



# ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

**В. М. ДОЛИНСКИЙ, В. А. КОБЗЕВ, Д. Г. РЯУЗОВ, В. Н. СТОГНИЙ**

*Проанализированы результаты работ отдела прочности УкрНИИХиммаш по диагностическому обследованию оборудования нефтехимического производства с применением метода акустической эмиссии, оценена эффективность применения метода и даны рекомендации по ее увеличению.*

*UkrNIChimmash strength department work results on diagnostic study of petrochemical industry equipment with the use of an acoustic emission technique were analyzed, technique application efficiency was evaluated and recommendations for its enhancement were given.*

Повышение качества работ при проведении периодической оценки технического состояния оборудования нефтехимического производства очень важно для обеспечения безопасности и безаварийности производства. С этой целью на нефтехимических предприятиях постоянно совершенствуется система проведения технического диагностирования технологического оборудования в периоды проведения плановых ремонтных работ с целью обеспечения бесперебойной работы в межремонтный период. Эффективность диагностических работ возрастает, если для проведения обследования оборудования используется не один, а несколько методов неразрушающего контроля (НК), причем один из них обладает высокой интегральностью в получении информационных параметров по отношению к объему исследуемого металла. Особо удачное сочетание методов НК для диагностирования оборудования тогда, когда в качестве интегрального метода используется метод акустической эмиссии (АЭ). При условии выполнения подготовительной работы для проведения АЭ контроля в соответствии с требованиями и рекомендациями нормативных документов [1, 2] с помощью метода АЭ представляется возможным провести практически 100%-й контроль исследуемого оборудования, причем часто в местах, скрытых от прямого доступа тепловой изоляцией, в труднодоступных и контроленепригодных для других методов НК участках на объекте контроля.

В 2005 г. отдел прочности УкрНИИХиммаш провел ряд работ по обследованию технического состояния технологического оборудования на Лисичанском и Кременчугском нефтеперерабатывающих заводах. Общая последовательность проведения обследования соответствовала нормам и рекомендациям ДСТУ 4046 [2]. Первый этап об-

следования после ознакомления с технической документацией представлял собой работы, проводимые методами НК: визуальный контроль внутренней и внешней поверхностей сосудов или аппаратов, УЗ измерение толщины стенок всех элементов сосудов, измерение твердости металла всех элементов, УЗ дефектоскопия зон сварных швов. При необходимости использовалась капиллярная дефектоскопия, метод магнитной памяти, магнитопорошковая дефектоскопия и др. По результатам обследования определяли участки, имеющие недопустимые дефекты, которые устраняли посредством ремонта, проводимого специализированными организациями. После ремонтных работ проводили испытание объекта обследования пробным давлением в режиме гидро- или пневмоиспытания в соответствии с ДН АОПО.001-07-04 [3]. Такое испытание проводили с применением метода АЭ. Метод АЭ применяли в режиме контроля 100 % поверхности стенок сосуда. Если в результате испытания на сосуде были обнаружены акустически активные зоны, то после определения координат их подвергали дополнительному обследованию другими методами НК. При однозначно устанавливаемой связи акустической активности с обнаруженными в результате дополнительного обследования дефектами проводили дополнительные ремонтные работы по их устранению. Если же размеры обнаруженных дефектов для обследуемого объекта допустимы, то по результатам расчетов на прочность определяли срок возможной дальнейшей эксплуатации объекта.

В ряде случаев, когда расчетная оценка работоспособности затруднена, применяли экспериментальную оценку несущей способности на основе записи в ходе испытания пробным давлением диаграммы «давление–деформация стенки конс-

