

УДК 620.179.17:53.07:[534.14+534.2]

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ГЕНЕРАЦИИ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ¹

© И. А. Растегаев, А. В. Данюк, Д. Л. Мерсон, А. Ю. Виноградов²

Статья поступила 10 февраля 2016 г.

Описана конструкция и алгоритм применения апробированного универсального учебно-исследовательского стенда. Конструкция стенда позволяет имитировать широкий спектр типовых объектов контроля (сосуды, трубопроводы, трубчатые печи, резервуары и др.) и основные источники акустической эмиссии (АЭ): трещины, места протечки продукта, коррозионного повреждения или повреждения агрессивными средами и др. Имитаторы АЭ устанавливаются на стенд через волноводы, что обеспечивает акустическую связь и сохранность основных элементов стенда при разрушении имитаторов. Имитаторами АЭ управляют с помощью нагружающего устройства, что позволяет задавать точку начала разрушения и скорость разрушения имитатора. Конструктивные особенности стенда дают возможность многократно воссоздавать (имитировать) множество ситуаций, возникающих во время эксплуатации и при техническом диагностировании опасных промышленных объектов, с минимальными затратами. Стенд позволяет проводить исследования, обучение, аттестацию специалистов, методик и аппаратуры АЭ, поэтому может быть полезен для лабораторий неразрушающего контроля.

Ключевые слова: акустическая эмиссия; имитаторы сигналов; учебный стенд; обучение специалистов; неразрушающий контроль.

Известно, что метод акустической эмиссии (АЭ) позволяет выявлять основные механизмы разрушения силовых элементов опасных производственных объектов (ОПО): образование трещин, протечку продукта, коррозионное повреждение или повреждение агрессивными средами [1]. Между тем он является одним из «молодых» методов неразрушающего контроля (НК) и до сих пор остается на стадии опытно-промышленной апробации. В этой связи эффективность применения данного метода находится в прямой зависимости от практического опыта специалистов в области НК. Под объемом практического опыта понимается номенклатура дефектов, которые специалист изучил на реальных конструкциях различного вида (геометрии) в виде признаков АЭ и которые способен распознать (идентифицировать) в дальнейшем при выполнении акустико-эмиссионного контроля (АЭК). Накопление такого опыта осложняется тем, что, во-первых, дефект в конструкции является достаточно редким явлением, во-вторых, акустические волны при распространении переотражаются и трансформируются трудно прогнозируемым образом на элементах ОПО с образованием ложных АЭ признаков, отсеивание которых до сих пор остается предметом много-

численных исследований. Задачи изучения генерации АЭ источниками различного вида, переотражения и трансформации акустических волн с образованием ложных событий, а также сокращения времени приобретения практического опыта специалистом НК может быть решена путем применения предлагаемого универсального учебно-исследовательского стенда (УУИС). Универсальный стенд имеет устройства, позволяющие имитировать особенности основных источников АЭ — имитаторы АЭ (ИАЭ), а также элементы для имитации формы различных ОПО — имитаторы опасных промышленных объектов (ИОПО).

Стенд предназначен не только для учебно-тренировочных задач — повышения практических навыков распознавания дефектов специалистами, но и для исследовательских целей. В последние годы активно открываются и применяются все новые возможности, связанные с регистрацией и обработкой АЭ сигнала. Предлагаемый стенд — универсальная площадка для апробации и верификации вновь создаваемых алгоритмов локации и анализа потоков сигналов АЭ от реальных стимулированных источников практически любой сложности.

Особенности УУИС. Имитатор акустической эмиссии — любое устройство, предназначенное для искусственного возбуждения акустических волн, моделирующих АЭ реального источника разрушения материала ОПО [2, 3]. Источником акустических волн в ИАЭ могут быть практически все известные физи-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России проекта прикладных научно-экспериментальных разработок № RFMEFI57714X0145.

² Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, Россия, e-mail: RastlgAev@yandex.ru, alvdan@mail.ru, D.Merson@tlttsu.ru, alexei.vino@gmail.com

ческие явления [1], активизируя которые ИАЭ генерируют акустические колебания.

Лучшим ИАЭ является тот, в основе которого лежит процесс, идентичный или близкий по физической сущности к исследуемому реальному источнику АЭ разрушения материала ОПО. Следовательно, самым реалистичным ИАЭ является испытание до разрушения макета, модели или копии ОПО с естественным или искусственным дефектом, что часто практикуется в исследовательских целях [1, 4, 5 и др.]. При всех положительных моментах недостатками данного способа являются опасность (ОПО во время испытаний может разрушиться непредсказуемым образом), высокая стоимость (имитация приводит к полному разрушению ОПО), невозможность многократного использования.

