

ИСПЫТАНИЯ СОСУДОВ ДАВЛЕНИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ ГРУППОЙ СПЕЦИАЛИСТОВ

А. Я. НЕДОСЕКА¹, С. А. НЕДОСЕКА¹, М. А. ОВСИЕНКО¹, М. А. ЯРЕМЕНКО¹,
Я. ГЕРЕБ², С. А. КУШНИРЕНКО³

¹ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua;

²Венгрия; ³Одесский припортовый завод. 03680, г. Южный, ул. Заводская, 3. E-mail: nktd@opz.odessa

Международная группа специалистов в области неразрушающего контроля и технической диагностики провела испытание двух сосудов, работающих под давлением. Цель испытаний – оценка различных способов определения состояния материала сосудов и прогнозирование разрушающей нагрузки на начальных стадиях нагружения сосуда. Представлены результаты прогнозирования разрушающей нагрузки для сосудов с применением методики, разработанной специалистами Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины. Показано, что прогноз разрушающей нагрузки по указанной методике был выполнен с погрешностью, не превышающей 5 %. Библиогр. 19, табл. 2, рис. 21.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, техническая диагностика, прогнозирование разрушающей нагрузки, состояние материала сосудов

12 мая 2016 г. на территории компании PÉBÉ-COOP GAZIPARI FEJLESZTO, FORGALMAZO ES GYARTO KORLATOLT FELELOSSEGU TARSASAG (далее PÉBÉ-COOP Ltd), г. Хайдусобосло, Венгрия, проведены гидроиспытания двух сосудов для хранения бутана-пропана группой специалистов в составе: Hajdú István (PÉBÉ-COOP Ltd, Венгрия), Dobránszky János (Университет технологии и экономики, г. Будапешт, Венгрия), Fodor Olivér (ÁEF лаборатория, Венгрия), Tóth László, Szűcs Pál, Trampus Péter (все MAROVISZ – Венгерская ассоциация неразрушающего контроля), Günther Habermann (ТРА KKS, Австрия), Pór Gábor (Университет г. Дунауйварош, Венгрия), Geréb János (Венгрия), Недосека Анатолий, Недосека Станислав, Яременко Михаил, Овсиенко Марина (все сотрудники Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины*), Кушниренко Сергей (Одесский припортовый завод). Сотрудники ИЭС участвовали в данной работе международной группы специалистов с целью определения на раннем этапе нагружения сосудов значения разрушающего давления по данным метода АЭ с использованием специализированного программного обеспечения (ПО) ЕМА и соответствующей технологии прогноза.

Объекты испытаний – два сосуда объемом 5 м³, изготовленные в 1995–1996 гг. и введенные в эксплуатацию в 1996 г. Сосуды находились в эксплуатации до конца 2015 г. Они имеют практически одинаковую конструкцию, однотипны по функциям, материалам, геометрическим размерам и тех-

нологии изготовления. Сосуд зав. № 24452 (далее – сосуд 24452) сварен из двух листов (рис. 1); сосуд зав. № 24344 (далее – сосуд 24344) сварен из трех листов (рис. 2). Сосуды имеют по два полусферических днища. Толщина стенки сосудов 6 мм. Материал – немецкая сталь St 52-3. Ближайший отечественный аналог – сталь 17Г1С, предел прочности 510 МПа, предел текучести 350 МПа. Рабочее давление 12,5 и 12,7 бар (1 бар = 1,019716 кгс/см²) соответственно. Расчетное давление – 15,6 бар; заводское гидроиспытание – 19,5 бар.

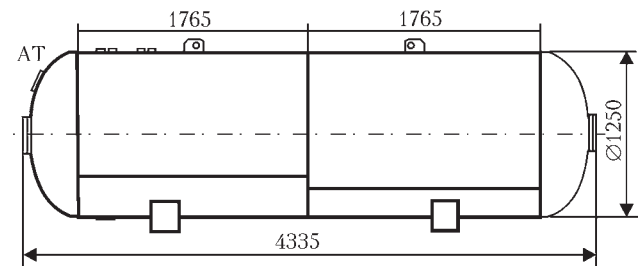
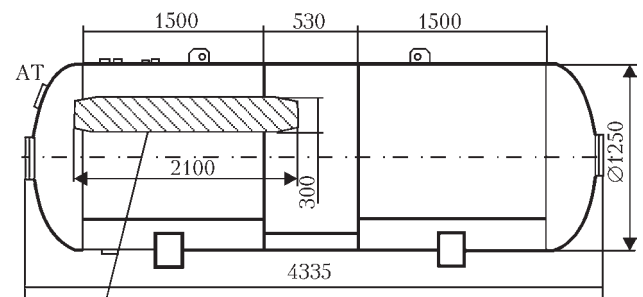


Рис. 1. Сосуд 24452 (толщина стенки 6 мм, материал St 52-3)



Утолщение стенки $s/2$

Рис. 2. Сосуд 24344 с утонением толщины стенки в ограниченной области (толщина стенки 6 мм, материал St 52-3)

* Специалисты ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины и Одесского припортового завода принимали участие в режиме видеоконференции

За время эксплуатации по данным инспекционных записей отмечены только коррозионные повреждения на внешней поверхности сосудов.

