется возможным по причине наличия теплоизоляции. Возможным вариантом применения метода АЭ, способным решить задачу оценки состояния конструкций, является установка ПАЭ на отходящие от внутреннего сосуда трубопроводы.

Данный способ применения АЭ к внутренним сосудам БРВ требует предварительных исследований, а именно:

- исследование акустических свойств материала объекта контроля (скорости распространения ультразвуковой волны);

- исследование акустического тракта конструкции.

Исследование скорости распространения ультразвуковой волны проводилось на образце толщиной 2 мм, выполненным из высоколегированной стали аустенитного класса 12Х18Н10Т, из которого изготавливаются сосуды БРВ. Значение скорости распространения ультразвуковой волны находится в интервале 5932 ± 28 м/с.

В рамках оценки прохождения и преобразования сигналов в акустическом тракте сосуда БРВ были проведены испытания на ректификационной колонне высокого давления, а также выбрана подходящая схема расположения ПАЭ, обеспечивающая 100 % контроля металлоконструкций сосуда БРВ (рис. 1).

В рамках первого эксперимента на верхний (значения параметров АЭ № 2 на рис. 2–5) и нижний (значения параметров АЭ №1 на рис. 2–5)

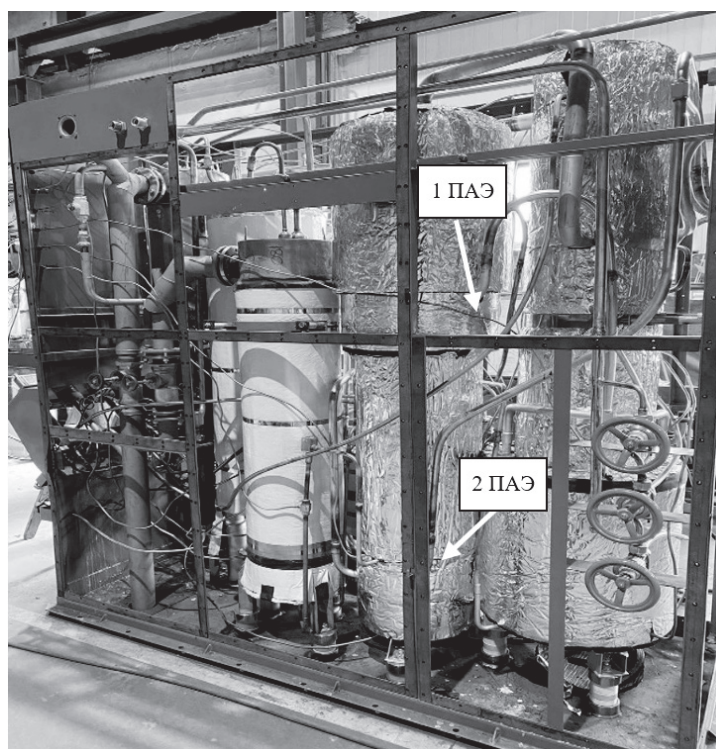


Рис. 1. Расстановка ПАЭ на ректификационной колонне высокого давления

трубопроводы ставились по одному ПАЭ. При помощи имитатора сигнала АЭ Су-Нильсена производился излом выдвинутого на 3–4 мм стержня на нижнем трубопроводе. АЭ, трижды вызванная изломом стержня, фиксировалась на двух ПАЭ.

Значения параметров АЭ при имитации сигналов (в зависимости от времени) представлены на рис. 2–5.

Результаты эксперимента показали, что установки двух ПАЭ на контролируемом объекте достаточно для оценки технического состояния ректификационной колонны высо-

кого давления по выбранным параметрам сигналов АЭ, значения которых представлены в таблице.

Для уточнения схемы расстановки ПАЭ с учетом необходимости контроля состояния трубопроводов были проведены исследования, в ходе которых ПАЭ устанавливался на нижнем трубопроводе ректификационной колонны высокого давления, источником АЭ выступал имитатор сигнала Су-Нильсена, излом которого производился пять раз через каждые 50 см по мере удаления от места установки ПАЭ.