Другим видом ИАЭ являются демонстрационные и исследовательские испытания с применением разрушающих методов и соответствующего оборудования (испытания на разрыв, сжатие, усталостные, коррозионные и т.д.) [6 и др.]. Недостатком такого подхода является применение громоздких и дорогих испытательных машин. Кроме того, имитация проводится на лабораторном образце малого размера, а значит, данный способ не позволяет изучить трансформацию, затухание и искажение АЭ, сопоставимые с условиями распространения АЭ в ОПО.

Последняя проблема решается с использованием накладных ИАЭ типа имитатора Су-Нильсена (излом графитового стержня) или пьезоэлектрического излучателя [6 – 8 и др.]. Однако в этом случае невозможно воспроизвести форму АЭ сигнала, генерируемого реальным дефектом, в связи с тем, что излом стержня отдаленно напоминает дефект в виде трещины, а АЭ от пьезоизлучателя искажена его резонансными и инерционными характеристиками. Кроме этого, оба эти ИАЭ не связаны с нагружением ОПО, а значит, не могут имитировать процесс разрушения в связи с изменением напряженно-деформируемого состояния дефекта, находящегося в ОПО, под нагрузкой.

Таким образом, главной проблемой применения ИАЭ является не только генерация АЭ без разрушения элемента ОПО, но и ее ввод в ОПО или имитатор ОПО. Для этого УУИС оснащен ИАЭ разрушаемого типа, АЭ от которых передается в ИОПО посредством волноводов, что обеспечивает многократное применение ИОПО (поскольку не происходит разрушения основных элементов), имитацию АЭ с контролируемой шумностью, управление процессом разрушения ИАЭ, возможность изменения места имитации АЭ и имитацию (одновременно или отдельно) широкого спектра основных дефектов ОПО, а именно:

образования и развития трещины в материале стенки ОПО;

протечки продукта (среды) через стенку ОПО (дефект типа сквозная трещина или свищ); в стороннем объекте, акустически связанным с ОПО; в негер-

метичное фланцевое соединение; в негерметичном вентилю;

коррозионного повреждения элементов ОПО или агрессивного воздействия среды на материал элемента ОПО;

коррозионного растрескивания материала ОПО под напряжением;

водородного повреждения материала ОПО.

Другой проблемой является имитация самого ОПО, имитаторы которого представляют собой реальные или модельные части ОПО различного вида. Очевидно, что изучать генерацию и распространение АЭ лучше всего непосредственно на ОПО [1, 4, 5 и др.]. Однако перечень возможных исследований на них ограничен по причинам:

случайного характера возникновения реального источника АЭ по типу, месту и времени, а также непредсказуемости темпа его развития;

ограниченного доступа к ОПО в работающем режиме по условиям соблюдения безопасности исследований и эксплуатации такого объекта;

высокого и неконтролируемого технологического шума ОПО в работающем режиме;

ограничения времени или невозможности проведения исследования на неработающем ОПО, из-за стремления владельца сократить время простоев;

недоступности ОПО для исследований (атомное оборудование, криогенное оборудование и др.);

частичной или полной потери работоспособности ОПО после применения имитаторов АЭ разрушающего типа или при слежении за развитием реального дефекта;

большой номенклатуры промышленных ОПО по количеству и разнообразию форм и конструкций (это требует проведения исследований на каждом типе ОПО).

Лабораторные исследования позволяют исключить данные ограничения и в разы увеличить объем получаемых данных, а также реализовать максимально безопасную имитацию разрушения ОПО, они не ограничены по времени, не привязаны к технологическим процессам, не имеют технологических шумов. Однако возникает вопрос, каким образом добиться максимальной имитации всего многообразия геометрических типов ОПО в лабораторных условиях? Для решения данной проблемы в УУИС применяется набор типовых геометрических элементов конструкций, позволяющий имитировать основные условия распространения акустических волн в большинстве объектов ОПО типовой формы. Такие элементы конструкции имитируют:

плоскостной ОПО, в котором сигнал АЭ распространяется преимущественно в плоскости и затухает раньше, чем успевает обогнуть весь объект (ОПО типа резервуара, хранилища, газгольдера и другого крупнотоннажного оборудования);

линейный ОПО, в котором сигнал АЭ распространяется преимущественно по линии, при этом до затухания он успевает несколько раз обогнуть объект по сечению, но не по длине (ОПО типа технологических и магистральных трубопроводов, труб печей, подогревателей, котлов, экономайзеров и т.д.);

объемный ОПО, в котором сигнал АЭ распространяется преимущественно в плоскости и до затухания успевает обогнуть объект в различных направлениях несколько раз (ОПО типа цилиндрических сосудов, аппаратов, цистерн, воздухоборников и другое емкостное технологическое оборудование).

Вся приведенная выше информация не только отличает УУИС от известных аналогичных стендов [6, 8], но и позволяет обеспечить более широкое его применение.

Схема УУИС представлена на рисунке. Он состоит из трех ИОПО, восьми ИАЭ, регистрирующей АЭ аппаратуры и нагружающего оборудования, которое провоцирует действие ИАЭ и позволяет изменять условия распространения акустических волн в ИОПО (за счет заполнения макетов жидкостью или газом). Конструктивные особенности некоторых ИАЭ также представлены на рисунке.

