

# ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ СОСУДОВ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

А. Я. НЕДОСЕКА, С. А. НЕДОСЕКА, М. А. ЯРЕМЕНКО, М. А. ОВСИЕНКО

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Рассмотрены результаты проведенных испытаний методом акустической эмиссии реактора типа 103-D, применяемого в производстве аммиака, в процессе эксплуатации. Показано, что в сосуде на момент испытаний формируются области с концентрацией дефектов. Отмечено, что в дальнейшем эти области могут накапливать развивающиеся дефекты, которые будут представлять определенную опасность, классифицируемую шкалой прогнозного алгоритма испытательной аппаратуры, в связи с чем для таких конструкций рекомендуется непрерывный мониторинг и периодическая оценка ресурса. Библиогр. 12, табл. 1, рис. 9.

*Ключевые слова:* акустическая эмиссия, реактор 103-D, развивающиеся дефекты, непрерывный мониторинг, ресурс

Испытание конструкций в процессе эксплуатации с оценкой разрушающей нагрузки и остаточного ресурса является весьма важной задачей [1]. Эксплуатация потенциально опасных объектов химического производства тесно связана с вопросом экологии окружающей среды и требует уделять большое внимание технологиям, обеспечивающим ее безопасность. Таковой в настоящее время является технология, основанная на методе акустической эмиссии (АЭ), отслеживающем активность постепенно разрушающихся в процессе эксплуатации материалов [2–4]. Технология позволяет в реальном времени предупреждать о возникшей опасности и прогнозировать разрушение [5–9].

На примере контроля состояния химического реактора типа 103-D, работающего в производстве аммиака, покажем особенности применения такой технологии на базе диагностической системы ЕМА. В таблице приведены технические характеристики из паспорта реактора 103-D.

Отметим, что данная технология, как и любая технология, основанная на определенных научных

исследованиях и разработках с применением специальных контролирующих приборов и алгоритмов, работает с определенной, наперед заданной вероятностью, что позволяет четко понимать, в каких пределах достоверности следует ожидать правильного решения о состоянии контролируемых объектов.

Опыт ИЭС им. Е. О. Патона в применении метода АЭ для определения технического состояния объектов, работающих при различных температурах, показал, что методические трудности, связанные с установкой датчиков АЭ, проведением измерений и оценке их результатов, могут быть эффективно преодолены. Об этом свидетельствует позитивный опыт многолетней работы систем непрерывного АЭ мониторинга, в том числе на изотермических резервуарах для хранения жидкого аммиака и высокотемпературных объектах цеха производства аммиака Одесского припортового завода (ОПЗ), барабанах котлов и паропроводах ТЭЦ-5 и ТЭЦ-6 СВП «Киевские ТЭЦ» [10–12].

Для проведения акустико-эмиссионного контроля реактора вторичного риформинга 103-D использовалась система технической диагностики ЕМА-4.

Испытания проводили в рабочем состоянии объекта и в условиях определенных ограничений по времени контроля.

Учитывая то, что доступ к значительной части поверхности реактора был ограничен, места расположения датчиков были выбраны, исходя из возможности имеющегося доступа к отдельным участкам реактора. При этом предварительные настройки, необходимые при стандартных испытаниях такого типа объектов, проводились с использованием специальных приемов, позволяющих оценить наличие зон, находящихся в области до-

## Технические характеристики реактора 103-D

Наименование, позиция аппарата	Реактор вторичного риформинга 103-D
Дата изготовления, введения в эксплуатацию, изготовитель	20.09.1978, 23.03.1981 фирма «Кгирр», Германия
Материал-аналог WStE36	Сталь 17Г1С, $\sigma_B = 510$ МПа; $\sigma_T = 345...355$ МПа
Среда в аппарате	Конвертированный газ ( $H_2 - 60\%$ , $N_2 - 20\%$ , $CO - 10\%$ , $CO_2 - 10\%$ )
Объем, л	112,0
Рабочие параметры: давление $P$ , кг/см <sup>2</sup> , температура $T$ , °С	35,5 (паспорт) 32,4 (рабочее) 205 (стенка корпуса)

сягаемости, аппаратурой АЭ. В результате датчики АЭ были установлены так, чтобы можно было обеспечить контроль реактора в целом.

Проведенные испытания показали, что, несмотря на упомянутые ограничения, объект является контролепригодным, а обнаруженные источники АЭ могут служить достаточным основанием для классификации текущего состояния изделия по степени опасности. Возможность такой классификации позволяет при необходимости перейти к непрерывному АЭ мониторингу реактора с оценкой его состояния.

На рис. 1. схематически показано, что основные контролирующие датчики располагались по кольцу в верхней и нижней части реактора.

В течение 5 ч была выполнена серия из пяти испытаний средней продолжительностью 30 мин

каждое. Учитывая достаточно высокую зашумленность объекта контроля (средний уровень шума достигал 36 дБ) и наличие замкнутой поверхности, что приводит к переотражениям и кольцевому повторению сигналов АЭ, были использованы следующие ограничения:<sup>\*</sup>

- программный фильтр нижних частот – 25 кГц;
- максимальное время нарастания сигнала – 1250 мкс.

