

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ (АЭ ТЕХНОЛОГИЯ И КОНТРОЛИРУЮЩАЯ АППАРАТУРА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ЕЕ ОСНОВЕ)

**Б. Е. ПАТОН¹, Л. М. ЛОБАНОВ¹, А. Я. НЕДОСЕКА¹, С. А. НЕДОСЕКА¹, М. А. ОВСИЕНКО¹,
М.А. ЯРЕМЕНКО¹, Я. ГЕРЕБ², Л. ВАРГА², А. Ю. ФЕДЧУН³, А. А. ЕЛКИН³, Б. М. ОБODOВСКИЙ³,
В. Н. КРАЕВСКИЙ³, А. С. ВАСИЛЬЕВ³, 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. 65000, Одесская обл., г. Южный, ул. Заводская, 3.

E-mail: otn_boss@opz.odessa.ua

Практика эксплуатации машин, конструкций и сооружений все настойчивее требует создания методов и средств, с помощью которых можно было бы определять на основании имеющихся данных их функциональные возможности в любой момент времени, как в прошлом, так и в настоящем, а также прогнозировать на базе этих данных их состояние и поведение в будущем. Как правило, расчетным путем трудно оценить, как именно и при каких значениях параметров, характеризующих работоспособность конструкции, начнется разрушение. Существующего объема знаний о зависимости принимаемых критериев разрушения от многочисленных параметров чаще всего недостаточно. Если учесть, что могут иметь место и такие, влияющие на исчерпание несущих свойств материалов, параметры эксплуатации, о которых просто ничего неизвестно, то сложно оценить точность расчета, и в некоторых случаях погрешность может оказаться недопустимо высокой. Технология контроля на основе акустической эмиссии дает возможность получить более высокую точность оценок, определяемую лишь точностью приборов и методик их применения в каждом конкретном случае. Ее применение позволяет осуществить переход от наблюдения за состоянием конструкций к управлению их безопасной эксплуатацией. Библиогр. 56, рис. 15.

Стремительное развитие науки и технологий дает перспективу широкого применения акустической эмиссии для создания интеллектуальных конструкций и сооружений, которые с заданной точностью и вероятностью сами будут сообщать о своем состоянии и предлагать меры выхода из затруднительных ситуаций.

Академик Б.Е. Патон

Обеспечение безопасности конструкции начинается задолго до пуска ее в эксплуатацию [1–56]. На первой стадии проводятся расчеты, предварительные испытания, проектно-конструкторские и другие работы, связанные с созданием конструкции. И лишь на второй стадии – стадии эксплуатации – начинают проводить мероприятия по контролю ее состояния, определяют реальный остаточный ресурс конструкции. В данной работе первая стадия не рассматривается, поскольку является задачей специалистов в области прочности, конструкторов и проектировщиков конструкций. На второй стадии, которая наступает после ввода конструкции в эксплуатацию, случайные просчеты в некоторых конструктивных решениях, нарушения технологии изготовления и эксплуатации, влияние внешней среды и длительная работа приводят, как правило, к необратимым процессам накопления повреждений в материалах. При этом в отдельных локальных областях суммарный объем повреждений может

достигнуть критической величины, после чего начинается разрушение. Сказанное определяет основную задачу технической диагностики – создание технологии определения и прогнозирования состояния материалов конструкций в процессе их испытаний или эксплуатации. Опыт показывает, что наиболее вероятными причинами отказов и аварий являются либо дефекты в исходном материале, из которого изготовлены конструкции, либо вторичные – технологические и эксплуатационные – дефекты, появившиеся в нем в процессе производства конструкций или их ремонта и развившиеся до недопустимых размеров при эксплуатации, либо и те, и другие, проявляющиеся в зависимости от величины нагрузок, действующих на различных этапах деформирования материалов. В некоторых случаях причиной разрушения может стать нарушение условий эксплуатации. Дефекты, возникающие в процессе изготовления конструкций или их ремонта, достаточно жестко контролируются как

на стадии технологического контроля, так и в процессе эксплуатации. Результаты контроля оцениваются по существующим нормативным документам, регламентирующим допустимость тех или иных дефектов. Обнаружение недопустимых дефектов приводит либо к необходимости их устранения, либо к отбраковке конструкции или дефектного узла. Стандартная процедура дефектоскопического контроля достаточно сложна и, как правило, не охватывает объект полностью. Контроль осуществляется выборочно в наиболее проблемных по мнению специалистов местах. В некоторых случаях это может привести к тому, что опасные дефекты не будут обнаружены, а их влияние на несущую способность конструкции и ее безопасную эксплуатацию может быть существенным. Актуальность рассматриваемой проблемы возрастает с увеличением срока эксплуатации, что диктует необходимость поиска более простых и эффективных методов решения задачи оценки состояния материалов эксплуатируемых или подвергающихся испытаниям конструкций.

Как правило, расчетным путем трудно оценить как именно и при каких значениях параметров, характеризующих работоспособность конструкции, начнется разрушение. Существующего объема знаний о зависимости принимаемых критериев разрушения от многочисленных параметров чаще всего недостаточно. Если учесть, что могут иметь место и такие, влияющие на исчерпание несущих свойств материалов, параметры эксплуатации, о которых просто ничего неизвестно, то сложно оценить точность расчета, и в некоторых случаях погрешность может оказаться недопустимо высокой.