Объекты АЭ контроля установлены на горизонтальной площадке, под навесом. Расстояние между сосудами и местом установки оборудования в закрытом помещении 25 м.

На сосуде 24344 перед испытанием предварительно выполнено утонение стенки (см. рис. 2) в ограниченной области с целью создания концентратора напряжений следующим образом: по всей зоне утонения по решетке 50×50 мм просверлены углубления глубиной 3 мм, данная зона отшлифована таким образом, чтобы следы сверления были практически незаметны.

Сосуд 24452 предварительно перемещали с помощью крана с целью имитации потенциальной грубой транспортировки, а также условий подъема и возможного падения сосуда с опор (≈ 350 мм).

Сосуды окрашены белой краской и размечены сеткой 250×250 мм (рис. 3, 4) для удобства установки датчиков.

Нагружение сосудов предполагалось проводить до возникновения одной из ситуаций: разрыва сосудов, достижения максимального значения давления 60 бар, возникновения явных видимых деформаций. Скорость повышения давления (нагружения) ≈ 1 бар/мин. Контроль подъема давления проводили визуально по манометру. Производительность насоса 18 л/мин, максимальное давление 100 бар. Планируемые графики нагружения сосудов представлены на рис. 5.

Перед проведением гидроиспытания в апреле 2016 г. был проведен одноразовый общий контрольный осмотр сосудов с целью установления их реального состояния, который показал, что внутренние поверхности сосудов находятся в целом в хорошем состоянии, на внешних поверхностях в некоторых местах обнаружена коррозия с максимальной глубиной 0,5 мм. Некоторые фото состояния поверхностей сосудов представлены на рис. 6, 7.

В результате проведенного исследования акустических характеристик материала сосудов определены локальные скорости волн АЭ в материале, на основании которых выбрана расчетная скорость при определении координат источников АЭ, равная 5 мм/мкс, получены характеристики затухания волн АЭ, в том числе и при нагружении, определено количество и места установки датчиков АЭ, проведена градуировка измеряемых низкочастотных параметров (давление, деформации).

Определение характеристик волн АЭ в материале сосудов проводили по специальным методикам, аналогичным требованиям нормативных документов к проведению АЭ контроля сосудов при их нагружении внутренним давлением, применяемых в Украине [1–7].

В качестве средства диагностического АЭ контроля специалистами ИЭС использована 16-канальная система ЕМА-4 на основе прибора АЕD-416 (разработчик Венгрия). Расстановку датчиков АЭ на объекте, первоначальную настройку оборудования и непосредственно проведение измерений выполняла компания-разработчик [8].

Для получения информации с объекта в процессе испытаний использовано собственное ПО разработчика – программа АЕD-64. Для расширенной обработки получаемых данных и прогноза на их основе разрушающей нагрузки – ПО ЕМА-3.91 разработки ИЭС (основные данные о приборах АЭ контроля, методиках обработки АЭ данных и программном обеспечении ИЭС представлены в работах [9–19]). Методика прогноза, реализованная в ПО ЕМА-3.91, построена на распознавании образа с применением так называемых учителя и самообучения. Распознавание происходит в реальном времени. Распознавание начинается с момента получения в процессе испытаний минимального достаточного количества обобщенных характеристик сигналов АЭ, прошедших отбраковку и кластеризацию. Происходит их сравнение с заранее сформированными эталонами развития разрушения и сопутствующей этому АЭ. Получив с заданной степенью вероятности наилучшее совпадение с некоторым эталоном по выбранным признакам, предполагают, что отношение разрушающей нагрузки к текущей соответствует таковому эталона. Таким образом получают прогноз разрушения [10–12].

Помимо прогноза важно было отследить при помощи метода АЭ процесс развития трещины. Для этого при послезэкспериментальной обработке данных применена специальная методика, позволившая локализовать область разрушения и графически представить порядок возникновения в ней событий АЭ (см. рис. 16). Последнее имеет существенное значение, так как позволяет задолго до разрушения предвидеть место возникновения трещины, ее границы и кинетику развития.

Для проведения АЭ контроля при гидроиспытаниях сосудов установлено по 10 датчиков АЭ. Поверхность сосудов в местах установки датчиков АЭ подготовлена в соответствии с требованиями, совпадающими с требованиями украинских нормативных документов по проведению АЭ контроля [2, 5].

Датчики №№ 4, 5, 8, 9 установлены на видимой на фото (рис. 3, 4) стороне сосудов (у сосуда 24344 там находится область утонения). Датчики №№ 3, 6, 7, 10 установлены на противоположной (невидимой на фото) стороне сосудов. Датчики №№ 1, 2 установлены на днищах сосуда в местах доступа. Их координаты определены приблизительно, получаемая ими информация носит вспомогательный характер и



Рис. 3. Сосуд 24344. Подготовка к проведению гидроиспытания – установка датчиков АЭ



Рис. 4. Сосуд 24452. Подготовка к проведению гидроиспытания – установка датчиков АЭ

не использовалась при получении координат источников АЭ и прогнозе разрушения.