Имитатор плоскостного ОПО (1) представляет собой лист металла из стали 09Г2С [9] размером 1500×3000 мм и толщиной 8 мм. Для установки ИАЭ имеются 11 волноводов (2), которые расположены несимметрично для уменьшения помех и ложных (фантомных) локационных событий, образованных интерференцией отраженных акустических волн. Для поглощения акустических волн по краям ИОПО приклеивают сырую резину (не вулканизированный каучук) или другой материал с высоким акустическим импедансом. С обратной стороны ИОПО могут прикрепляться акустически проводящие или поглощающие материалы (3) для имитации прохождения акустических сигналов через стенку или поглощения их на границе фаз.

Имитатор линейного ОПО (4) представляет собой трубопровод зигзагообразного вида (для максимальной компактности) при общей длине 17 000 мм. Имитатор собран из пяти труб $\varnothing 133 \times 5$, восьми отводов $\varnothing 133 \times 8$, двух фланцевых соединений, восьми штуцеров Ду 32 с резьбовыми вентилями, двух плоских крышек, двух бобышек закрепления имитаторов И2 протечки среды в стенку и шести волноводов (2). Материал основных частей макета — сталь 20 [10]. В случае необходимости изучения вопроса прохождения акустических сигналов в среду имитатор полностью наполняется жидкостью. Через любой из штуцеров (кроме воздушного и дренажного) испытательная среда может быть подана во внутрь макета; после окончания исследований жидкая среда удаляется через нижние вентили. Имитатор рассчитан на давление до 16 кгс/см^2 и используется для активации ИАЭ.

Имитатор объемного ОПО (5), представляет собой сосуд высокого давления и состоит из сваренных между собой двух эллиптических днищ и цилиндрической обечайки с одним продольным сварным швом и трех опор. Толщина листа днищ и обечайки — 8 мм, материал 09Г2С [9]. Общие габаритные размеры ИОПО: диаметр 1000 мм, высота 2700 мм. К днищам приварены штуцеры Ду 32 воздушного вентиля (верхний) и дренажного вентиля (нижний). К корпусу обечайки приварены люк-лаз, два технологических штуцера Ду 150, два штуцера Ду 32, две бобышки имитаторов дефектов (И2) и шесть волноводов (2). При этом расположение штуцеров и люков таково, что 3/4 части обечайки ИОПО по длине окружности остаются цельными (т.е. на них отсутствуют штуцеры, сварные соединения и другие акустические преграды).

В случае необходимости изучения реверберации акустических волн в объеме ИОПО через линию налива заполняют жидкостью. Жидкую среду из ИОПО удаляют через штуцер нижнего днища. Имитатор рассчитан на давление до 16 кгс/см^2 , но не используется для активации ИАЭ. Для этого применяют внутренние трубопроводы, подающие рабочую среду непосредственно на ИАЭ, которые заводят в ИОПО через один из технологических штуцеров Ду 150. Такое решение позволяет снизить расход (потребление) рабочей среды, а значит, использовать менее мощные (недорогие) источники давления.

Волноводы (2) для установки имитаторов АЭ имеются на всех ИОПО и представляют собой металлические пластины размером $60 \times 40 \times 8$ мм. Одной стороной их приваривают к ИОПО, на другой стороне имеются два отверстия для закрепления ИАЭ различного вида. Кромка волновода со стороны отверстий для ввода переотражением АЭ сигналов скошена под углом 45° (см. рисунок, а). Акустический сигнал от имитаторов к макетам передается прижимным способом через акустически прозрачную контактную среду, проводящую сигнал с затуханием не более 6 дБ.

ИАЭ И1 (см. рисунок, а) — имитатор образования и развития трещины в материале стенки ОПО — образец материала (б), аналогичный стандартным типа D [11] или типа 3 [12 – 14] или им подобным для оценки трещиностойкости. Образец для имитации отличается от стандартных большей длиной, имеет два дополнительных отверстия для крепления на волноводе ИОПО и скошенный торец под углом 45° для переотражения АЭ в ИОПО. В образце на усталостной машине или другим способом предварительно вырабатывают трещину длиной L (см. рисунок, а). Затем образец закрепляют через акустически прозрачную среду на волноводе ИОПО и провоцируют дальнейший рост трещины нагружающим устройством УУИС. Для этого в стандартные отверстия на другом конце образца с помощью держателя корпуса и упора штока устанавливают силовое устройство нагружающего оборудования (7) в виде гидроцилиндра одно-