Отметим сразу, что ряд датчиков, расположенных на боковой поверхности, не показал акустической активности, и основные представленные экспериментальные данные базируются на показаниях датчиков верхнего и нижнего колец. Датчики нижнего кольца расположены на фланце и соответствуют номерам каналов АЭ 33, 34, 35. Датчики верхнего кольца расположены на крыш-

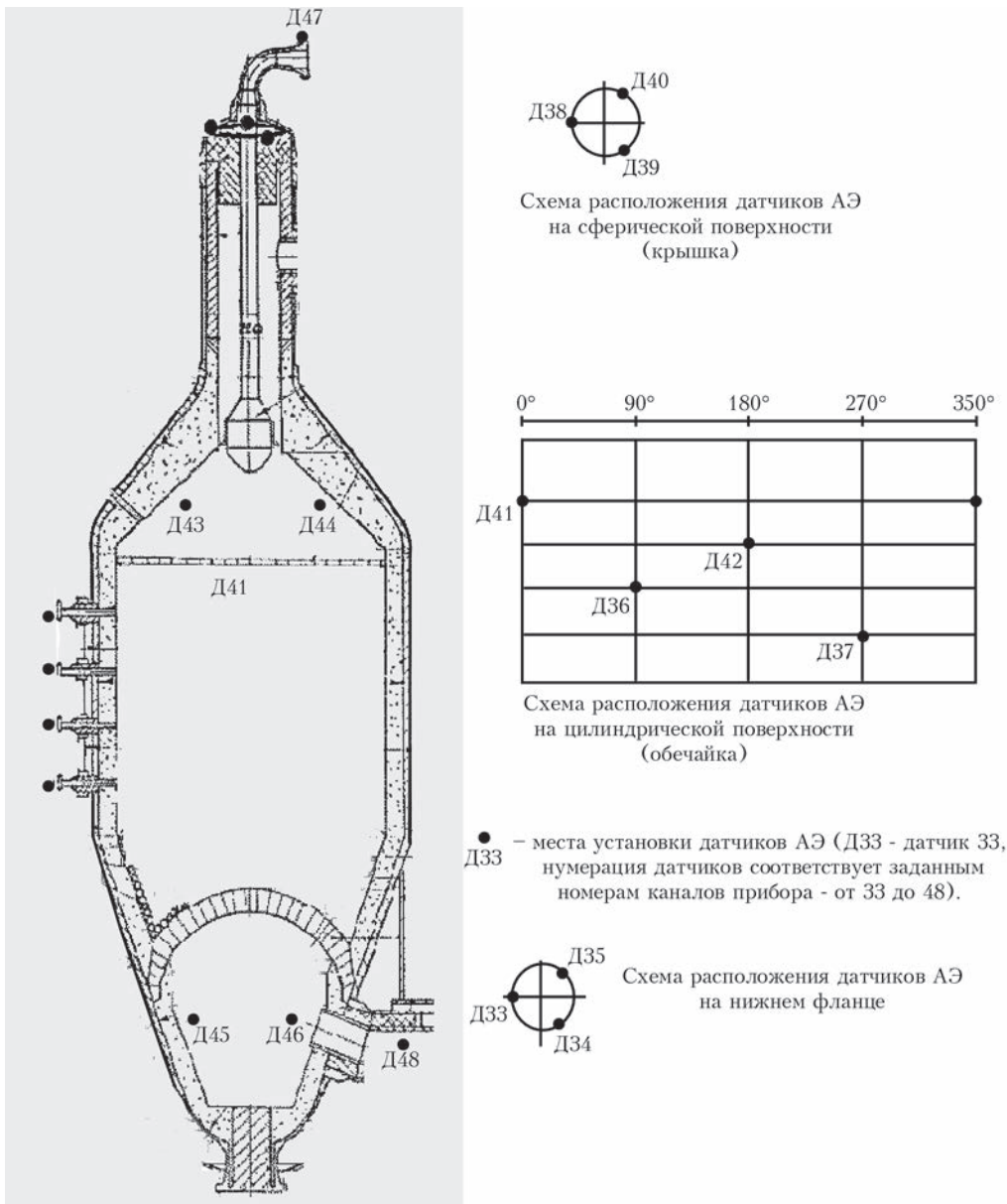


Рис. 1. Общая схема изделия с установленными датчиком АЭ

<sup>\*</sup> Указанные настроечные характеристики связаны с техническими возможностями аппаратуры ЕМА-4.

ке реактора и соответствуют номерам каналов АЭ 38, 39, 40.