К решению этой проблемы можно подойти с другой стороны. Естественно, началу разрушения соответствует вполне определенное неблагоприятное сочетание факторов, приводящих к разрушению. Если не обращать внимание на каждый фактор в отдельности, а только на их неблагоприятное сочетание, то задача резко упрощается и необходимо обнаружить лишь момент начала разрушения. Этот момент можно определить с помощью акустической эмиссии (АЭ), так как каждому этапу разрушения материала будет соответствовать вполне конкретный всплеск акустического излучения – единичный квант излучения, который может быть достаточно просто зафиксирован измерительной аппаратурой и расшифрован на основе соответствующей технологии. Такой подход позволяет совершенно по-новому взглянуть на проблему обеспечения безопасности эксплуатации конструкций. Созданная на такой основе технология контроля дает возможность получить более высокую точность оценок, определяемую лишь точностью приборов и методик их применения в каждом конкретном случае. По-

грешность оценок с вероятностью 95 %, как правило, не превышает ± 15 %. Ниже более подробно рассмотрен пример применения метода контроля на основе АЭ в системах непрерывного мониторинга при оценке состояния материалов промышленных конструкций.

Идея разработки и внедрения систем непрерывного контроля технического состояния объектов химических производств ОАО «Одесский припортовый завод» (ОПЗ) появилась еще в 1990 г. К этому времени строительство и освоение проектных мощностей всех объектов завода было завершено. Основное назначение завода – производство и перегрузка на экспорт химической продукции собственного производства и продукции других химических предприятий Украины и России. В то время в составе завода успешно эксплуатировались два, а позже, в связи с необходимостью расширения объема производства, вызванной экономически выгодными условиям на мировом рынке химической продукции и удачным географическим размещением завода, три крупнотоннажных агрегата производства аммиака, два агрегата производства карбамида, комплексы перегрузки аммиака, карбамида и метанола. В состав комплекса перегрузки аммиака входили четыре крупнотоннажных хранилища общей проектной емкостью до 120 тыс. тонн хранения жидкого аммиака (рис. 1). На этих конструкциях в 2001 г. и начались разработка и внедрение систем непрерывного контроля технического состояния объектов ОПЗ с целью обеспечения их безопасной эксплуатации.

К концу 1980-х годов в обществе сформировалось стремление существенно улучшить экологическое состояние регионов путем закрытия потенциально опасных производств химических предприятий. В Одессе был проведен референдум по вопросу закрытия таких производств на ОПЗ. Учитывая обстоятельства, приведшие к авариям на Чернобыльской АЭС и на Ионавском ОО «Азот» (Литва) с разрушением изотермического хранилища жидкого аммиака емкостью 10 тыс. т, вопрос относительно ОПЗ стал еще более актуальным. Хотя безопасность и надежность работы завода обеспечивались применением современного оборудования и технологий, строгим соблюдением технологических режимов эксплуатации основных производственных агрегатов и перегрузочных комплексов, своевременным проведением капитальных ремонтов и регламентных работ, соблюдением норм и требований охраны труда, на референдуме было принято решение о закрытии опасных производств на ОПЗ.

Администрации завода удалось достичь компромиссного варианта – завод не был закрыт, но заполнение хранилищ жидкого аммиака при-

шлось уменьшить вдвое от проектного, что резко отразилось на ритмичности работы перегрузочного комплекса, привело к сбоям в работе предприятий-поставщиков жидкого аммиака, к простоям суден-аммиаковозов в ожидании загрузки. Однако и при уменьшенной мощности хранилища оно осталось наибольшим в Европе хранилищем жидкого аммиака, расположенным в 18 км от миллионного города Одессы и в 8 км от г. Южный. Этот факт, а также то, что в акватории Черного моря происходило постоянное движение транспортных судов с грузом жидкого аммиака, требовали более тщательного рассмотрения вопроса об обеспечении безопасной работы ОПЗ.

Возникла необходимость разработать и внедрить такую систему контроля технического состояния технологического оборудования, и в первую очередь крупнотоннажных изотермических хранилищ жидкого аммиака, которая бы давала возможность инструментальными методами вести непрерывный контроль за отсутствием развивающихся дефектов в материале и сварных швах оборудования, выявлять возникающие дефекты, контролировать их развитие, а также одновременно рассчитывать остаточный ресурс безопасной эксплуатации объектов производства и хранения аммиака.

С этой целью был изучен опыт предприятий и организаций Украины, России, Германии, Италии, Финляндии, США и Японии по применению методов неразрушающего контроля и диагностики ответственных промышленных объектов. Наиболее полно подходы к обеспечению надежной и безопасной эксплуатации действующих конструкций и сооружений были разработаны отечественными учеными во главе с Институтом электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (ИЭС) в новом научном направлении – диагностика и прогнозирование разрушения конструкций в реальном времени. Нужно было провести необходимые доработки и внедрить разработанную технологию на ОПЗ.

Распознавание процессов, протекающих в материалах при разрушении. Как показали исследования, наиболее эффективной технологией оценки состояния материалов конструкций может считаться технология, основанная на теории распознавания ситуации, складывающейся в материале в процессе накопления повреждений и развития разрушения. Такой подход свободен от преобладающего вклада произвольных физических постоянных материала в решение рассматриваемой задачи.

Решение же стало возможным с появлением метода и аппаратуры АЭ и современных достижений в области электроники, вычислительной техники и информационных технологий. Так, разработанная в ИЭС совместно с венгерскими специалистами диагностическая система ЕМА-3

реализовала алгоритм, позволяющий определить разрушающую нагрузку материалов конструкций уже при незначительном уровне текущей. В зависимости от марки материала этот уровень может составлять от 20 % уровня разрушающей нагрузки. Кроме того, анализируя состояние материала и имея в базе данных информацию по исходному уровню этого состояния, система дает оценку остаточного ресурса конструкции. Это существенный шаг вперед.