Место установки датчика № 9 выбрано в качестве начала координат, его координаты (0,0). Координаты всех других датчиков определены в соответствии с разметкой сосудов (250×250 мм). Данные представлены в табл. 1.

Реальный график изменения давления в процессе нагружения сосуда 24344 представлен на рис. 8.

Развертка обоих сосудов с указанием мест установки датчиков АЭ приведена на рис. 9. Вначале из всех установленных на боковой поверхности сосудов датчиков была сформирована единая локационная антенна, которая использовалась в процессе испытания для получения общей АЭ картины испытаний и прогноза разрушающей нагрузки. После испытаний при проведении компьютерного их повтора для

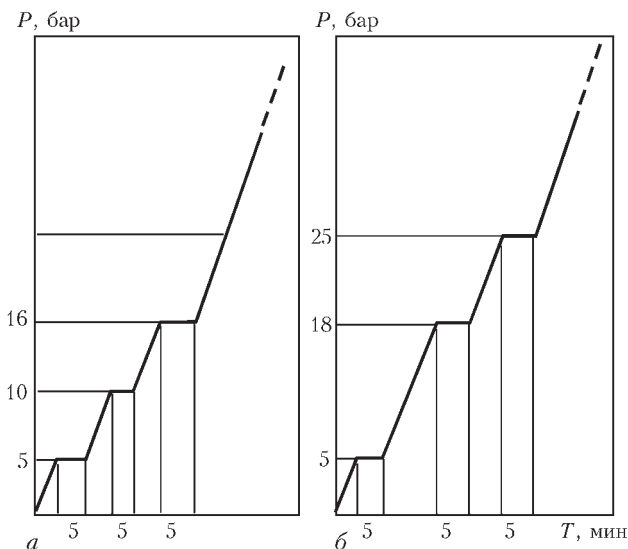


Рис. 5. Планируемые графики нагружения сосудов: а – сосуд 24344 (с утонением); б – сосуд 24452



Рис. 6. Состояние внутренней поверхности сосуда 24344 (с утонением)



Рис. 7. Состояние внешней поверхности сосудов 24344 (а) и 24452 (б)

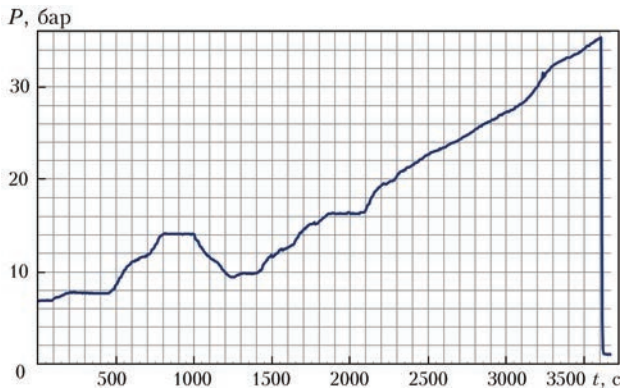


Рис. 8. График нагружения сосуда 24344 при проведении гидроиспытания

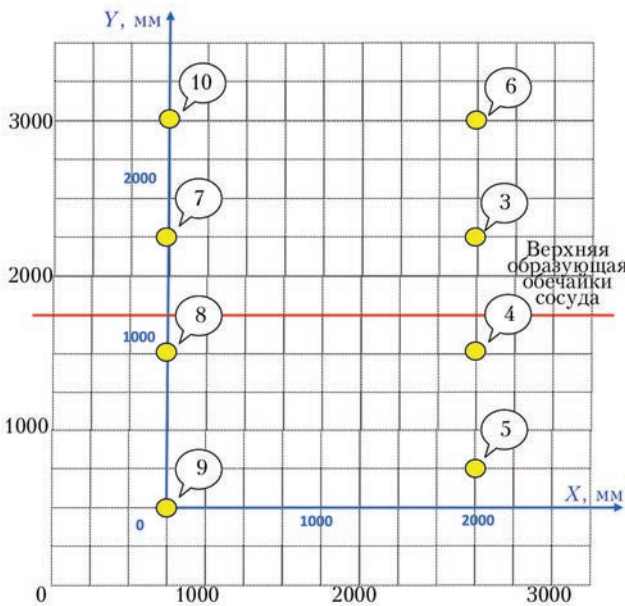


Рис. 9. Развертка боковой поверхности сосуда с указанием мест установки и нумерации датчиков АЭ. Шкала координат для локализации источников АЭ показана синим цветом

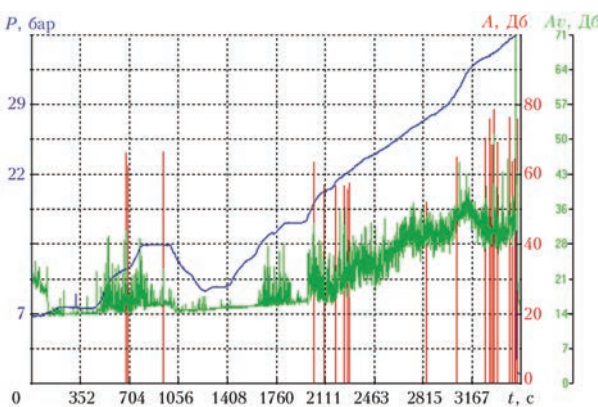


Рис. 10. График нагружения и АЭ информация при проведении гидроиспытания сосуда 24344 (синяя линия показывает текущую нагрузку, столбиками показаны амплитуды дискретных сигналов АЭ, пульсирующей линией – средний уровень непрерывного АЭ сигнала)