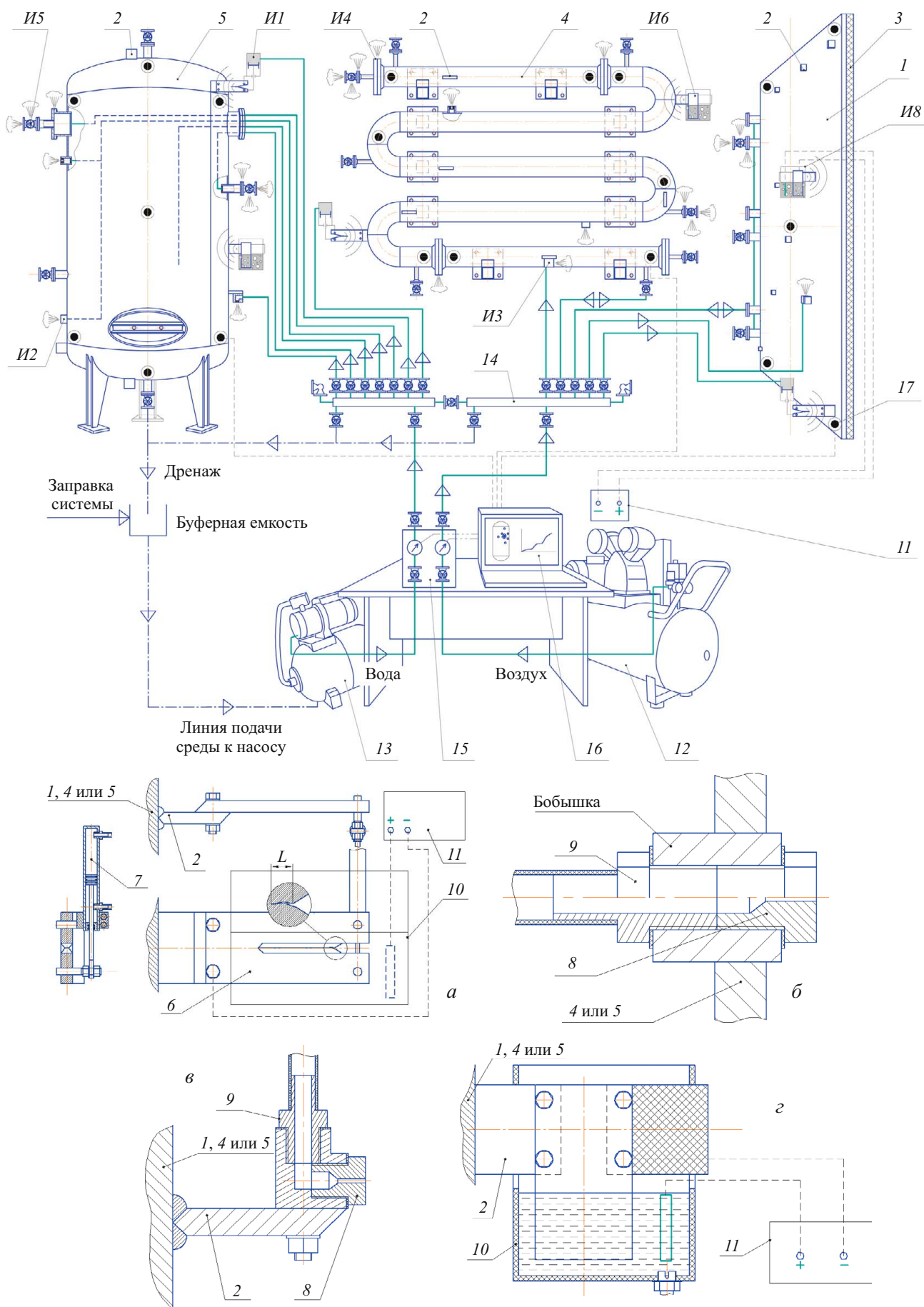


Схема универсального учебно-исследовательского стенда, а также конструктивные особенности имитаторов АЭ И1, И7 и И8 (а), И2 (б), И3 (в), И6 и И8 (г)

стороннего действия (при статическом нагружении образца) или сервопривод (при усталостном нагружении образца). Величину L определяют по известным формулам линейной механики разрушения через коэффициент интенсивности напряжений в зависимости от нормируемой в исследованиях нагрузки страгивания и роста трещины. Момент страгивания и скорость роста трещины регулируют длиной выращиваемой трещины и давлением в силовом устройстве (7). Поэтому их можно задавать и отслеживать с помощью блока регулировки давления (15).

ИАЭ И2 (см. рисунок, б) — имитатор протечки продукта (среды) через стенку ОПО — вкручивается в сквозное отверстие М8, выполненное в бобышках линейного (4) и объемного (5) ИОПО. Имитатор представляет собой резьбовую пробку (8) с круглым (свищ) или плоским (трещина) отверстием, имитирующим сквозной дефект требуемого размера. Каждый вид дефекта имитируют на отдельной пробке путем варьирования двух параметров — диаметра и глубины отверстия. На резьбу пробки перед наворачиванием для лучшего акустического контакта наносят акустически прозрачную среду. Рабочую среду подают нагружающим устройством с обратной стороны бобышки через штуцер внутреннего трубопровода (9) в объемном ИОПО или через внутреннюю полость линейного ИОПО. Режим истечения продукта связан с давлением в системе, поэтому его задают и отслеживают с помощью блока регулировки давления нагружающего устройства (15).