На рис. 2, а на экране монитора системы ЕМА-3 показаны три изображения, формируемые в процессе эксплуатации конструкции. Интересно отметить наличие прямоугольных сигнальных индикаторов, меняющих цвет последовательно от зеленого до красного, расположенных в верхнем левом углу экрана и информирующих оператора об этапах развития разрушения и их опасности для контролируемой конструкции (рис. 2, б). На сигнальных индикаторах в строке «Прогноз разрушения» приводится диапазон предполагаемых разрушающих нагрузок, рассчитываемых уже на первых стадиях нагружения конструкции и при каждом последующем предупреждении. Продолжение нагружения позволяет системе набрать достаточный объем информации для уточнения величины разрушающей нагрузки и расчета остаточного ресурса материала. Для большей наглядности на экран монитора выводятся предупреждения об опасности дальнейшего нагружения конструкции в соответствии с таблицей (рис. 2, б).

Таким образом, система ЕМА-3 позволяет ответить на основные интересующие вопросы:

- 1) при какой нагрузке произойдет разрушение конструкции;
- 2) как долго конструкция сохранит работоспособное состояние с дефектами, обнаруженными на момент контроля.

Работа математического и соответствующего программного обеспечения систем такого плана базируется на принципах теории распознавания образа, когда признаки протекающих в материалах процессов разрушения формируются в *вектор состояния материала* (ВСМ). Дальнейшее его сравнение с обучающим вектором и корректировка обоих в процессе пополнения решающего модуля дополнительной информацией позволяют сформировать решение системы о состоянии материала конструкции и прогнозировать это состояние на период времени, в течение которого конструкция сохранит свою работоспособность (рис. 3).

Простая схема распознавания состояния материалов содержит два основных блока – датчик и классификатор.

Датчик представляет собой устройство, преобразующее физические характеристики протекающих в объекте процессов в наборы признаков, характеризующих эти процессы. В нашем случае такими признаками являются сигналы АЭ, сопровождающие локальные перестройки структуры материала конструкции, а также внешние условия, вызывающие эти перестройки. В результате измерений получают АЭ, а также низкочастотную (НЧ) технологическую информацию, которая обрывает в совокупности ВСМ:

$$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)',$$

где n – число измеренных характеристик распознаваемого процесса.

Разработанная аппаратура позволяет с заданной точностью получить следующие параметры АЭ: амплитуды сигналов, число срабатываний и событий, энергию события, время нарастания сигнала, длительность нормированного события, число осцилляций в сигнале и событии, частотные характеристики возникающей в материале АЭ. В ВСМ входят также температура контролируемого материала, параметры напряженного состояния контролируемых узлов и некоторые производные от указанных параметров, необходимые для комплектования полного вектора.

Классификатор представляет собой устройство, относящее каждый поступающий на его вход допустимый набор ВСМ к одному из конечного числа классов. При этом предполагается, что ВСМ \mathbf{x} принадлежит одному из M классов образов $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_M$, характеризующих различные этапы процесса разрушения материала.

В общем случае можно принять допущение о том, что априорные вероятности появления объектов каждого класса одинаковы, т.е. ВСМ \mathbf{x} может с равной вероятностью относиться как к одному, так и к другому классу. В таком случае вероятность того, что на самом деле ВСМ \mathbf{x} принадлежит, например, классу ω_j , определяется выражением:

$$p_j = \frac{p(\mathbf{x} | \omega_j)}{\sum_{k=1}^M p(\mathbf{x} | \omega_k)}$$

Решающая функция представляет собой функцию $d(\mathbf{x})$, относящую ВСМ \mathbf{x} к одному из M заданных классов. Оптимальной считается функция $d^0(\mathbf{x})$, которая относит набор ВСМ \mathbf{x} к классу ω_i в том и только в том случае, когда выполняется неравенство

$$p(\mathbf{x} | \omega_i) > p(\mathbf{x} | \omega_j), j \neq i,$$

или

$$\frac{p(\mathbf{x} | \omega_i)}{p(\mathbf{x} | \omega_j)} > 1, j \neq i.$$

Теперь допустим, что измеренные значения ВСМ распределены нормально и соответствующие им ковариационные матрицы имеют вид:

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix},$$

где c_{ij} – ковариация i -й и j -й компонент ВСМ; c_{ii} – дисперсия i -й компоненты ВСМ.

Поскольку для нормального распределения в n -мерном пространстве можно записать

$$p(\mathbf{x} | \omega_i) = \frac{1}{(2\pi)^{2n} |\mathbf{C}|^{1/2}} \exp \left[-\frac{1}{2} (\mathbf{x} - \mathbf{m}_i)' \mathbf{C}^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{m}_i) \right],$$

где \mathbf{x} – вектор состояния материала; \mathbf{m}_i – вектор математического ожидания, отношение двух плотностей распределения $p(\mathbf{x} | \omega_i)$ и $p(\mathbf{x} | \omega_j)$ определяется выражением:

$$\frac{p(\mathbf{x} | \omega_i)}{p(\mathbf{x} | \omega_j)} = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[(\mathbf{x} - \mathbf{m}_i)' \mathbf{C}^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{m}_i) - (\mathbf{x} - \mathbf{m}_j)' \mathbf{C}^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{m}_j) \right] \right\}.$$

Так как ковариационная матрица симметрична, данное выражение можно существенно упростить:

$$\frac{p(\mathbf{x} | \omega_i)}{p(\mathbf{x} | \omega_j)} = \exp \left[\mathbf{x}' \mathbf{C}^{-1} (\mathbf{m}_i - \mathbf{m}_j) - \frac{1}{2} (\mathbf{m}_i + \mathbf{m}_j)' \mathbf{C}^{-1} (\mathbf{m}_i - \mathbf{m}_j) \right].$$