Т а б л и ц а 1. Координаты установленных на объектах датчиков АЭ

Датчики АЭ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X, мм	3500	1500	2000	2000	2000	2000	0	0	0	0
Y, мм	500	1000	1750	1000	250	2500	1750	1000	0	2500

более детальной локализации источников АЭ антенна была разделена на участки меньшего размера.

На рис. 10 показаны графики основных АЭ параметров, зарегистрированных во время проведенного испытания. Как видим, развитие разрушения сопровождалось постепенным ростом среднего уровня непрерывного сигнала АЭ и увеличением амплитуд дискретных сигналов.

Результаты проведенного АЭ контроля, в том числе с выдачей прогнозных характеристик для сосуда 24344, представлены на рис. 11–14.

В окне «Испытания» программы ЕМА-3.91, представленном на рис. 11 и др., имеются следующие основные экраны:

- экран «Индикатор и прогноз состояния» в верхней части окна под панелью инструментов предназначен для прогноза разрушающей нагрузки. Таблица со значениями прогнозных данных содержит одновременно и цветовой индикатор, предупреждений об опасности. В таблице показаны номер антенны и координаты кластера, для которых выполнен прогноз, а также минимальное и максимальное поля допуска прогнозируемого параметра;

- экран локации, расположенный под индикатором прогноза, – окно, в котором схематически отображаются одна или несколько локационных антенн, т.е. схема установки датчиков на объекте с указанием координат датчиков. На месте возникновения события АЭ при плоскостной локации появляется точка. События АЭ, прошедшие необходимую фильтрацию, объединяются по заданным признакам в кластер. Программа рассчитывает координаты центра кластера, на этом месте появляется флажок;

- экран «Графики реального времени» в правой части окна отображает графически изменения

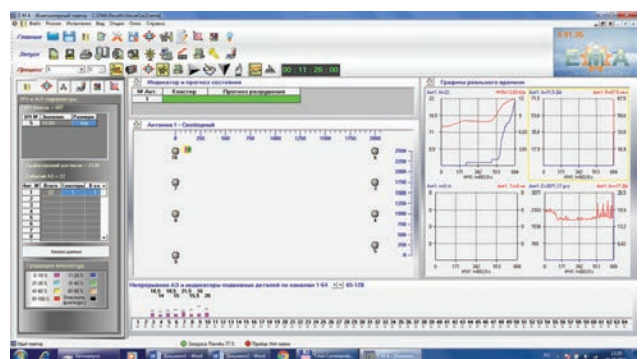


Рис. 11. Окно испытаний программы ЕМА-3.91 при проведении гидроиспытания сосуда 24344. Система показывает появление первых событий АЭ

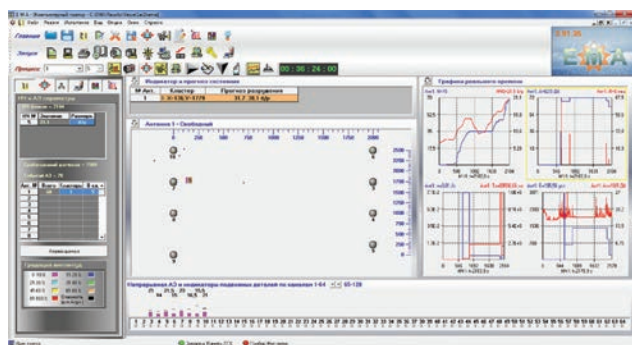


Рис. 12. Окно программы EMA-3.91 при проведении гидроиспытания сосуда 24344. Выдача предупреждения 2 уровня и прогноза разрушающей нагрузки

до 64 выбираемых пользователем АЭ или технологических параметров при испытаниях;

– экран «Непрерывная АЭ и индикаторы подвижных деталей» в нижней части окна отображает цифрами и столбиками изменения во времени непрерывной АЭ по каждому каналу. Горизонтальной чертой показаны пороги ограничения амплитуд.

Первое предупреждение «Обратить внимание» для сосуда 24344 (с утонением) было выдано при давлении 14,56 бар. При нагрузке 19,02 бар и на первом же уровне предупреждения «Обратить внимание» был выдан прогноз разрушения сосуда – 31,71...38,05 бар.