АЭ контроль проводили в режиме зонной локации с использованием встроенного алгоритма прогноза разрушающей нагрузки. При этом выполняли запись всей полученной АЭ информации. Используемый тип локации на нее не влияет и может быть многократно изменен при компьютерном повторе проведенных испытаний, так как программное обеспечение для систем ЕМА версии 3.91 позволяет уже после проведения измерений изменять конфигурации локационных антенн, обеспечивая различные представления данных и повышая, таким образом, информативность метода. При последующей обработке информации использовали три разных представления данных: в виде двух замкнутых антенн из датчиков нижнего (33, 34, 35) и верхнего (38, 39, 40) колец; в виде цилиндрической антенны из датчиков верхнего и нижнего колец, а также трех вертикально расположенных линейных антенн, состоящих из двух датчиков каждая (33-38, 34-39, 35-40).

Поскольку боковая поверхность реактора имеет переменный диаметр, цилиндрическая антенна не может быть использована для точной локации источников АЭ, так как датчики верхнего и нижнего поясов размещены выше и ниже обечайки на радиусах, меньших радиуса обечайки, и такой тип представления данных контроля используется лишь для оценки общей картины АЭ на поверхности реактора.

Линейные антенны, наоборот, позволяют получить координату источника АЭ в вертикальном направлении (снизу-вверх) изделия, но дают менее обобщенную картину АЭ на поверхности. Аналогично кольцевые антенны показывают, в каком из вертикальных сечений наблюдается наибольшая АЭ активность. При этом можно утверждать, что вблизи той антенны, которая показывает большую акустическую активность, состояние материала оболочки хуже.

В представленных ниже результатах для наиболее типовых испытаний показаны источники АЭ на схемах цилиндрической, кольцевой и линейной локации в виде снимков экранов программы ЕМА-3.91 (рис. 2–5). Флажками показаны сформированные кластеры событий АЭ, цифрами на флажках – число событий, вошедших в данный кластер.

Отдельно для каждого типа локации построены графики АЭ в зависимости от времени (рис. 6–8). На графиках линиями показано значение текущего шумового фона (т. е. непрерывной АЭ, обозначенной как  $A_v$ ), измеряемого в дБ, столбиками показаны значения амплитуд  $A$  событий АЭ, вошедших в кластеры, отдельно для каждой антенны, измеряемых также в дБ; точками – значение частоты сигналов для этих же событий, измеряемой в Гц.

Вначале приведем исходный результат одного наиболее показательного испытания, выполненного в режиме зонного контроля без дополнитель-

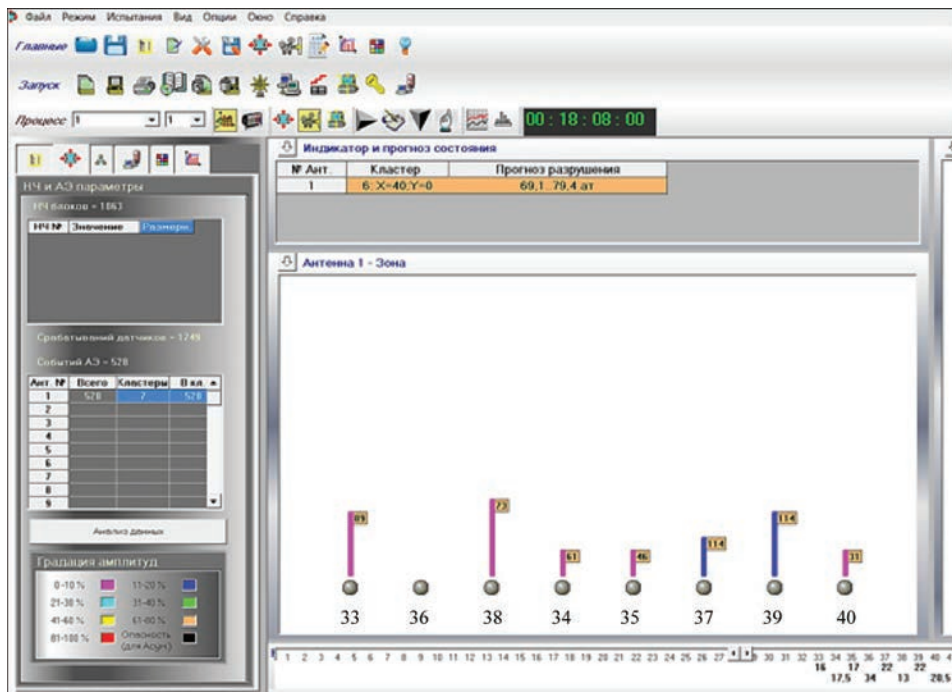


Рис. 2. Рабочий экран программы ЕМА 3.91. Результат зонной локации для одного из испытаний с прогнозом разрушающего давления (полоса прогноза состояния в верхней части окна). Цифры внутри флажков показывают количество сигналов АЭ в контролируемом секторе. Цифрами (внизу) показаны номера датчиков. Для датчиков 33, 38, 34, 35, 40 – амплитуда от 0 до 10 %. Для датчиков 37, 39 – амплитуда от 11 до 20 %. Датчик 36 не активен. В левой и верхней части экрана – окна текущей информации и кнопки управления испытаниями и их повтором

ной обработки (рис. 2). Поскольку последующая обработка данных показала в целом нормальное состояние оболочки реактора, было принято решение выполнить оценочный прогноз разрушающей нагрузки именно на показаниях АЭ, полученных в режиме зонной локации. Основное отличие данного режима – невозможность выделить конкретные опасные области объекта контроля и разделить шумы двух видов – генерируемые собственнo объектом и посторонние, связанные с технологическими процессами.