Введем характеристику правдоподобия распознавания процессов, протекающих при разрушении материалов:

$$r_{ij} = \ln \frac{p(\mathbf{x} | \omega_i)}{p(\mathbf{x} | \omega_j)}.$$

Тогда для разделяющей функции получим выражение:

$$r_{ij}(\mathbf{x}) = \mathbf{x}' \mathbf{C}^{-1} (\mathbf{m}_i - \mathbf{m}_j) - \frac{1}{2} (\mathbf{m}_i + \mathbf{m}_j)' \mathbf{C}^{-1} (\mathbf{m}_i - \mathbf{m}_j).$$

Для определения оптимальной разделяющей функции необходимо вычислить значения функции $r_{ij}(\mathbf{x})$ для всех i и j ($i \neq j$) и выбрать наибольшее из полученных значений. Если окажется, что этот максимум равен r_{kj} , то ВСМ \mathbf{x} относим к классу ω_k .

Отметим, что уравнение

$$\mathbf{x}' \mathbf{C}^{-1} (\mathbf{m}_i - \mathbf{m}_j) - \frac{1}{2} (\mathbf{m}_i + \mathbf{m}_j)' \mathbf{C}^{-1} (\mathbf{m}_i - \mathbf{m}_j) = 0$$

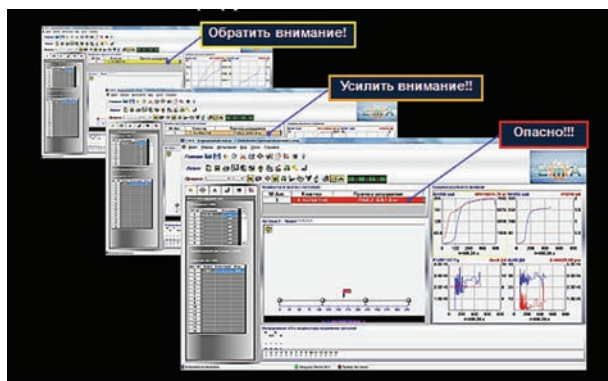
описывает гиперплоскость, проведенную в n -мерном пространстве и разделяющую его на части в соответствии с принадлежностью ВСМ к тому или



Рис. 1. Хранилища аммиака ОПЗ



Рис. 3. Функциональная схема адаптивной системы распознавания образа при оценке состояния конструкций



а

Показания индикатора в левом верхнем углу дисплея	Действия персонала
	Штатный режим эксплуатации
	Первое предупреждение Внимание! При появлении прогнозируемого разрушающего давления и превышении его над рабочим более чем на 50% – продолжить эксплуатацию
	Второе предупреждение При превышении прогнозируемого разрушающего давления над рабочим на 50% и менее – остановить эксплуатацию
	Аварийная ситуация Остановить эксплуатацию! После появления продолжительного прерывающегося звукового сигнала – срочный сброс нагрузки

б
Рис. 2. Индикация на мониторе контролирующего оборудования с представлением главных параметров, характеризующих состояние материала хранилищ (а); таблица действий персонала при различных состояниях материала в процессе эксплуатации (б)



Рис. 4. Приборы ЕМА-4 нового поколения на базе четырехканальных и 16-канальных модулей АЕД-404, АЕД-416

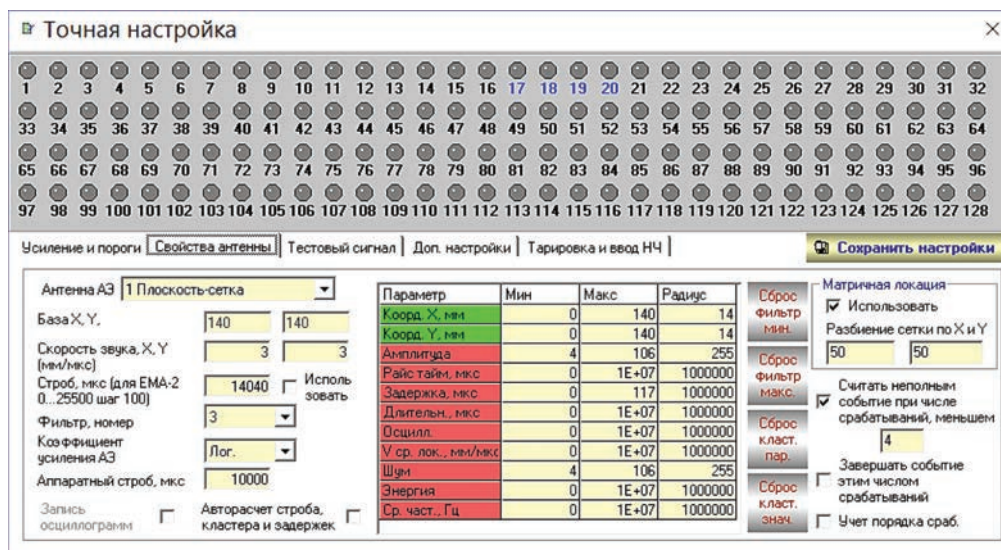


Рис. 5. Задание свойств антенны в окне точной настройки программы ЕМА-3.9 (в центральной части окна – таблица с задаваемыми параметрами фильтрации и кластеризации; в верхней части – индикаторы АЭ активности по 128 каналам АЭ)