Второй уровень предупреждение «Повысить внимание» выдан при нагрузке 20,16 бар. Значение прогнозной разрушающей нагрузки при этом не изменилось. Третий уровень предупреждения «Опасность» выдан при нагрузке 21,16 бар. Значение прогнозной разрушающей нагрузки при этом также не изменилось. Однако центр обобщенного по всем событиям АЭ кластера, используемого для прогноза разрушения, сместился в точку с координатами $X = 718$ мм, $Y = 958$ мм. Далее будет показано, что эта координата практически совпадает с координатой АЭ события № 3 при переходе к более точной

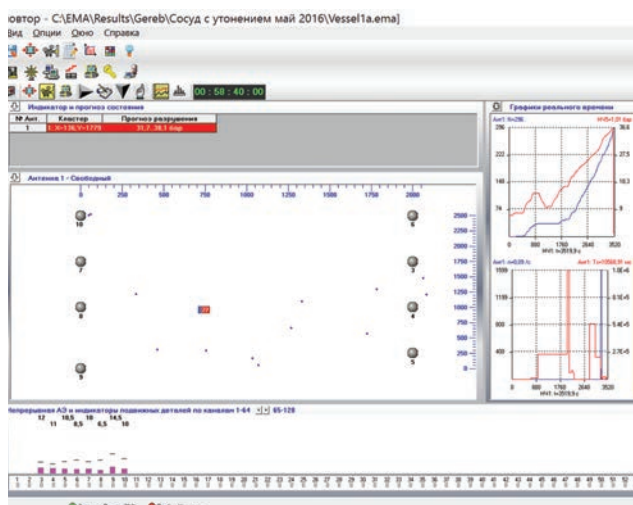


Рис. 13. Экран локации и индикатор прогноза по завершению испытания

локации, используемой для отслеживания порядка появления событий АЭ в процессе формирования трещины.

Разрушающая нагрузка составила 36,54 бар. Погрешность прогноза разрушения не превышает 5 %, а сам прогноз был сделан всего по четырем зарегистрированным системой событиям АЭ.

Для дополнительной проверки выполнено детальное послеэкспериментальное исследование локации координат источников АЭ. Методика предусматривала анализ информации отдельно с каждого



Рис. 14. Снимок части экрана программы EMA-3.91. Список выданных системой предупреждений 1, 2 и 3 уровней и прогноза разрушающей нагрузки для сосуда 24344

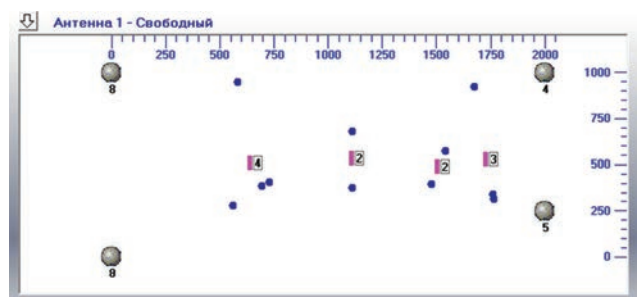


Рис. 15. Экран локации: программа EMA-3.91 в области развития трещины для сосуда 24344. Трещина приблизительно показана красными квадратами

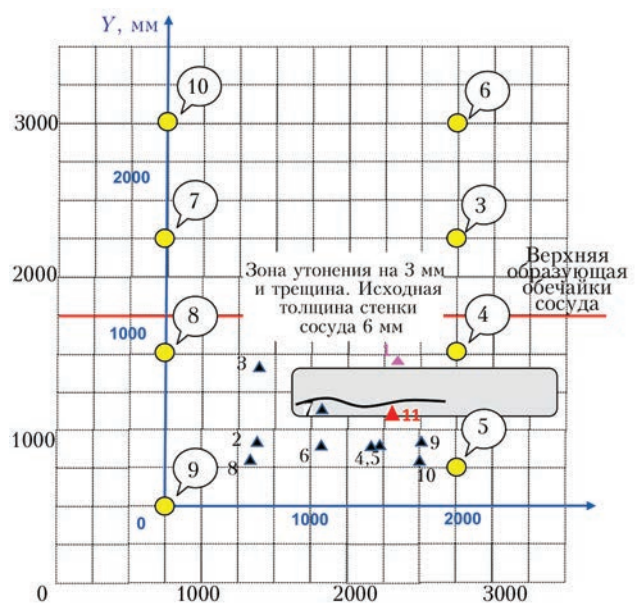


Рис. 16. Порядок появления событий АЭ в области развития трещины для сосуда 24344. События показаны треугольными маркерами и пронумерованы: 1-й импульс показывает зону начала разрушения (розовый), 11-й импульс завершающий (красный). Он соответствует началу образования трещины. Остальные импульсы (черные) показывают движение разрушающей деформации вдоль траектории будущей трещины в различные моменты времени

участка, образованного четырехугольной группой из соседних датчиков. Переход к меньшей области локации позволяет повысить точность определения координат источников АЭ и отсеять те события АЭ, которые не относятся к данному участку. Наибольший интерес представляет анализ информации с участка в области трещины, принятой локационной антенной из четырех датчиков (табл. 2).

Таблица 2. Координаты датчиков АЭ в области развития трещины

Датчики АЭ	4	5	8	9
X, мм	2000	2000	0	0
Y, мм	1000	250	1000	0

Компьютерный повтор проведенного испытания показал удовлетворительное соответствие полученных координат источников АЭ участку развития трещины. Расположение вероятного места разрушения получено методом кластерного анализа по координатному признаку. Места возникновения событий АЭ показаны точками, а образовавшиеся на их основе четыре кластера представлены флажками на рис. 15.