ИАЭ И3 (см. рисунок, в) — имитатор протечки продукта (среды) в стороннем объекте, акустически связанном с ИОПО, подобен ИАЭ И2, поскольку для имитации дефекта используют те же пробки с отверстиями (8) и соединительный штуцер (9) с гибким трубопроводом подачи среды, который уже прокладывают вне ИОПО. И3 отличается тем, что пробки и штуцеры вкручивают в угловой корпус имитатора, который с помощью болтовых соединений крепят на волноводе (2) любого из ИОПО (1, 4 или 5). Для улучшения передачи АЭ сигналов на контактную поверхность корпуса с волноводом и резьбу пробки перед установкой наносят акустически прозрачную среду. Режим истечения продукта также задают и отслеживают с помощью блока регулировки давления нагружающего устройства (15).

ИАЭ И2 и И3 позволяют воссоздать также ситуацию открытия свища. Для этого в отверстие пробки (8) вставляют мембрану или заглушку из эластичного материала (например, пластилина), которая обеспечивает герметичность до некоторого уровня давления. При наборе давления свыше данного уровня заглушка прорывается с образованием течи.

ИАЭ И4 — имитатор протечки продукта (среды) во фланцевое соединение — представляет собой негерметичность любого вида в деталях фланцевого соединения, через которую выходит продукт (среда).

Наиболее легко ИАЭ реализуется повреждением прокладки фланцевого соединения цапаиной, разрывом или другим способом, в результате чего при обжатии соединения получают зазор требуемых размеров. ИАЭ данного вида может быть любое фланцевое соединение на любом ИОПО (кроме технологического штуцера объемного ИОПО). Режим истечения продукта связан с давлением в системе, поэтому его задают и отслеживают с помощью блока регулировки давления (15).

ИАЭ И5 — имитатор протечки продукта (среды) в негерметичный ventиль — представляет собой несплошность в клапане или сальнике штока ventиля, задвижки или другого вида запорно-регулирующей арматуры, через которую выходит продукт (среда). ИАЭ данного типа наиболее легко реализуем путем установки тарированного зазора между седлом и прокладкой клапана ventиля по перемещению штока или повреждением прокладки клапана. Таким ИАЭ может быть любой ventиль на любом ИОПО (кроме технологических). Режим истечения продукта также контролируют с помощью блока регулировки давления (15).

ИАЭ И6 (см. рисунок, г) — имитатор коррозионного повреждения элементов ОПО или агрессивного воздействия среды на материал элемента ОПО — образец материала, который погружают в химически агрессивную среду. Образец изготавливают в виде пластины, которую через акустически прозрачную среду одной стороной приворачивают болтовыми соединениями к волноводу (2). На образец надевают ванну (10) и фиксируют с помощью держателя, который болтовыми соединениями приворачивают к другой стороне образца. Ванну заполняют агрессивной средой, которую в зависимости от задачи исследования (моделирования степени агрессивности среды) подбирают из сред стандартного ряда специализированных методик испытаний (например, [11, 15, 16]). После исследований агрессивную среду удаляют через отдельную сливную систему, состоящую из штуцера, ventиля и штуцера со сливным шлангом. В случае необходимости образец в ванне можно установить под напряжением, например, с помощью изгибающих струбцин.

ИАЭ И7 — имитатор коррозионного растрескивания материала ОПО под напряжением — представляет собой имитатор И1, погруженный в ванну (10) с коррозионно-агрессивными средами. В ванну наливают агрессивную среду, которую в зависимости от задачи исследования (моделирования степени агрессивности среды) также подбирают из стандартного ряда специализированных методик испытаний (например, [11, 15, 16]). Затем в образце с помощью силового цилиндра создают предварительные напряжения, которые ниже уровня провоцирующих рост трещины согласно зависимостям линейной механики разрушения. Отличительной особенностью данного имитатора от И1 является то, что рост трещины провоцирует

исключительно коррозионно-агрессивная среда. После исследований агрессивную среду удаляют через сливную систему, подобную описанной для имитатора И6.

ИАЭ И8 — имитатор водородного повреждения материала ОПО — представляет собой имитатор И7 или И6, но имеет свои особенности. И8 отличается от И7 тем, что в образце (6) трещину предварительно не выращивают, а от И7 и И6 тем, что в ванну заливают водородсодержащие электролиты. При этом процесс водородного повреждения образца интенсифицируют применением гальванической системы, состоящей из источника питания постоянного тока (11), положительный полюс которого подключен к погружному электроду, а отрицательный соединен с образцом. Для выявления и фильтрации мешающей АЭ, возникающей в процессе электролиза среды, процесс наводороживания до разрушения образца проводят периодами с остановками, при этом АЭ записывают на всем протяжении испытания.