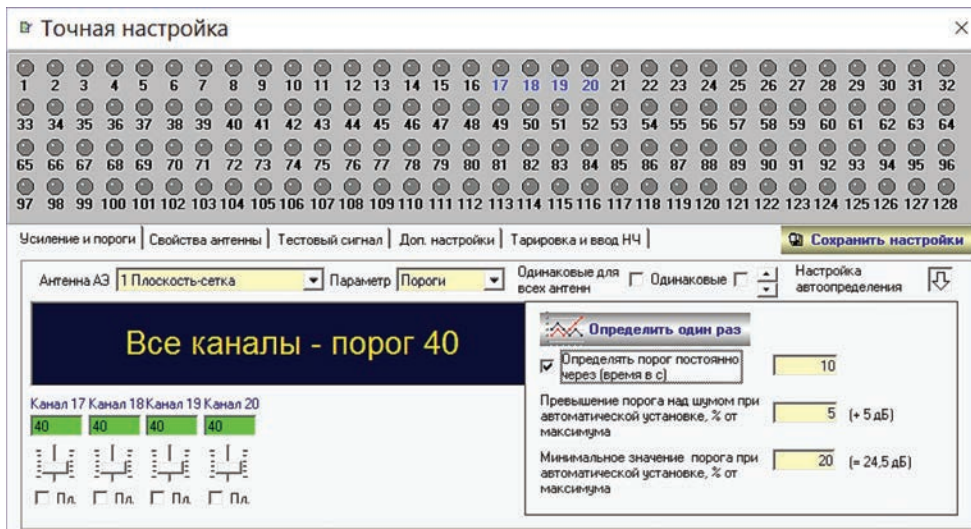


Рис. 6. Задание параметров автоматического определения порогов в окне точной настройки программы EMA-3.9 (справа внизу)

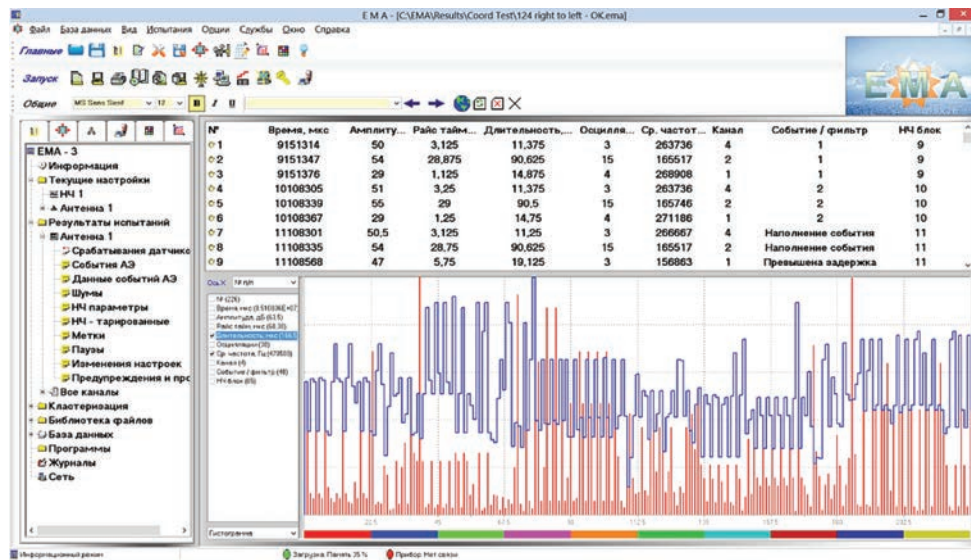


Рис. 7. Окно информации программы EMA-3.9 с данными о срабатываниях датчиков (в нижней части окна – график, где в качестве отображаемых параметров выбраны длительность срабатывания и средняя частота)

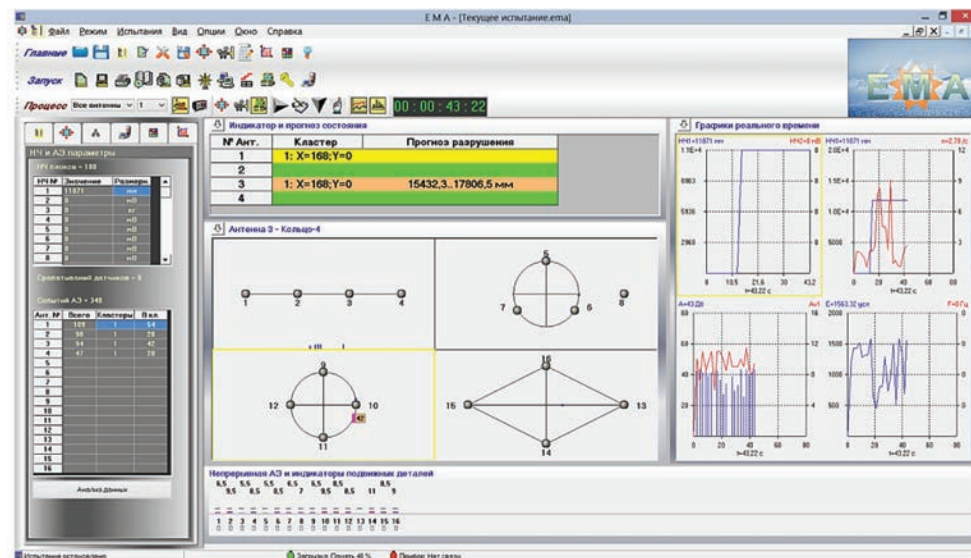


Рис. 8. Окно испытаний программы EMA-3.9 с отображением четырех локационных антенн (экран 1): над экраном локации – область прогноза разрушения, слева – таблицы АЭ и НЧ данных, справа – графики реального времени, под экраном локации – значение непрерывной эмиссии