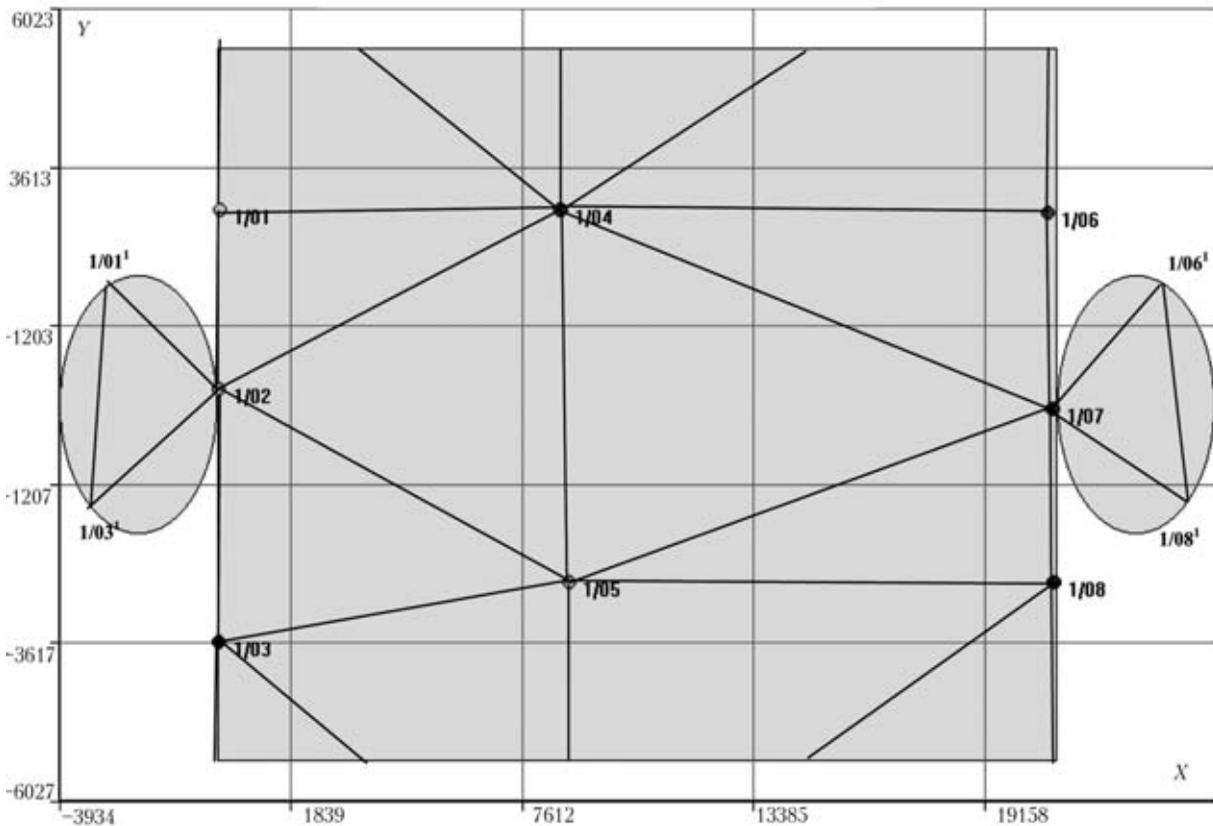


Рис. 1. Схема системы локации импульсов АЭ на развертке сосуда ( $X$  и  $Y$  — осевая и окружная координаты (мм) развертки обечайки; цифрами обозначены ПАЭ)

трукции» [4]. При этом оказалось возможным оценить также остаточный ресурс обследуемого объекта [5]. Так, выполненные нами на ЗАО «Укртатнафта» испытания сепаратора С-302, корпус которого содержал значительную зону несплошностей стенки, позволили прогнозировать безаварийную работу сосудов в течение четырех лет без проведения ремонта. Весьма привлекательным с точки зрения эффективности результатов диагностирования в этом случае является совмещение метода АЭ и метода определения несущей способности.

При проведении испытания сосудов давления на нефтехимических предприятиях отделом прочности УкрНИИХиммаш использовалась восьмиканальная АЭ аппаратура A-Line DDM в соответствии с требованиями ДСТУ 4227 [1] и рекомендациями ДСТУ 4046 [2]. Перед испытаниями измеряли скорости распространения по металлу стенки сосуда импульсов АЭ и параметры их затухания. Эту операцию, как правило, проводили после предварительной расстановки преобразователей АЭ (ПАЭ) на поверхности сосуда. Особенность расстановки ПАЭ заключалась в том, что они устанавливались в трех перпендикулярных оси сечениях сосуда: три ПАЭ устанавливали на обечайке в непосредственной близости от сварного шва приварки к корпусу одного из днищ на относительно равном расстоянии один от другого;