Как отмечено выше, активацию и управление ИАЭ И1 – И5 и И7, И8, а также заполнение ИОПО жидкой и газообразной средой осуществляют с помощью нагружающего устройства УУИС, которое состоит из компрессора с ресивером (12), насоса с гидроаккумулятором (13), раздаточного коллектора (14), запорных вентилей, датчиков давления с выходом на ЭВМ, блока регулировки давления (15), предохранительных клапанов и гибких соединительных трубопроводов, которые на рисунке обозначены следующим образом: утолщенной/толстой штрихпунктирной линией — наружная/внутренняя линия подачи жидкой или газовой среды; толстой штрихпунктирной линией — линия подачи среды к насосу и линия дренажа среды из ИОПО.

Количество волноводов, ИАЭ, линий нагружения ИАЭ, ИОПО, линий дренажа, а также запорных, регулирующих вентилей и предохранительных устройств не принципиально, их можно добавлять, изменять, объединять, перегруппировывать в зависимости от условий лаборатории и целей применения УУИС.

Последним основным элементом УУИС является АЭ аппаратура. Для регистрации и анализа АЭ в УУИС применима любая многоканальная АЭ система, удовлетворяющая требованиям документов [7, 17, 18], которая в промышленном исполнении состоит из блока (16) записи и анализа АЭ и параметрической информации, предварительных усилителей, преобразователей АЭ (17) и соединительных кабелей. В данной работе использована промышленная 16-канальная АЭ система A-Line 32D (PCI-8E) производства ООО «Интерюнис» (Москва).

На рисунке все электрические кабели условно показаны тонкой штриховой линией. Кроме этого, имитаторы АЭ, преобразователи АЭ, электрические соединительные линии и обозначающие их позиции указаны только один раз.

Приведем обобщенный алгоритм применения УУИС.

1. Постановка задачи имитации: выбор количества требуемых имитаций, элементов стенда (ИОПО), удовлетворяющих требуемым имитациям, метода нагружения и закона изменения нагрузки, граничных условий распространения сигналов АЭ по объекту контроля, количества имитаторов АЭ и места их расположения, способа и условий регистрации АЭ, нагрузки срабатывания имитаторов АЭ (при необходимости), критериев оценки класса опасности источников АЭ, контрольных показателей достижения результатов имитации.

2. Подготовительные работы: подготовка образцов имитаторов АЭ и вспомогательных элементов, закрепление их на волноводе универсального стенда и проверка качества акустического контакта волновода; установка датчиков АЭ и проверка качества их акустического контакта; проверка безопасности, подключение, оценка работоспособности и настройка АЭ системы согласно инструкции по эксплуатации; измерение акустических характеристик объекта контроля и корректировка мест установки датчиков АЭ согласно [7] с обеспечением требуемой точности локализации места установки имитатора(ов) АЭ; составление гидropневматической схемы подключения нагружающего оборудования стенда и монтаж устройств системы; включение нагружающего оборудования, проверка герметичности всей системы, подключение датчиков нагружающего устройства к АЭ системе и их тарировка; установка с проверкой качества акустического контакта контрольного(ых) датчика(ов) АЭ на волноводе или корпусе макета объекта рядом с имитатором(рами) АЭ; заполнение макета жидкой средой (при необходимости); предварительное нагружение имитаторов АЭ (при необходимости); подготовка коррозионно-агрессивной среды (при необходимости); запись и измерение фонового АЭ шума до и после включения нагружающего оборудования.

3. Проведение имитации: включение регистрации АЭ с записью формы сигналов; нагружение имитаторов АЭ по закону изменения нагрузки с заливкой коррозионно-агрессивной среды (при необходимости) и включением гальванической системы (при необходимости); проведение испытаний до достижения показателя цели имитации; остановка нагружения и записи АЭ.

4. Обработка результатов: выделение сигналов из помех; выделение ложных локаций из условия определенности места установки источника АЭ; параметрический анализ сигналов АЭ; определение класса опасности источника согласно [7] или другой нормативной документации; сравнение чувствительности разных подходов определения класса опасности; сравнение АЭ от источника при варьировании внешних условий; проверка достижения контрольных показателей имитации; выявление причин, разработка мероприятий по

их исключению и повторение имитации; оформление результатов.

При нескольких имитациях пп. 2 – 4 обобщенного алгоритма повторяются для каждой имитации. При аттестации практических знаний специалистов стенд применяется по тому же алгоритму, но аппаратура АЭ устанавливается вне видимости объекта контроля. При этом операции установки датчиков АЭ и настройки согласно [7] по п. 2 обобщенного алгоритма проводятся специалистами до выполнения всех остальных операций, в которых задействован обслуживающий персонал. По п. 3 обобщенного алгоритма аттестуемый специалист управляет только АЭ системой. Целью п. 4 в данном случае является: определение класса опасности источника; остановка испытания до нормируемой точки-признака разрушения объекта контроля и выдача заключения о типе обнаруженного(ых) источника(ов) АЭ и его(их) координат.