Как правило, режим зонной локации показывает значительно большее число событий АЭ, чем локация с определением координат. В связи с этим для оценочного прогноза разрушающей нагрузки применен специальный весовой алгоритм. Такой метод можно рекомендовать к использованию только тогда, когда АЭ активность объекта контроля, определяемая методом поиска координат источников, является незначительной.

Данные, представленные предприятием, эксплуатирующим объект, показали, что в процессе всех проведенных испытаний рабочее давление практически не менялось и составляло 31...32,4 кг/см<sup>2</sup>. Прогноз разрушения показал разрушающую нагрузку в интервале 115,1...132,4 кг/см<sup>2</sup>.

Учитывая класс стали (17Г1С) и размеры реактора, расчетное опасное напряжение в материале составляет  $(288 \times 69,1)/5,4 = 299 \text{ МПа}^{**}$ .

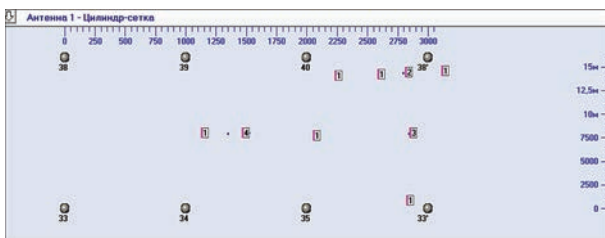


Рис. 3. Схема расположения кластеров АЭ источников на экране программы ЕМА-3.91 при использовании цилиндрической локации в условиях наибольшей АЭ активности. Цифрами показано количество событий в кластере

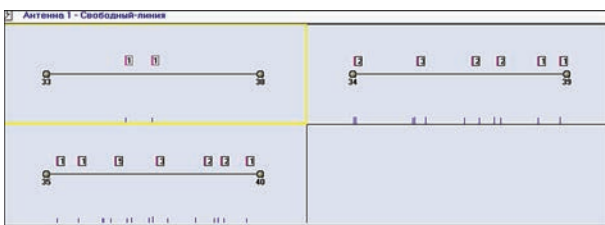


Рис. 4. Схема расположения кластеров АЭ источников на экране программы ЕМА-3.91 при использовании линейной локации в условиях наибольшей АЭ активности. В нижней части графиков штрихами показаны некластеризованные события

Принимая во внимание высокие температуры внутри корпуса реактора – до 1032 °С, и более 200 °С в несущей цилиндрической оболочке, а также 36 лет его наработки, можно отметить, что работа в таких условиях повлияла на предел длительной прочности в сторону его понижения по сравнению с исходным значением предела прочности, составляющим 400 МПа при 200 °С.

В то же время анализ результатов локации, избирательно представленных ниже, показывает, что исчерпания несущей способности реактора не произошло. При этом продолжается постепенное накопление повреждений и деградация свойств материала.

На рис. 3 показаны результаты одного из испытаний в представлении цилиндрической локации, характерное наибольшим по сравнению с другими испытаниями количеством событий АЭ на поверхности оболочки реактора. Несколько образовавшихся кластеров АЭ активности показывают, что наибольшее число событий возникло в квадранте, образованном датчиками 33-35-38-40. Активность обнаруженных источников АЭ невелика, максимальное число событий в одном кластере не превышает четырех. Выявленные источники АЭ, сформировавшие кластеры, в соответствии с ДСТУ 4227-2003 [2] можно отнести к малоактивным (I-II класс). Аналогичное распределение по классам источников наблюдается и при просмотре результатов испытаний в режимах линейной и кольцевой локации (рис. 4, 5).

Сравнивая результаты цилиндрической и кольцевой локации, можно отметить совпадение основных квадрантов АЭ активности, образованных датчиками 33-35-38-40. При этом, однако, в верхней части реактора кольцевая антенна показывает значительно меньшую АЭ активность (датчики нижнего кольца расположены на фланце).

Графики АЭ параметров, распределенных во времени, приведенные для некоторых локационных рис. 6, 7, показательны тем, что видно, как в процессе испытания АЭ события возникают достаточно редко и равномерно. При этом

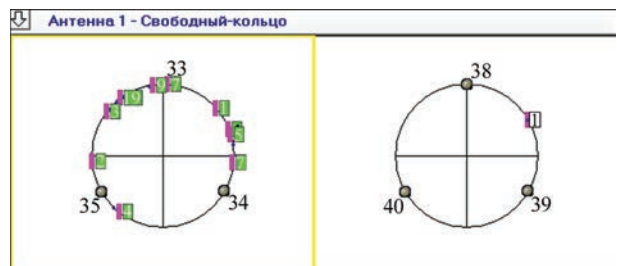


Рис. 5. Схема расположения кластеров АЭ источников на экране программы ЕМА-3.91 при использовании кольцевой локации в условиях наибольшей АЭ активности

\*\* Расчеты выполнены по формуле:  $\sigma = rp/\delta$ , где  $r$  – радиус цилиндрической части сосуда, см;  $p$  – разрушающее давление внутри сосуда, кг/см<sup>2</sup>;  $\delta$  – толщина стенки цилиндрической части сосуда, см. Данные взяты из паспорта изделия и рис. 2.