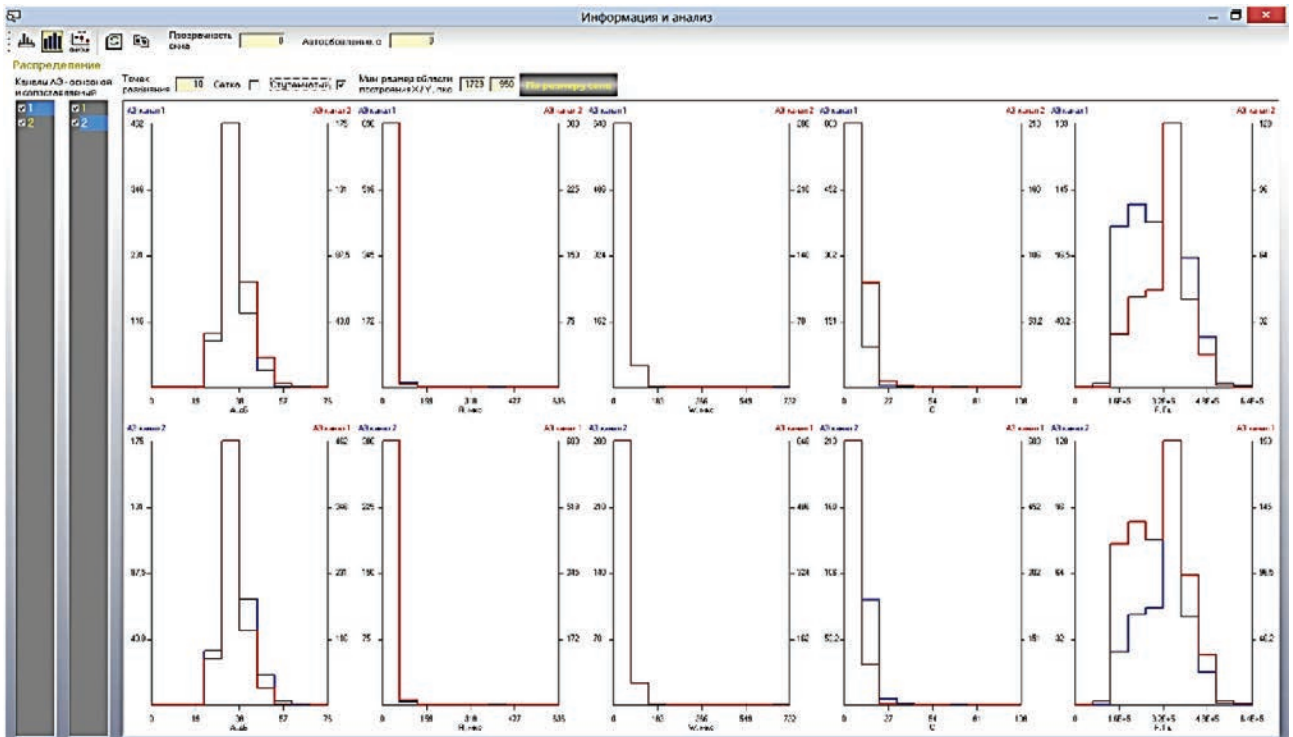


Рис. 9. Окно анализа данных программы EMA-3.9 с графиками распределений данных АЭ по каналам (экран 2)

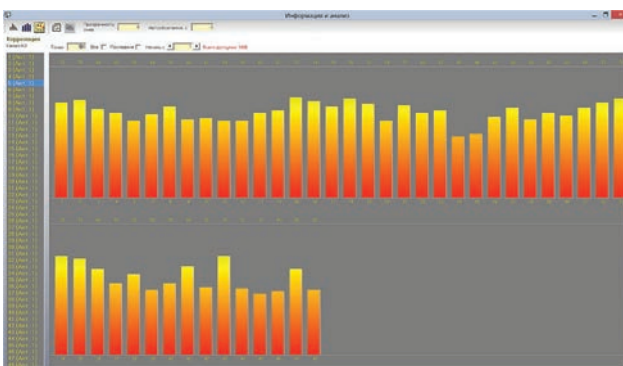


Рис. 10. Окно анализа данных программы EMA-3.9 с графиками корреляции шумов по каналам

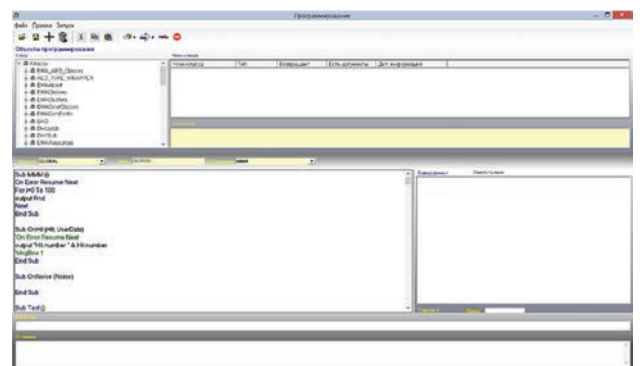


Рис. 11. Окно программирования программы EMA-3.9 (вверху – браузер объектов, слева – редактор кода, справа – окно вывода, внизу – командная строка и окно отладки)