Кластеры на рис. 15 образованы на основании 11 событий АЭ, показанных точками. Порядок их, представленный на рис. 16, фактически отображает стадийность роста трещины.



Рис. 17. Сосуд 24344 (с утонением) после разрушения

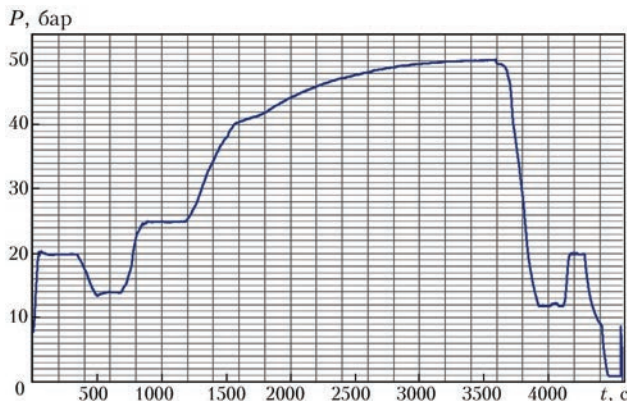


Рис. 18. График изменения нагрузки при проведении гидроиспытания сосуда 24452

Вид сосуда 24344 после разрушения представлен на фото (рис. 17). Как видим, применение метода АЭ обеспечило достаточно эффективную локацию места разрушения, отслеживание отдельных этапов развития разрушения и точный прогноз разрушающей нагрузки.

В отличие от сосуда 24344, по техническим причинам сосуд 24452 не был доведен до разрушения. Испытание было остановлено при величине давления 50 бар.

График изменения давления при проведении гидроиспытания сосуда 24452 показан на рис. 18. Результаты проведенного АЭ контроля представлены на рис. 19–21.

На рис. 19 показаны графики основных АЭ параметров, зарегистрированных во время проведенного испытания. Характер АЭ существен-

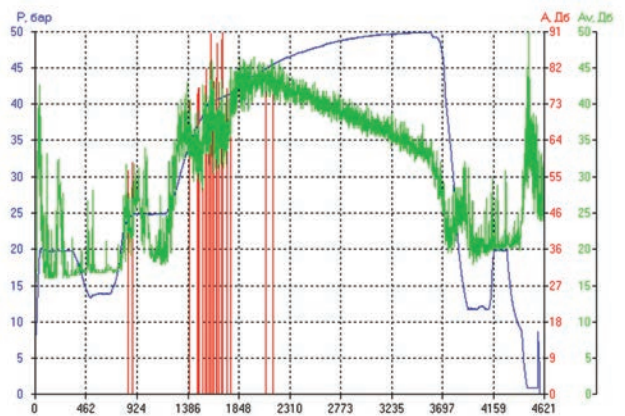


Рис. 19. График нагружения и АЭ информация при проведении гидроиспытания сосуда 24452 (синяя линия показывает текущую нагрузку, столбиками показаны амплитуды дискретных сигналов АЭ, пульсирующей – средний уровень непрерывного АЭ сигнала)

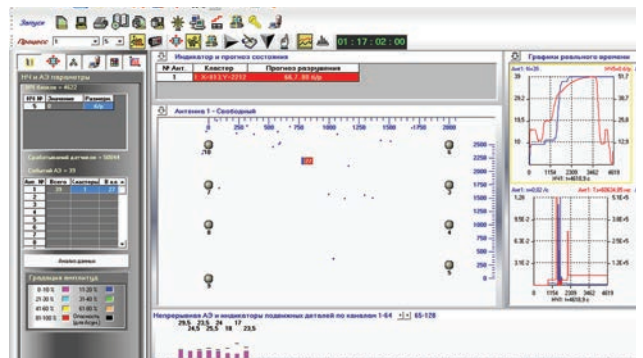


Рис. 20. Окно программы EMA-3.91 при проведении гидроиспытания сосуда 24452. Выдача предупреждения 3 уровня и прогноза разрушающей нагрузки

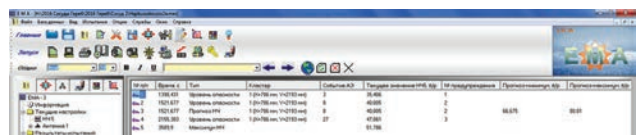


Рис. 21. Снимок части экрана программы EMA-3.91. Список выданных системой предупреждений 1, 2 и 3 уровней и прогноза разрушающей нагрузки для сосуда 24452

но отличается от такового для сосуда 24344 (см. рис. 10). В частности, при максимальном достигнутом давлении дискретная АЭ отсутствует.

Первое предупреждение «Обратить внимание» было выдано для сосуда 24452 при нагрузке 35,40 бар. При нагрузке 40,00 бар и втором уровне предупреждения «Повысить внимание» был выдан прогноз разрушения сосуда – 66,675...80,01 бар. Третий уровень предупреждения «Опасность» выдан при нагрузке 47,06 бар. Значение прогнозной разрушающей нагрузки при этом не изменилось. Отметим, что прогноз был сделан на основании восьми событий АЭ.