три ПАЭ располагали аналогично вдоль сварного шва другого днища сосуда; два — в средней части корпуса, но с таким расчетом, чтобы один из них составлял прямую линию вдоль образующей с двумя ПАЭ, установленными в районе одного и другого днища (рис. 1). При таком положении три ПАЭ, установленные на прямой линии вдоль образующей, дают возможность предварительно определить скорость и затухание АЭ, а затем без переустановки ПАЭ провести испытание сосуда. При этом один из ПАЭ работал в режиме генератора, а два других — в режиме приема АЭ. Значения параметров скорости и затухания до проведения испытания вносятся в программу определения локационных координат источников АЭ. Основная система локации импульсов АЭ при испытании сосуда в нашем случае была построена на основе 12 плечевых локационных групп, каждая из которых состояла из трех ПАЭ, расположенных в вершинах треугольников произвольных размеров. Кроме основной системы локации мы использовали вспомогательную, построенную на основе нескольких линейных групп локации. В число линейных групп локации входили две кольцевые локационные группы, каждая на основе трех ПАЭ, установленных вдоль сварных швов приварки обоих днищ и, кроме того, одно-двухлинейные локационные группы также на основе трех ПАЭ, расположенных вдоль образующей сосуда.



Такое построение локационной системы позволяло осуществлять контроль 100 % поверхности стальных сосудов длиной до 22 м, диаметром до 4,5 м и толщиной стенки до 70 мм.

В ходе испытания в режиме реального времени фиксировали изменения до 16 параметров, наиболее важными из которых с нашей точки зрения являются:

уровень шума в зависимости от времени испытания; уровень шума в каждом канале (мгновенные значения); амплитуда сигналов по всем каналам в зависимости от времени испытания; активность по каждому каналу; время нарастания импульсов АЭ в зависимости от времени испытания; длительность АЭ импульсов в зависимости от времени испытания; накопление событий в каждом канале (количество импульсов, превышающих порог) в зависимости от времени испытания; суммарная активность АЭ в зависимости от времени (по всем каналам); суммарная амплитуда АЭ в зависимости от времени (по всем каналам); максимальная амплитуда АЭ в зависимости от времени.

*Основная цель работы — определение в процессе испытания сосудов с помощью метода АЭ координат и уровня акустической активности.* Эта цель достигалась путем контроля и анализа в ходе испытания двух основных параметров АЭ: амплитуды и активности. Контроль амплитуды АЭ осуществляли в соответствии с амплитудным критерием [2], сущность которого состояла в том, что весь динамический диапазон регистрации амплитуд от уровня дискриминации (установленного порога превышения уровня шума, составляющего в наших испытаниях 40...45 дБ) до максимальных значений условно делили на четыре диапазона, уровень амплитуд в каждом из которых обозначался классом опасности от 1 до 4. Условность этого критерия сигналов в том, что амплитуда АЭ излучения при прохождении по металлу сосуда имеет свойство нелинейно уменьшаться вследствие потери энергии импульса АЭ за счет рассеяния, переотражений и поглощений при взаимодействии с границами структурных составляющих стали. Поэтому чем ближе к ПАЭ происходит АЭ событие, тем с большим значением амплитуды оно фиксируется. В то же время это же событие будет зафиксировано дальними ПАЭ в виде амплитуд малого уровня. В системе регистрации предусмотрена определенная компенсация такого ослабления использованием в вычислениях параметра затухания АЭ. Несмотря на условность, амплитудный критерий является важным инструментом предупреждения в ходе испытания о степени критичности ситуации по отношению к разрушению сосуда. Нужно отметить, что амплитудный критерий использовали на фоне системы кластеризации, когда точность локализации каж-