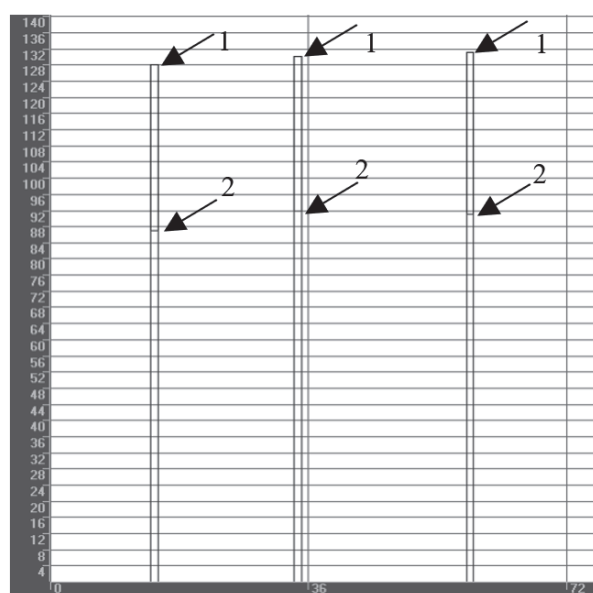


Рис. 2. Средняя энергия АЭ

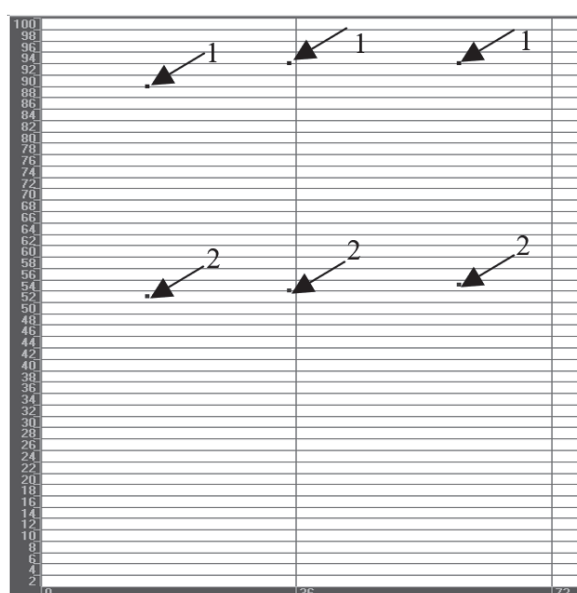


Рис. 3. Средняя амплитуда АЭ

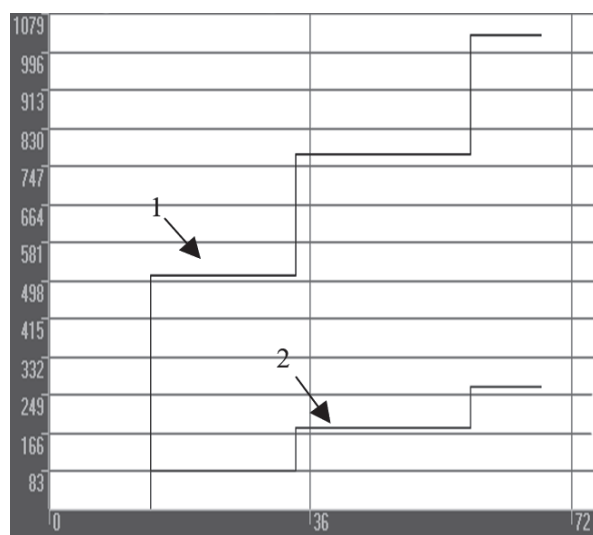


Рис. 4. Сумма энергии АЭ

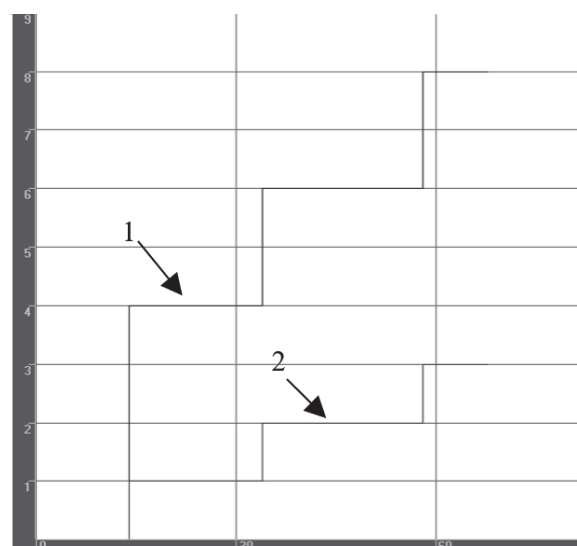


Рис. 5. Сумма импульсов АЭ

Стоит отметить конструктивную особенность соединений элементов, входящих в состав блока разделения воздуха, где отходящие трубопроводы от ректификационной колонны высокого давления выполнены из стали 12Х18Н10Т, спаяны с трубопроводами, выполненными из меди марки МЗ. Такое сложное соединение с применением разных материалов требует особого внимания из-за неопределенности параметров акустического тракта, а также высокого коэффициента затухания скорости распространения продольной акустической волны в меди и медных сплавах.