Поскольку сосуд 24452 не был доведен до разрушения, прогноз разрушающей нагрузки экспериментально не подтвержден.

Оценим, насколько он мог бы быть верным, если бы материал сосуда соответствовал его табличным характеристикам. Рассчитаем разрушающее давление по формуле Лапласа для цилиндрической части:

$$P = \sigma_b \delta / R,$$

где σ_b – предел прочности; δ – толщина стенки; R – радиус цилиндра.

Получим: $P = 510 \cdot 0,006 / 0,625 = 4,9 \text{ МПа} = 49 \text{ кгс/см}^2 = 48 \text{ бар}$.

Как видим, прогнозируемое разрушающее давление 66,675 бар превосходит расчетное. Тем не менее, прогноз, вероятнее всего, соответствует реальному состоянию материала, поскольку:

- значение предела прочности в 510 МПа в табличных характеристиках материала – стали St 52-3 помечено как минимально возможное;

- в момент остановки нагружения при значении давления 50 бар и, соответственно, напряжениях, превосходящих табличный предел прочности, сосуд 24452 не только не был разрушен, но и не претерпел каких-либо видимых нарушений геометрических размеров.

Отметим также, что на момент выдачи прогноза текущая нагрузка составила приблизительно 55 % (сосуд 24344) и 60 % (сосуд 24452) от прогнозной разрушающей.

Результаты испытаний соответствуют методике, обеспечивающей точность прогноза разрушения, в соответствии с требованиями нормативных документов [3, 4], с погрешностью $\pm 15 \%$ и с вероятностью 0,95.

Выводы

При испытании сосудов 24344 и 24452 система АЭ диагностики ЕМА-4 с программным обеспечением ЕМА-3.91 выполнила поставленные задачи по прогнозированию разрушающей нагрузки и локализации места разрушения.

Для обоих испытанных сосудов обеспечено своевременное получение предупреждений об опасности 1, 2 и 3 уровней.

Прогноз разрушающей нагрузки для сосуда 24344 (с утонением) получен в диапазоне 31,71...38,05 бар, с погрешностью в соответствии с требованиями нормативных документов $\pm 15 \%$, при реальном значении нагрузки 19,02 бар. Разрушающая нагрузка составила 36,54 бар. Реальная погрешность прогноза составляет менее 5 %. Координаты источников АЭ в локальной области, близкой к участку развития трещины, удовлетворительно соответствуют месту расположения трещины после разрушения.

Специальная методика обработки АЭ информации позволила достаточно эффективно локализовать область развития разрушения и показать на основе данных АЭ стадийность развития трещины.

Прогноз разрушающей нагрузки для сосуда 24452 получен в диапазоне 66,675...80,01 бар с предполагаемой погрешностью, в соответствии с требованиями нормативных документов, $\pm 15 \%$ при реальной нагрузке 40,00 бар. Реальная погрешность выданного прогноза не определена в связи с прекращением испытания по техническим причинам. Прогнозируемое разрушающее давление превышает таковое, полученное путем расчета сосуда на прочность, и это соответствует реальной ситуации, поскольку в момент остановки нагружения напряжения в материале сосуда 24452 превысили табличный предел прочности, при этом сосуд был цел и не имел выраженных признаков нарушения геометрических размеров.

Методика, разработанная сотрудниками ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины по прогнозированию разрушающей нагрузки и локализации места разрушения сосудов 24344 и 24452, может быть рекомендована для аналогичных натуральных АЭ испытаний сварных конструкций, нагружаемых внутренним давлением.

1. Котли, посудини під тиском і трубопроводи. Технічне діагностування. Загальні вимоги: ДСТУ 4223–2003 / І. Волошкевич, Е. Гарф, А. Грузд, В. Долинський, В. Качанов, В. Кир'ян, А. Лебедев, Л. Лобанов, А. Недосека, С. Недосека, М. Овсієнко, Г. Прокопенко, С. Стасюк, В. Стрижало, С. Фомічов, М. Чаусов, М. Яременко. – Держстандарт України, 2003. – 11 с.
2. Настанови щодо проведення акустико-емісійного діагностування об'єктів підвищеної небезпеки: ДСТУ 4227–2003 / А. Недосека, О. Андрейків, І. Волошкевич, А. Грузд, А. Лебедев, Л. Лобанов, С. Недосека, М. Новіков, М. Овсієнко, В. Скальський, С. Стасюк, В. Стрижало, Л. Харченко, М. Чаусов, М. А. Яременко. – Держстандарт України, 2003. – 25 с.
3. МДУ 016/10–2002. Багатоканальні акустико-емісійні діагностичні комплекси. Методика державної метрологічної атестації / С. А. Недосека, М. А. Яременко, Л. Ф. Харченко, М. А. Овсієнко, І. Г. Волошкевич, А. П. Іващенко // ТК-78 «ТДНК». – 2002. – 15 с.
4. Багатоканальні акустико-емісійні діагностичні комплекси. Методика атестації: МДУ 017/10–2002 / С. А. Недосека.