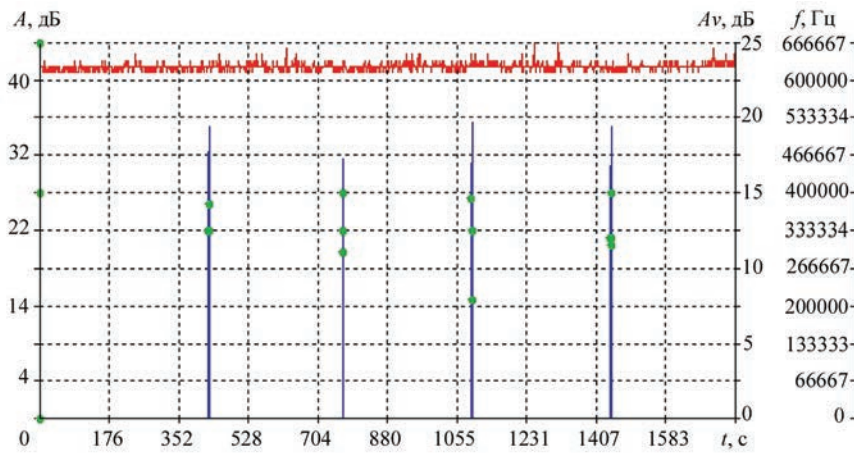


Рис. 6. Уровень шума, значения амплитуд и частот сигналов АЭ для линейной локационной антенны при испытании № 1. Датчики 35, 40

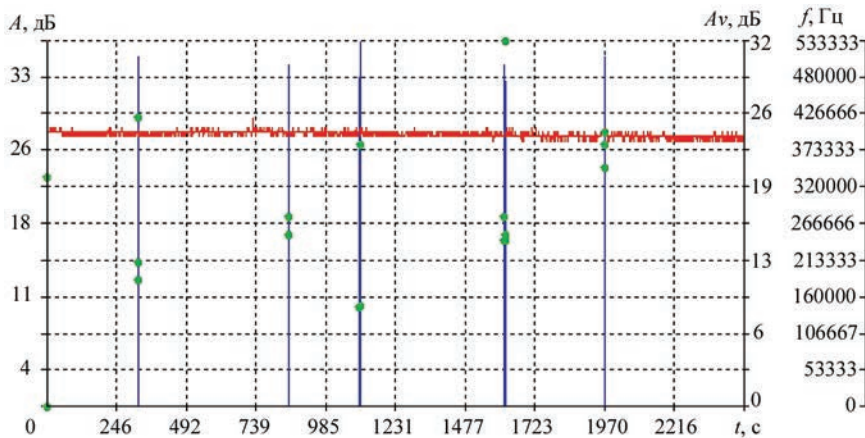


Рис. 7. Уровень шума, значения амплитуд и частот сигналов АЭ для линейной локационной антенны при испытании №2. Датчики 35, 40

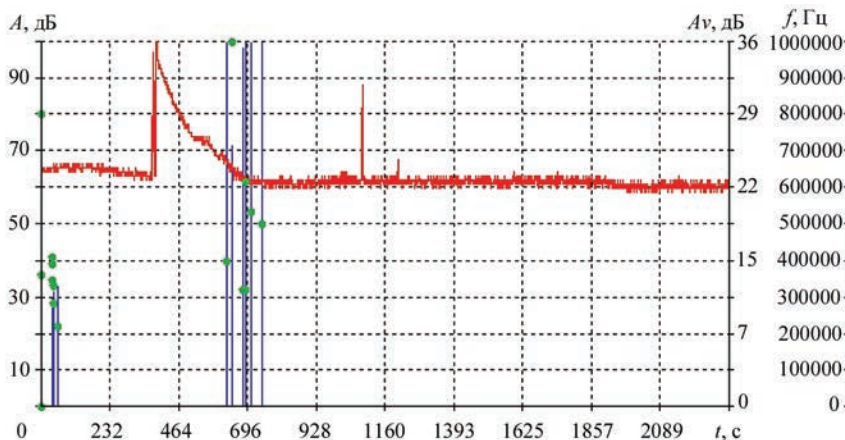


Рис. 8. Уровень шума, значения амплитуд и частот сигналов АЭ для общей цилиндрической антенны при испытании № 4

величина среднего шума не превышает 32 дБ, амплитуды сигналов 45 дБ, частоты сигналов составляют порядка 400 кГц.