Результаты имитации сигналов АЭ в конструкциях трубопроводов представлены на рис. 6, 7.

Сложное внутреннее конструктивное строение ректификационной колонны высокого дав-

ления влияет на распространение акустической волны, по этой причине по значениям параметров АЭ, зафиксированных двумя ПАЭ, ярко выражено затухание акустической волны в металлоконструкциях колонны (таблица).

Исходя из информативности полученных значений параметров АЭ на реальном объекте и рекомендаций, указанных в пособии [6], стоит отметить целесообразность использования для контроля технического состояния (развития трещиноподобного дефекта) ректификационной колонны высокого давления методом АЭ амплитудного критерия [4] с пороговым значением амплитуды в 50 дБ.

Выбранная схема расстановки ПАЭ (на отходящие от внутреннего сосуда трубопроводы) обеспечивает контроль технического состояния объекта и может быть использована для

Таблица

Результаты эксперимента с двумя ПАЭ

Параметры АЭ	Ср. энергия АЭ			Ср. амплитуда АЭ			Сумма энергии АЭ			Сумма импульсов АЭ		
№ излома № ПАЭ	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
I ПАЭ	128	130	131	88	92	92	510	780	1050	4	6	8
II ПАЭ	87	92	92	51	52	53	100	190	290	1	2	3

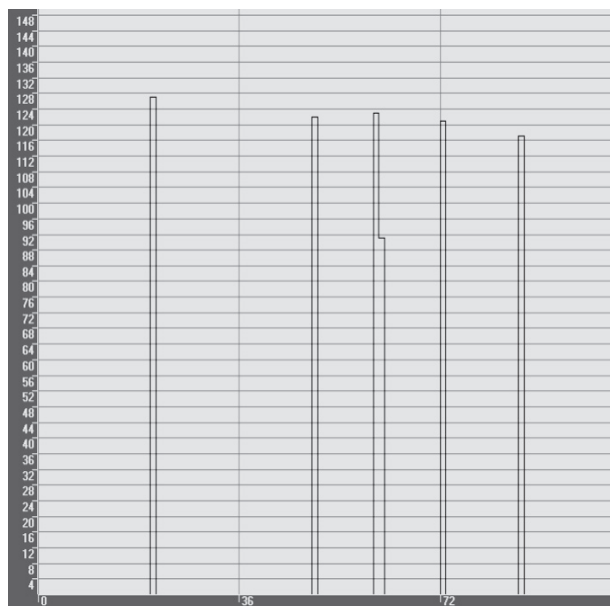


Рис. 6. Средняя энергия АЭ



Рис. 7. Средняя амплитуда АЭ

оценки технического состояния металлоконструкций ректификационной колонны высокого давления станции СТАД-100 в рамках технического освидетельствования и экспертизы безопасности при проведении пневматических испытаний с одновременным контролем методом АЭ.

Результаты экспериментального исследования являются основой для разработки методики технического диагностирования с применением метода АЭ.

Направление дальнейшего исследования: установление значений параметров сигналов АЭ при пластическом деформировании элементов металлоконструкций сосудов БРВ станции СТАД-100 и выбор критерия оценки степени опасности указанного источника АЭ.

Исследование направлено на обеспечение требуемого уровня достоверности оценки технического состояния объекта с применением метода АЭ и выявления развивающихся дефектов металлоконструкций и потери герметичности элементов криогенной техники с целью повышения безопасности их эксплуатации. Надежность и безопасность эксплуатации технических устройств на опасных производственных объектах и объектах Министерства обороны является важным элементом процессов, направленных на достижение технологического суверенитета и безопасности государства.

Список источников

1. Руководство по эксплуатации станции транспортабельной азотокислорододобывающей СТАД-100 / КВ 0029.00.000 РЭ, 2016.
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением». Приказ Ростехнадзора от 15 декабря 2020 года № 536.
3. ГОСТ 20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 2009. 9 с.
4. ГОСТ Р 52727–2007. Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Общие требования. М.: Стандартиформ, 2007. 12 с.
5. Барат В.А., Иванов В.И. Акустико-эмиссионная диагностика: учеб. пособие. М.: Издательский дом «Спектр», 2017. 368 с.
6. Иванов В.И., Бигус Г.А., Власов И.Э. Акустическая эмиссия: учеб. пособие. М.: Издательский дом «Спектр», 2015. 191 с.
7. Гневко А.И., Соловов С.Н., Мукоме-ла М.В., Челноков А.В. Способы применения акустической эмиссии для обеспечения надежности и долговечности металлоконструкций // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2019. № 4-1 (336). С. 77–83.