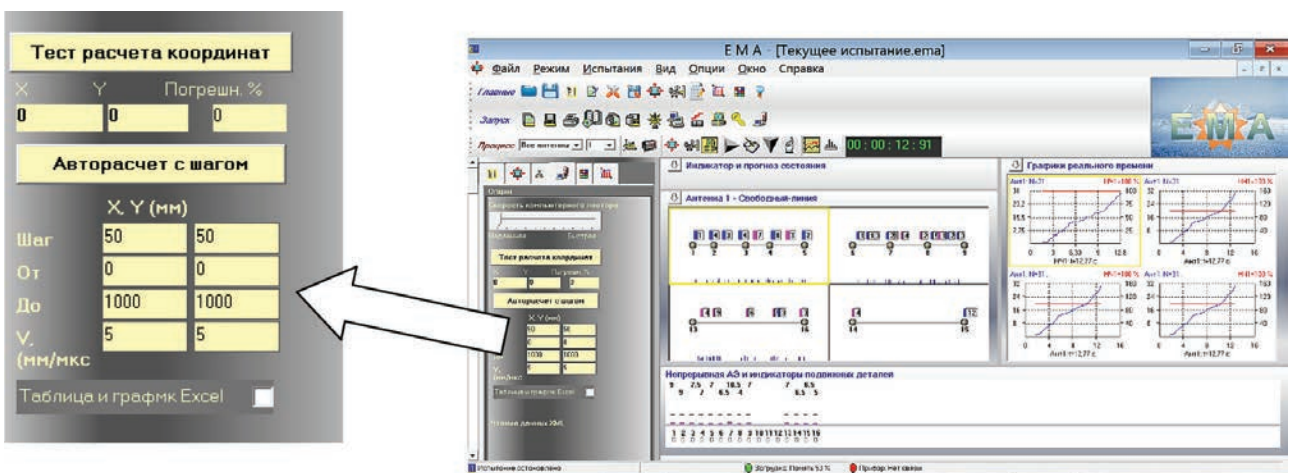


Рис. 12. Окно испытаний программы EMA-3.9 с элементами управления виртуальным тестированием погрешностей определения координат

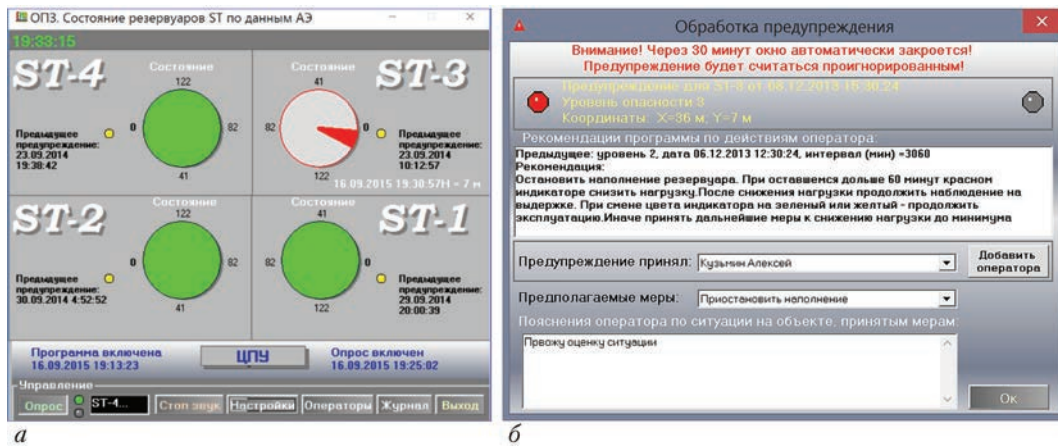


Рис. 13. Интерфейс пользователя индикаторной программы для операторов при контроле состояния хранилищ жидкого аммиака ОПЗ: а – окно с индикаторами опасности состояния (правый верхний индикатор показывает предупреждение 3-го уровня «Опасно» для одного из секторов объекта контроля); б – окно для обработки предупреждений оператором, содержит рекомендацию «Нормированный интеллектуальный совет»

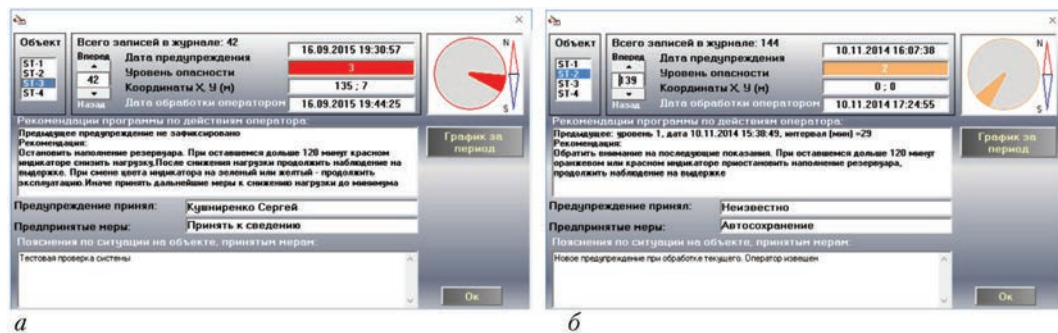


Рис. 14. Окно журнала принятых предупреждений: а – после заполнения данных оператором; б – в случае автосохранения текущего предупреждения при поступлении нового