дого импульса АЭ была соотнесена с зоной определенных размеров. При этом с точностью выбранных размеров кластера (в наших испытаниях  $200 \times 200 \text{ мм}^2$ ) представляется возможность оценивать степень опасности локализованных импульсов АЭ как по уровню амплитуд, так и по их активности (количеству импульсов в единицу времени, зарегистрированных в данном кластере). Такой подход к оценке степени опасности локализованных импульсов АЭ имеет определенные преимущества перед требованиями [1], где для определения степени опасности разрушения используется только анализ активности в кластере, так как активность может быть высокой при малых амплитудах или малой, но с большими амплитудами. В первом случае причиной может быть элементарное протекание во фланце, а во втором — ситуация, характеризующая хрупкое разрушение. Следовательно, один-два импульса АЭ большой амплитуды могут характеризовать большую опасность для испытываемого сосуда, чем 100 и более импульсов малой амплитуды, соответствующих первому классу по амплитудному критерию. Таким образом, при испытании сосудов использовали критерии кластерной локации с учетом критериев активности [1] и уровня амплитуд [2]. Результат каждого критерия формировался на мониторе компьютера в отдельном окне, значения активности и уровня амплитуд АЭ каждого класса выделялись разным цветом, что позволяло легко определять на сосуде зоны с наибольшей акустической активностью не только по количеству импульсов, но и по их амплитудам (рис. 2). Амплитудный критерий соответствует 2 классу. Амплитуда АЭ в зонах А, Б, В достигает уровня 2-3 класса. Эти зоны рекомендованы к дополнительному обследованию локальными методами НК.

Кроме интегрального амплитудного и кластерного критериев по активности и уровню амплитуд для оценки степени опасности зарегистрированной в ходе испытания АЭ использовали локально-динамический критерий [2, 6], сущность которого состоит в том, что если по отношению к росту нагрузки активность или энергия АЭ уменьшается, то это характеризует отсутствие активных источников АЭ. Если по мере роста нагрузки происходит рост параметров АЭ, то это свидетельствует о наличии активных источников АЭ. Степень активности подразделяется на 4 класса (рис. 3).

Известно, что импульсы АЭ, соответствующие разрушению стали, являются короткими и характеризуются малым временем нарастания переднего фронта [7]. Поэтому перед окончательной оценкой с помощью критериев степени опасности локационных импульсов АЭ нами проводилась фильтрация зарегистрированной информации по параметрам длительности сигналов АЭ и времени нарастания переднего фронта импульсов. Во вни-