Таким образом, предлагаемый УУИС позволяет многократно воссоздавать множество ситуаций, возникающих во время эксплуатации и технического диагностирования широкого спектра промышленного оборудования (сосудов, трубопроводов, трубчатых печей, резервуаров и др.), при минимальных затратах. Получение желаемого технического результата возможно только за счёт комплексного использования вышеперечисленных особенностей универсального стенда.

УУИС является не только демонстрационно-обучающим стендом для метода АЭ, он позволяет также отрабатывать и проверять возможности метода и аппаратуры АЭ для оценки технического состояния ОПО в областях исследования: физических принципов излучения АЭ различными источниками; распространения, затухания и трансформации сигналов АЭ на элементах ОПО; работоспособности алгоритмов фильтрации, шумоподавления и детектирования АЭ сигналов; работоспособности алгоритмов локации источников АЭ и отсеивания ложных локационных событий; вероятности обнаружения дефектов методом АЭ при применении той или иной методики и/или аппаратуры АЭ.

Следовательно, УУИС может быть полезен для лабораторий НК, организаций, изготавливающих/монтирующих и эксплуатирующих ОПО, диагностических и экспертных организаций, а также аттестационных центров специалистов по НК и предприятий, разрабатывающих средства АЭ контроля.

Конструкция УУИС технически проста, построенная на унифицированных элементах и может быть реализована в любой лаборатории НК. Стоимость изготовления стенда может быть уменьшена за счет применения выведенного из эксплуатации промышленного оборудования (сосудов, трубопроводов, листов резервуаров и пр.), приобретенного по остаточной стоимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Иванов В. И., Власов И. Э.** Метод акустической эмиссии / Неразрушающий контроль: справочник под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 7. Кн. 1. — М.: Машиностроение, 2005. — 829 с.
2. ГОСТ 27655–88. Акустическая эмиссия. Термины, определения и обозначения. — М.: Издательство стандартов, 1988.
3. ГОСТ Р 55045–2012. Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Термины, определения и обозначения. — М.: Стандартинформ, 2013.
4. **Rauscher F.** Laboratory experiments for assessing the detectability of specific defects by acoustic emission testing / EWGAE-2008 — www.ndt.net.
5. Пат. 903761 СССР. Акустико-эмиссионный способ оценки динамики развития дефектов при прочностных испытаниях сварных сосудов высокого давления / Карасев Л. П., Мезинцев Е. Д., Хилков К. В.; Заявитель и патентообладатель Предприятие П/Я В-2190; № 2486695/25-28; заявл. 16.05.77; Опубл. 07.02.82. Бюл. № 5.
6. **Genis V., Pollock A.** Nondestructive Evaluation Courses for Undergraduate Engineering and Engineering Technology Students / EWGAE-ICAE2012 — www.ndt.net.
7. ПБ 03-593-03. Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов. — М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2004.
8. **Шаталов А. А., Шемякин В. В., Стрижков С. А.** Специализированный стенд для обучения и сдачи практического экзамена по акустико-эмиссионной диагностике промышленных объектов / Безопасность труда в промышленности. 2001. № 7. С. 24 – 26.
9. ГОСТ 19281–2014. Прокат повышенной прочности. Общие технические условия. — М.: Стандартинформ, 2015.
10. ГОСТ 1050–2013. Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия. — М.: Стандартинформ, 2014.
11. ANSI/NACE TM 0177 Laboratory Testing of Metals for Resistance to Specific Forms of Environmental Cracking H₂S Environments / Standard USA.
12. ГОСТ 25.506–85. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. — М.: Издательство стандартов, 1985.
13. РД 50-345–82. Методические указания. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при циклическом нагружении. — М.: Издательство стандартов, 1983.
14. ASTM E647. Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates / Standard USA.
15. ГОСТ 26294–84. Соединения сварные. Методы испытаний на коррозионное растрескивание. — М.: Издательство стандартов, 1986.
16. СТО Газпром 2-5.1-148–2007. Методы испытаний сталей и сварных соединений на коррозионное растрескивание под напряжением. — ИРЦ Газпром, 2007.
17. РД 03-299–99. Требования к акустико-эмиссионной аппаратуре, используемой для контроля опасных производственных объектов. — М: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2009.
18. РД 03-300–99. Требования к преобразователям акустической эмиссии, применяемым для контроля опасных производственных объектов. — М: ПИО ОБТ, 2002.