Однако следует отметить, что в процессе одного из испытаний (4-е из серии) наблюдались резкие внезапные изменения параметров АЭ при неизменных рабочих параметрах (рис. 8). При этом четко видно отличие параметров АЭ в сравнении с теми, которые представлены на рис. 6, 7. Помимо скачкообразного изменения шума зарегистри-

рованы события АЭ с амплитудой до 100 дБ и частотой до 1 МГц. Учитывая практически неизменные рабочие параметры изделия, можно предположить, что АЭ системе удалось зафиксировать один из моментов резкого накопления повреждений в корпусе реактора.

Подведем краткие итоги результатов проведенных испытаний.

В процессе испытаний реактора 103-D было зарегистрировано большое количество одиночных

срабатываний датчиков АЭ. Обработка полученных данных показала, что на основе указанных срабатываний можно сформировать события АЭ, пригодные для дальнейшего анализа текущего состояния материала.

Сформированные события АЭ и их кластерный анализ позволяют сделать вывод о постепенном развитии в материале оболочки реактора рассеянных повреждений, которые в перспективе могут вызвать образование трещин и разрушение, но на момент проведения контроля не представляют опасности. Большинство выявленных источников АЭ излучают волны высокого частотного диапазона до 1 МГц включительно, в связи с чем не могут относиться к технологическим шумам (обычно не превышающим 25 кГц), а связаны с развитием повреждений в материале.

Отмечено наличие источников АЭ малой активности в районе верхней и нижней полусфер, в средней части корпуса реактора. Выявленные источники АЭ, сформировавшие кластеры, в соответствии с ДСТУ 4227-2003 [2] можно отнести к малоактивным (I-II класс), поскольку наибольшее число событий в кластере, зарегистрированное при испытаниях, не превышает 10. Амплитуда событий АЭ невысока, не более 45 дБ, и превышает максимальное значение шумового фона (36 дБ) всего на 9 дБ. Согласно принятой классификации такие источники опасности не представляют и, следовательно, эксплуатация реактора на режимах, установленных на момент проведения АЭ испытаний, может быть продолжена.

Наличие АЭ активности на объекте контроля, а также зафиксированный в процессе одного из испытаний в проведенной серии резкий скачок шумового фона свидетельствуют о том, что процессы накопления повреждений и развития разрушения в реакторе должны и дальше отслеживаться с применением метода АЭ.

Оценочный расчет, основанный на автоматически выполняемом АЭ системой прогнозе разрушающей нагрузки, показал вероятное снижение предела длительной прочности.

По результатам проведенного контроля сформировано предложение оснастить реактор системой непрерывного АЭ мониторинга. Учитывая постоянную необходимость продления ресурса и обнаруженные множественные источники АЭ на рабочих режимах, такое решение представляется оптимальным. Различия между разными способами АЭ контроля – такими, как разовый контроль, периодический контроль, мониторинг и непрерывный мониторинг, позволили сформулировать основные принципы организации контроля и их особенности для реакторов типа 103-D. Непрерывный АЭ мониторинг лишен таких рассмотрен-

ных недостатков, как создание неоднократных перегрузок конструкции в процессе испытаний, отсутствие контроля за состоянием объекта после завершения очередного испытания.

Принятая в данной работе схема размещения датчиков АЭ может быть использована при непрерывном мониторинге реакторов типа 103-D, но не представляется оптимальной и нуждается в более тщательной проработке при составлении проекта мониторинговой системы.

Рассмотрим далее вопрос об остаточном ресурсе в общей постановке, поскольку все сказанное ниже применимо не только к данному типу реакторов, а и к любым конструкциям, обеспеченным непрерывным АЭ мониторингом с использованием представленной технологии. Очевидно, что для оценки ресурса может быть использован практически любой параметр состояния материала [7], изменяющийся вследствие деградации свойств материала при эксплуатационной наработке. На этом принципе, в частности, базируется построение диаграмм Веллера при циклическом нагружении. Но если в случае циклического нагружения образцов закономерность падения несущей способности всегда является известной и легко описываемой математически, то при эксплуатации реальных конструкций ситуация совершенно иная. Многие конструкции подвергаются нагружению неравномерно, так что нельзя отследить конкретные циклы и описать их некими уравнениями. Часто циклическая составляющая в нагрузке носит незначительный характер, и на накопление повреждений и развитие разрушения влияют совсем другие факторы – коррозия, динамические, ветровые нагрузки, длительная прочность и т. д. Следует сюда же добавить невозможность, зачастую, провести какие-либо механические неразрушающие обследования объекта контроля типа измерений твердости на отдельных участках или, в случае наличия изоляции, практически на всей поверхности.

Если объект контролируется непрерывно методом АЭ, возможность оценить его остаточный ресурс существует. Прежде всего это обеспечивается поступлением информации о его состоянии со всей поверхности, независимо от наличия изоляции и других затруднений в доступе. Применение АЭ систем типа ЕМА позволяет выделить кластеры с наибольшей акустической активностью и для каждого из них получить прогноз разрушающей нагрузки. Этой информации вполне достаточно для получения оценочного ресурса. Для этого предлагается использование двух методов, либо по отдельности, либо в комплексе, с выбором окончательного прогнозного ресурса по меньшему из рассчитанных.