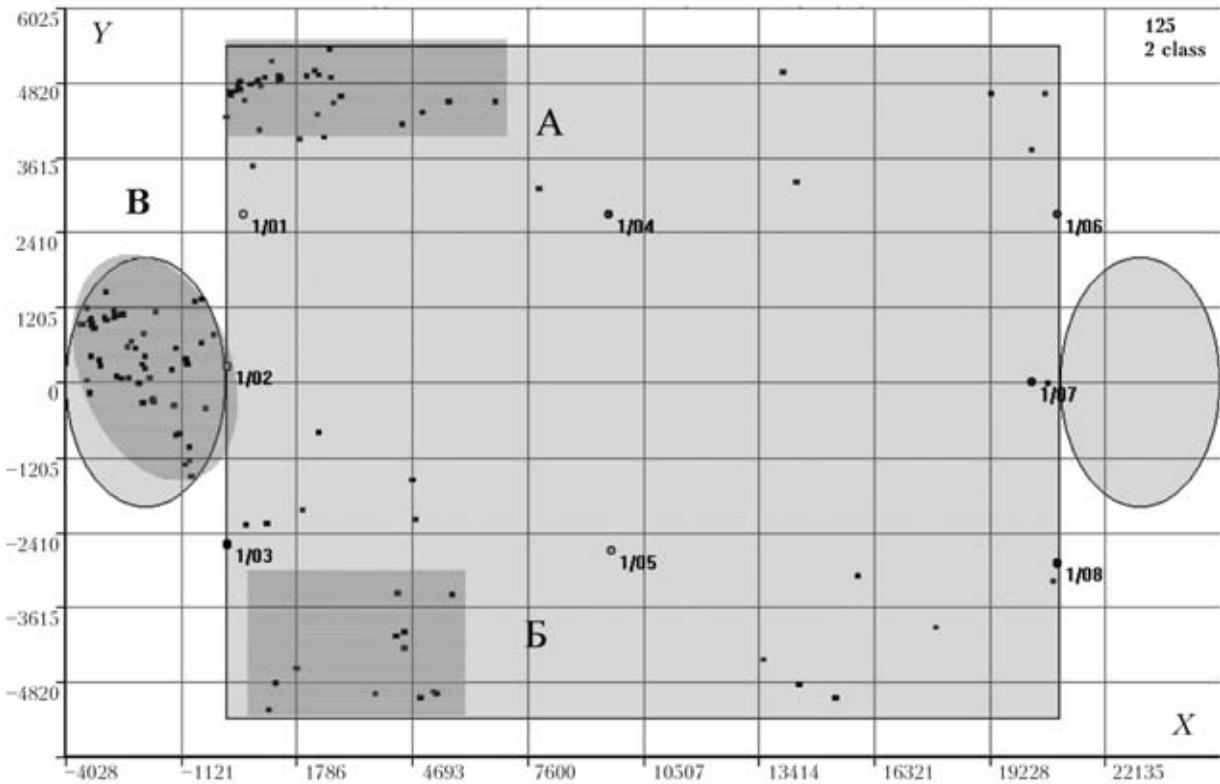


Рис. 2. Результат локации АЭ в ходе гидроиспытаний сосуда для хранения этилена (обозначение координат X, Y и ПАЭ те же, что и на рис. 1)

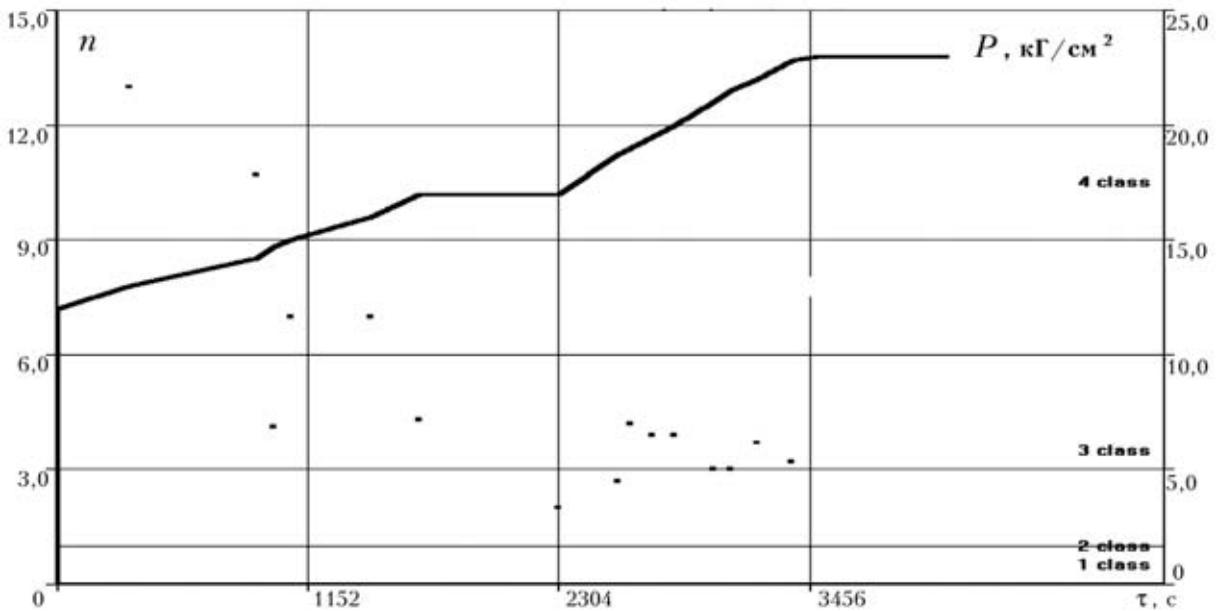


Рис. 3. Степень локально-динамического критерия  $n$  одного из испытанных сосудов соответствует 3 классу ( $P$  — давление;  $\tau$  — время испытания)

мание принимали импульсы АЭ длительностью не более 200 мкс и временем нарастания переднего фронта импульса не более 50 мкс.

Система принятия решений по результатам испытания пробным давлением с применением АЭ

сосудов, аппаратов, технологических трубопроводов, реализуемая нами, базировалась на комплексной оценке перечисленных выше критериев. В первую очередь проводили оценку по интегральным критериям: амплитудному и локально-дина-