REFERENCES

1. **Ivanov V. I., Vlasov I. É.** Metod akusticheskoj émissii [Method of acoustic emission] / Nerazrushayushchii kontrol': spravochnik [Non-destructive testing: manual]. Vol. 7. Book 1. — Moscow: Mashinostroyeniye, 2005. — 829 p. [in Russian].
2. RF State Standard GOST 27655–88. Akusticheskaya émissiya. Terminy, opredeleniya i oboznacheniya [Acoustic emission. Terms, definitions and symbols]. — Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1988 [in Russian].
3. RF State Standard GOST R 55045–2012. Tekhnicheskaya diagnostika. Akustiko-émissionnaya diagnostika. Terminy, opredeleniya i oboznacheniya [Technical diagnostics. Acoustic emission diagnostic. Terms, definitions and symbols]. — Moscow: Standartinform, 2013 [in Russian].

4. **Rauscher F.** Laboratory experiments for assessing the detectability of specific defects by acoustic emission testing / EWGAE-2008 — www.ndt.net.
5. USSR Pat. 903761, **Karasev L. P., Mezintsev E. D., Khilkov K. V.** Akustiko-émissionnyi sposob otsenki dinamiki razvitiya defektov pri prochnostnykh ispytaniyakh svarnykh sosudov vysokogo davleniya [Acoustic emission method of assessing the dynamics of defects in strength test of welded pressure vessels]. — www.fips1.ru [in Russian].
6. **Genis V., Pollock A.** Nondestructive Evaluation Courses for Undergraduate Engineering and Engineering Technology Students / EWGAE-ICAE2012 — www.ndt.net.
7. PB 03-593-03. Pravila organizatsii i provedeniya akustiko-émissionnogo kontrolya sosudov, apparatov, kotlov i tekhnologicheskikh truboprovodov [Rules of organization and conducting of acoustic-emissive control of vessels, apparatuses, boilers, and process pipelines. — Moscow: Izd. NTTs «Promyshlennaya bezopasnost'», 2004 [in Russian].
8. **Shatalov A. A., Shemyakin V. V., Strizhkov S. A.** Spetsializirovannyi stand dlya obucheniya i sdachi prakticheskogo ékzamina po akustiko-émissionnoi diagnostike promyshlennykh ob'ektov [A dedicated stand for the training and the practical test by acoustic emission testing of industrial facilities] / Bezopasn. Truda Promyshl. 2001. N 7. P. 24 – 26 [in Russian].
9. RF State Standard GOST 19281–2014. Prokat povyshennoi prochnosti. Obshchie tekhnicheskie usloviya [High strength rolled steel. General specification]. — Moscow: Standartinform, 2015 [in Russian].
10. RF State Standard GOST 1050–2013. Metalloproduktiya iz nelegirovannykh konstruksionnykh kachestvennykh i spetsial'nykh staley. Obshchie tekhnicheskie usloviya [Metal products from nonalloyed structural quality and special steels. General specification]. — Moscow: Standartinform, 2014 [in Russian].
11. ANSI/NACE TM 0177 Laboratory Testing of Metals for Resistance to Specific Forms of Environmental Cracking H₂S Environments / Standard USA.
12. RF State Standard GOST 25.506–85. Raschety i ispytaniya na prochnost'. Metody mekhanicheskikh ispytaniy metallov. Opredelenie kharakteristik treshchinstoikosti (vyazkosti razrusheniya) pri staticheskom nagruzhenii [Design, calculation and strength testing. Methods of mechanical testing of metals. Determination of fracture toughness characteristics under the static loading]. — Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1985 [in Russian].
13. Regulating Document RD 50-345–82. Metodicheskie ukazaniya. Raschety i ispytaniya na prochnost'. Metody mekhanicheskikh ispytaniy metallov. Opredelenie kharakteristik treshchinstoikosti (vyazkosti razrusheniya) pri tsiklicheskom nagruzhenii [Methodical instructions. Calculations and strength tests. Methods of mechanical testing of metals. The definition of characteristics of crack resistance (fracture toughness) under cyclic loading]. — Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1983 [in Russian].
14. ASTM E647. Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates / Standard USA.
15. RF State Standard GOST 26294–84. Soedineniya svarnye. Metody ispytaniy na korrozionnoe rastreskivanie [Welded joints. Methods of corrosion cracking tests]. — Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1986 [in Russian].
16. STO Gazprom 2-5.1-148–2007. Metody ispytaniy staley i svarnykh soedineniy na korrozionnoe rastreskivanie pod napryazheniem [Test methods steels and welded joints on stress corrosion cracking under tension]. — Moscow: Izd. IRTs Gazprom, 2007 [in Russian].
17. Regulating Document RD 03-299–99. Trebovaniya k akustiko-émissionnoi apparature, ispol'zuemoi dlya kontrolya opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov. — Moscow: Izd. NTTs «Promyshlennaya bezopasnost'», 2009 [in Russian].
18. Regulating Document RD 03-300–99. Trebovaniya k preobrazovatelyam akusticheskoi émissii, primenyaemym dlya kontrolya opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov [Requirements for the acoustic emission transducers used for testing of hazardous production facilities. — Moscow: PIO OBT, 2002 [in Russian].