Оценочный остаточный ресурс по первому методу рассчитывается для постоянно регистрируемых кластеров АЭ активности, которая при развитии разрушения в зависимости от свойств материала имеет тенденцию к повышению или понижению [8, 9]. Изменение величины обратной активности можно экстраполировать по времени. Достижение некоторой критической величины покажет исчерпание ресурса. Трудность применения данного метода заключается в том, что необходимо назначить некое критическое значение АЭ активности, при котором наступает исчерпание несущей способности материала.

Оценочный остаточный ресурс по второму методу [1, 5, 9] рассчитывается путем экстраполяции во времени прогнозной разрушающей нагрузки (рис. 9). Пересечение экстраполированной кривой с уровнем штатной нагрузки показывает время, оставшееся до исчерпания ресурса. Таким образом, данный метод лишен недостатка первого, поскольку имеется критическое значение, ниже которого ресурс считается исчерпанным. Отметим, что использование линейной экстраполяции изменения АЭ активности либо разрушающей нагрузки при разовом контроле не позволяет дать нормированную оценку ресурса и работает в большой запас. Любой же другой метод экстраполяции нуждается в дополнительных промежуточных сведениях о поведении материала. Еще одним препятствием к нормированию остаточного ресурса является недостаточный объем статистики по разрушению конструкций, для которых ресурс был тем или иным образом спрогнозирован по данным АЭ мониторинга. Проверка метода в основном осуществлялась на промышленных крупномасштабных элементарных конструкциях – трубы, баки. Эксперименты же по разрушению натуральных конструкций сложной геометрии слиш-

ком дорогостоящи, а применение систем ЕМА в промышленности направлено, напротив, на недопущение разрушения. С этими задачами разработанная АЭ технология успешно справляется на протяжении десятков лет.

Тем не менее, оценочный ресурс является важным показателем, так как изменение его прогнозного значения показывает тенденцию развития повреждаемости в процессе наработки, а заодно и влияние определенных режимов эксплуатации на темпы этого развития. В тоже время применение непрерывного мониторинга при контроле состояния материала конструкций позволяет решить многие возникающие вопросы и повысить точность оценок.

Можно также отметить то, что существующая нормативная база по применению АЭ технологии в контроле состояния материалов эксплуатирующихся конструкций существенно помогает и регламентирует процесс организации и проведения испытаний и является одним из основных рычагов получения положительного опыта использования систем АЭ мониторинга в промышленности [3, 8–12]. Следует отметить большое значение ГОСТ 26656-85; 27518-87; 20911-89 по технической диагностике, используемых при оценке состояния сварных конструкций и внесших существенный вклад в технологию контроля.

**Выводы**

Проведены испытания работоспособности реактора типа 103-D, работающего в цепи производства аммиака.

При установке АЭ датчиков на действующей конструкции и расчете разрушающей нагрузки были учтены особенности конструкции реактора, связанные с его геометрией и участками с относительно невысокой температурой.

Полученная картина распределения источников АЭ на поверхности изделия не является опасной на момент проведения контроля. В то же время полученные результаты говорят о формировании областей, где с течением времени в результате развития обнаруженных дефектов могут появиться опасные. Поэтому эти области подлежат дальнейшему повышенному вниманию.

Система АЭ контроля показала, что разрушающая нагрузка на момент проведения испытаний находится ниже нагрузки, определяемой пределом прочности и текучести материала в исходном состоянии, но существенно выше рабочей, равной 32,5 кг/см<sup>2</sup>.

Представлены методы, позволяющие оценить остаточный ресурс материала конструкций с применением АЭ технологии.

Для системной оценки состояния реактора и определения его остаточного ресурса необходим непрерывный мониторинг.

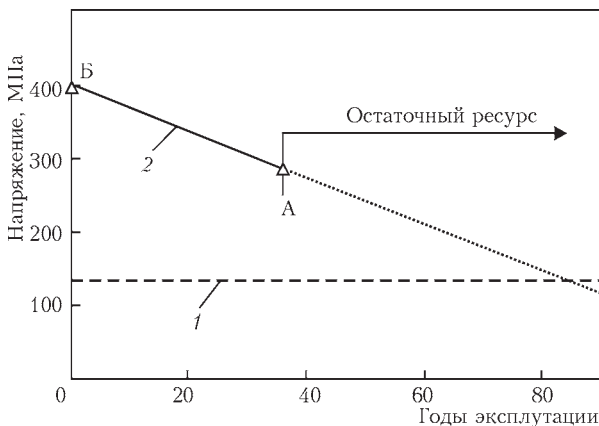


Рис. 9. Оценочный остаточный ресурс реактора (сталь 17Г1С) после 36 лет эксплуатации: 1 – рабочая нагрузка; 2 – прогнозируемый предел длительной прочности материала. Т. А соответствует прочностным свойствам материала после 36 лет эксплуатации при температуре 200 °С, т. Б – исходный предел прочности материала