- сека, М. А. Яременко, Л. Ф. Харченко, М. А. Овсієнко, І. Г. Волошкевич, А. П. Іващенко // ТК-78 «ТДНК». – 2002. – 15 с.
5. Рекомендації щодо акустико-емісійного контролю об'єктів підвищеної небезпеки: Р 50.01–01 / А. Недосека, І. Волошкевич, А. Грузд, С. Недосека, М. Овсієнко, В. Троїцький, Л. Харченко, В. Скальський, М. Вісіловський, В. Радько, Ю. Єськов, М. Яременко // ТК-78 «ТДНК». – 2001. – 29 с.
 6. Інструкція експертного обстеження (технічного діагностування) стану металу посудин, що працюють під тиском, при використанні акустико-емісійного методу контролю / А. Недосека, А. Грузд, С. Недосека, М. Овсієнко, Л. Харченко, М. Яременко, Я. Карявка, В. Мартюк // ТК-78 «ТДНК». – 2008. – 36 с.
 7. Настави щодо проектування та впровадження систем акустико-емісійного контролю, діагностування та моніторингу об'єктів підвищеної небезпеки: СОУ 50.10–2012 / А. Недосека, А. Грузд, С. Недосека, М. Овсієнко, Л. Харченко, М. Яременко // ТК-78 «ТДНК». – 2012. – 8 с.
 8. Пеллионис П. Методика и аппаратура для АЭ-контроля в процессе проверочных испытаний сосудов высокого давления ядерного реактора в Венгрии / П. Пеллионис, Я. Гереб // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 1991. – № 3. – С. 14–21.
 9. Приборы для акустико-эмиссионного контроля и диагностирования сварных конструкций / А. Я. Недосека, С. А. Недосека, А. А. Грузд [и др.] // Автоматическая сварка. – 2010. – № 8. – С. 58–61.
 10. Недосека С. А. Диагностические системы семейства «ЕМА». Основные принципы и особенности архитектуры (Обзор) / С. А. Недосека, А. Я. Недосека // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2005. – № 3. – С. 20–26.
 11. Недосека А. Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций; под редакцией Б. Е. Патона / А. Я. Недосека. – К.: Индпром, 2008. – 812 с.
 12. Недосека С. А. Прогноз разрушения по данным акустической эмиссии / А. Я. Недосека // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2007. – № 2. – С. 3–9.
 13. Недосека А. Я. Акустическая эмиссия и ресурс конструкций (Обзор) / А. Я. Недосека, С. А. Недосека // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2008. – № 2. – С. 3–11.
 14. Недосека С. А. Комплексная оценка поврежденности и остаточного ресурса металлов с эксплуатационной наработкой / С. А. Недосека, А. Я. Недосека // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2010. – № 1. – С. 9–16.
 15. Недосека А. Я. Об оценке надежности эксплуатирующихся конструкций (состояние вопроса и перспектива развития) / С. А. Недосека, А. Я. Недосека // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2010. – № 2. – С. 7–17.
 16. Недосека С. А. Влияние методов обработки акустико-эмиссионной информации на формирование АЭ событий и определение их координат / С. А. Недосека, А. Я. Недосека, М. А. Овсієнко // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2011. – № 2. – С. 5–14.
 17. Опыт ИЭС им. Е. О. Патона в области акустико-эмиссионного контроля / Б. Е. Патон, Л. М. Лобанов, А. Я. Недосека [и др.] // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2012. – № 1. – С. 7–22.
 18. Программное обеспечение систем АЭ диагностики ЕМА-3.9 / А. Я. Недосека, С. А. Недосека, М. А. Яременко [и др.] // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2013. – № 3. – С. 16–22.
 19. Оптимизация размещения датчиков и повышение точности локализации источников акустической эмиссии / С. А. Недосека, М. А. Овсієнко, Л. Ф. Харченко [и др.] // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2015. – № 3. – С. 18–25.

International team of experts on non-destructive testing and technical diagnostics performed testing of two pressure vessels. The objective of testing was evaluation of various techniques for determination of vessel material state and prediction of breaking load at initial stages of vessel loading. The paper presents the results of prediction of vessel breaking load with application of a procedure developed by staff members of the E.O.Paton Electric Welding Institute of NASU. It is shown that prediction of breaking load by the above procedure was performed with not more than 5% error. 19 References, 21 Figures, 2 Tables

Keywords: nondestructive testing, technical diagnostics, breaking load prediction, vessel material state

*Поступила в редакцию
08.07.2016*

ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОСВАРКИ им. Е.О. ПАТОНА НАН УКРАИНЫ

объявляет ежегодный набор в

АСПИРАНТУРУ по специальностям:

132 «Материаловедение»

136 «Металлургия»

Прием в аспирантуру проводится в сентябре месяце.

Контактный телефон: (044) 200-84-11

Подробная информация на сайте института (раздел аспирантура):

www.paton.kiev.ua

Документы направлять по адресу:

03680, Украина, Киев-150, ГСП, ул. Казимира Малевича (Боженко), 11

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, ученому секретарю