мическому. Если класс этих критериев был не выше второго, то проводили детальный просмотр результатов локаций, и если обнаруживались зоны с концентрацией источников АЭ, где активность и уровень амплитуд кластера соответствует второму классу и выше, то эти зоны рекомендовались для проведения в них дополнительных обследований локальными методами НК. При обнаружении в этих зонах дефектов безопасность работы сосудов проверяли расчетами на прочность и, если результаты расчетов были неудовлетворительны, то в этих зонах проводили ремонтные работы по устранению обнаруженных дефектов. После устранения дефектов качество проведения ремонта снова контролировали локальными методами НК. Нужно отметить, что решающую роль в проведении принятой нами оценки играет сам факт проведения испытания пробным давлением в соответствии с ДНАОП 0.00-1.07-94 [3], так как если сосуд выдержал испытание и при этом в нем обнаружены локальные зоны, характеризующиеся различным уровнем амплитуд и активности АЭ, то мы, естественно, в первую очередь обращаем внимание на те из них, которые по критериальным оценкам являются наиболее опасными. Существенным при проведении испытаний является анализ параметров АЭ на стадиях выдержек при постоянном давлении. Отсутствие АЭ или ее уменьшение до нулевых значений свидетельствует об отсутствии развивающихся дефектов.

По результатам проведенных нами в 2005 г. работ на нефтехимических предприятиях произведена оценка эффективности использования метода АЭ при испытании оборудования пробным давлением. В качестве условий такой оценки нами принято, что использование АЭ является эффективным, если в оборудовании при испытании не обнаружены зоны с высокими амплитудами и повышенной акустической активностью, или при их обнаружении этот факт был подтвержден обнаружением в этих зонах дефектов другими методами НК. Так, из 25 обследованных объектов в 14 не были обнаружены активные АЭ зоны, а из 11 объектов, рекомендованных к дополнительному обследованию, подтверждение о наличии дефектов было получено для семи объектов. Для четырех объектов при дополнительных обследованиях не было получено подтверждение о наличии опасных для эксплуатации дефектов. Таким образом, для 21 из 25 обследованных объектов (~ 84 %) применение метода АЭ оказалось эффективным. Виды обнаруженных в семи объектах дефектов были следующие: расслоение листа — че-

тыре объекта; дефекты сварных швов штуцеров — три объекта.

Таким образом, степень эффективности проведенной работы по обследованию оборудования нефтехимических предприятий с применением АЭ составляет 84 %. Применение метода АЭ позволило обнаружить и устранить на нескольких обследуемых объектах недопустимые дефекты. Общая эффективность от применения метода АЭ может стать еще выше, если его применять при различном сочетании с другими методами НК в общей технологии обследования оборудования, аналогично тому, как это предусмотрено нормами Госгортехнадзора России [6]. Такой подход позволит учесть при испытаниях техническое состояние оборудования, его контролепригодность, а также специальные пожелания и требования владельца. Заслуживающим внимания является такое сочетание методов, когда первой операцией при проведении обследования является испытание сосуда с применением АЭ при давлении, равном или ниже давления гидроиспытания. Последующее обследование иными методами НК по результатам АЭ испытаний в этом случае проводится в местах, где были зарегистрированы опасные источники АЭ, а также в проблемных местах, определенных на основе результатов предыдущих обследований или выявленных в ходе эксплуатации. При отсутствии локализованных опасных источников АЭ обследование с помощью локальных методов НК сводится к минимуму.

1. ДСТУ 4227-2003. Настанови щодо проведення акустико-емісійного діагностування об'єктів підвищеної безпеки. — 25 с.
2. ДСТУ 4046-2001. Обладнання технологічне нафтопереробних, нафтохімічних та хімічних виробництв. Технічне діагностування. Загальні технічні вимоги. — 25 с.
3. ДНАОП 0.00-1.07-94. Правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском. — 18.10.94, Наказ № 104, Держнаглядохоронпраці України. 1998. — 273 с.
4. ДНАОП 1.3.00-8.02-93. Проведение работ по оценке остаточной работоспособности технологического оборудования нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производств. — 58 с.
5. Долинский В. М., Черемская В. И. Определение ресурса по деформациям стенки сварных сосудов // Сварщик. — 2006. — № 2. — С. 27-30.
6. ПБ 03-593-03. Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов. Серия 03. Выпуск 38 / Колл. авт. — М.: Гос. унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России». — 2003. — 56 с.
7. Грешиков В. А., Дробот Ю. В. Акустическая эмиссия. Применение для испытания материалов и изделий. — М.: Изд-во стандартов, 1976. — 272 с.