## Список литературы

1. Недосека А. Я. (2008) *Основы расчета и диагностики сварных конструкций*. Патон Б. Е. (ред.). Киев, Индром.
2. (2003) ДСТУ 4227-2003 *Настанови щодо проведення акустико-емісійного діагностування об'єктів підвищеної небезпеки*. Держстандарт України.
3. (2006) СОУ 50.07-2006 *Методичні рекомендації з акустико-емісійного діагностування обладнання основних виробництв хімічної, нафтохімічної та нафтогазопереробної промисловості. Загальні вимоги*. ТК-78, Київ.
4. (2012) СОУ 50.10-2012 *Настанови щодо проектування та впровадження систем акустико-емісійного контролю, діагностування та моніторингу об'єктів підвищеної небезпеки*. ТК-78, Київ.
5. Недосека С. А. (2007) Прогноз разрушения по данным акустической эмиссии. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **2**, 3–9.
6. Недосека А. Я., Недосека С. А., Овсиенко М. А. и др. (2016) Испытания сосудов давления международной группой специалистов. *Там же*, **3**, 3–11.
7. (2015) 68-я ежегодная ассамблея международного института сварки IIW 2015. Хельсинки, Финляндия. *Там же*, **4**, 58.
8. Недосека С. А. (1998) Причины возникновения повреждений и остаточный ресурс материала аварийного участка трубопровода Дашава–Киев. *Там же*, **1**, 38–49.
9. Недосека С. А., Недосека А. Я. (2010) Комплексная оценка поврежденности и остаточного ресурса металлов с эксплуатационной наработкой. *Там же*, **1**, 9–16.
10. Васильев О. С., Грузд А. А., Йолкин А. О. та ін. (2012) 10-річний досвід впровадження безперервного акустико-емісійного моніторингу сховищ аміаку Одеського припортового заводу. *Хімічна промисловість України*, **3**, 43–52.
11. Патон Б. Е., Лобанов Л. М., Недосека А. Я. и др. (2012) Опыт ИЭС им. Е. О. Патона в области акустико-эмиссионного контроля. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **1**, 7–22.
12. Патон Б. Е., Лобанов Л. М., Недосека А. Я. и др. (2014) О применении АЭ технологии при непрерывном мониторинге трубопроводов энергетических комплексов, работающих при высокой температуре. *Там же*, **3**, 7–14.
10. Vasyliiev, O.S., Gruzd, A.A., Jolkin, A.O. et al. (2012) Ten years of experience of implementation of continuous acoustic emission monitoring of ammonia storages of Odessa Port Plant. *Khimichna Promyslovist Ukrainu*, **3**, 43–52 [in Ukrainian].
11. Paton, B.E., Lobanov, L.M., Nedoseka, A.Ya. et al. (2012) Experience of the E.O.Paton Institute of the NAS of Ukraine in the field of acoustic-emission monitoring. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **1**, 7–22 [in Russian].
12. Paton, B.E., Lobanov, L.M., Nedoseka, A.Ya. et al. (2014) On application of AE technology at continuous monitoring of piping of power units operating at high temperature. *Ibid.*, **3**, 7–14 [in Russian].

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АКУСТИКО-ЕМІСІЙНОГО КОНТРОЛЮ ПРИ ОЦІНЦІ СТАНУ ПОСУДИН ХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

А. Я. НЕДОСЕКА, С. А. НЕДОСЕКА, М. А. ЯРЕМЕНКО,  
М. А. ОВСІЄНКО

ІЕЗ ім. С. О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Розглянуто результати проведених випробувань методом акустичної емісії реактора типу 103-D, що застосовується у виробництві аміаку, в процесі експлуатації. Показано, що в посудині на момент випробувань формуються області з концентрацією дефектів. Відзначено, що в подальшому ці області можуть накопичувати дефекти, що розвиваються і будуть представляти певну небезпеку, яка класифікується шкалою прогнозного алгоритму випробувальної апаратури, у зв'язку з чим для таких конструкцій рекомендується безперервний моніторинг і періодична оцінка ресурсу. Бібліогр. 12, табл. 1, рис. 9.

Ключові слова: акустична емісія, реактор 103-D, дефекти, безперервний моніторинг, ресурс

APPLICATION OF THE TECHNOLOGY OF ACOUSTIC EMISSION MONITORING AT EVALUATION OF THE CONDITION OF VESSELS IN CHEMICAL PRODUCTION

A. YA. NEDOSEKA, S. A. NEDOSEKA,  
M. A. YAREMENKO, M. A. OVSIENKO

E.O.Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine  
11 Kazimir Malevich str., 03150, Kiev.  
E-mail: office@paton.kiev.ua

The paper deals with the results of in-service testing conducted by acoustic emission method of 103-D type reactor, applied in ammonia production. It is shown that areas with defect concentration have formed in the vessel by the moment of testing. It is noted that further these areas can accumulate propagating defects, which will present a certain hazard, classified by the scale of predictive algorithm of the testing equipment. In view of that continuous monitoring and periodical evaluation of residual life are recommended for such structures. 12 References, 1 Table, 9 Figures.

Keywords: acoustic emission, 103-D reactor, propagating defects, continuous monitoring, residual life

Поступила в редакцію  
10.01.2018