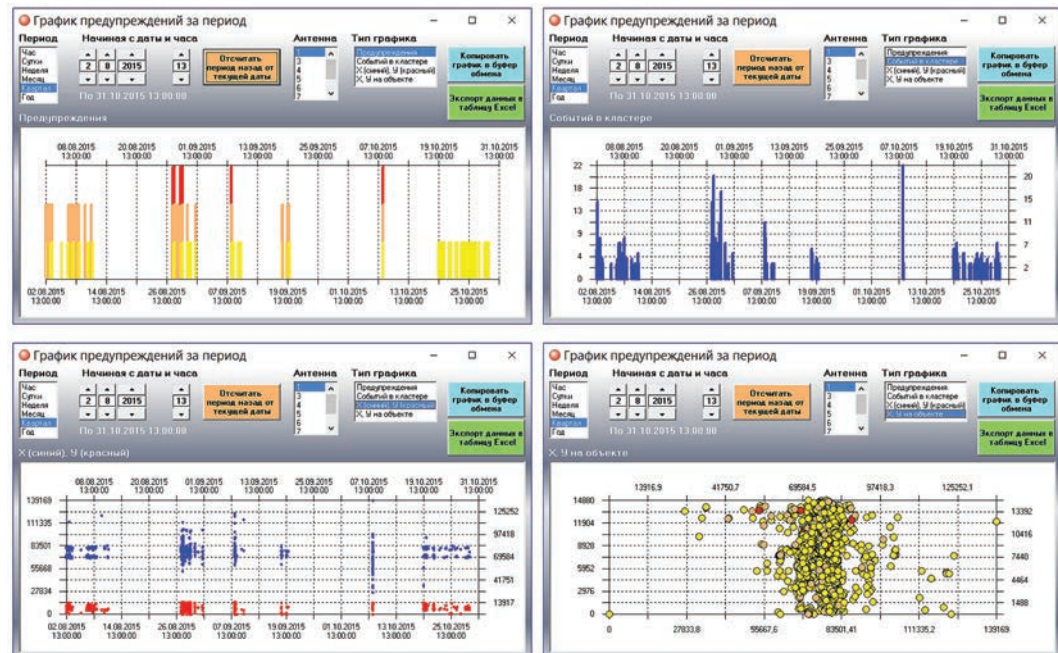


Рис. 15. Окно статистики предупреждений программы ЕМА-3.91 с различными типами графиков

инному критериальному классу. Решая это уравнение, всякий раз получаем разделение двух классов – измеренного ВСМ и эталонного, определяющего этап разрушения материала конструкции.

Приборы и программы, реализующие АЭ технологию. С целью реализации представлен-

ной выше технологии разработаны приборы и специальное программное обеспечение (ПО), позволяющее получить необходимую для дальнейшего анализа информацию и применить на ее основе теорию распознавания состояния конструкции в текущий момент и его прогнозирова-

ния на определенный промежуток времени. Применение современной измерительной аппаратуры и мощной компьютерной техники позволяют реализовать с помощью этого ПО передовую информационную АЭ технологию и обеспечить ее эффективную работу. Рассмотрим более подробно эти вопросы.

Обзорные материалы по ПО систем АЭ диагностики ЕМА впервые были опубликованы в 2005 г. [20]. В частности, описаны базовые возможности ПО относительно прогнозирования разрушающих нагрузок и остаточного ресурса. Уже к тому времени технические характеристики контролирующего оборудования и ПО, включая прогноз, были подтверждены службой ЦСМ Госстандарта Украины. За это время на базе опыта практического применения систем, взаимодействия с пользователями и учета мирового опыта последовательно выполнялись модернизация и расширение возможностей ПО.

При создании новых программ, расширении возможностей существующей версии программы, кардинальной смене базовых возможностей и их визуального представления в программе номер версии изменяется. В публикациях [21, 22, 33] рассмотрены наиболее важные особенности программы ЕМА версии 3.9 и сопутствующих дополнительных программ, используемых при периодическом контроле и непрерывном мониторинге промышленных объектов.

Отметим, что программа ЕМА-3.9, как и предшествующие версии, разработана в среде Microsoft Visual Studio 6 по требованиям Windows SDK, что обеспечивает ее работоспособность на базе всех существующих 32-разрядных операционных систем Microsoft для ПК начиная с Windows 95 и заканчивая Windows 10, а также на 64-разрядных. Программа является аппаратно-независимой и позволяет использовать измерительные АЭ системы различных производителей. Также предусмотрен так называемый пакетный режим обработки данных, что позволяет анализировать любые совместимые по формату данные, полученные с применением данного или стороннего ПО на АЭ системах различных типов.

Нумерация версии 3.9 выбрана исходя из сообщения, что оборудование АЭ диагностики 4-го поколения в данный момент находится в стадии окончательных доработок и тестирования. После полной интеграции ПО с указанным оборудованием модернизированная программа получит новый индекс. Выполненные после представления ЕМА-3.5 в 2005 г. усовершенствования и доработки позволяют говорить о принципиально новом программном продукте, поскольку изменились многие наиболее важные внутренние алгорит-

мы обработки данных и их внешнее визуальное представление.

С развитием сети Интернет стало возможным решение задачи дистанционного управления системами мониторинга, оценки состояния эксплуатирующихся конструкций на расстоянии и оперативного принятия решения в случае возникновения опасных ситуаций. Более чем десятилетний опыт эксплуатации диагностических систем с такими возможностями показал, что на их основе можно приступать к выполнению следующего этапа работ в области обеспечения безопасности конструкций – этапа управления их эксплуатационными параметрами. Первичным в цепи этапов обеспечения надежности конструкций и оборудования в процессе эксплуатации является их непрерывный мониторинг, получение непрерывного потока информации об их состоянии.

В работе [22] детально изложены требования к системам АЭ мониторинга, которые должны входить в состав программно-аппаратного комплекса, управляющего эксплуатацией промышленных объектов на основании данных об их состоянии, получаемых при мониторинге. С учетом этих требований разработано и в данный момент тестируется, в том числе на ОПЗ, новое, четвертое поколение приборов семейства ЕМА, разработанное, как и предыдущее, совместно со специалистами из Венгрии, имеющими в данном вопросе богатый опыт, полученный в течение десятков лет.

Новые разработки АЭ аппаратуры включают самые последние достижения в области электроники и вычислительной техники. Приборы имеют меньшие размеры и массу, поддерживают новейшие современные интерфейсы передачи данных и характеризуются повышенной надежностью за счет отсутствия подвижных компонентов. Увеличилась гибкость систем, создаваемых на основе соединения нескольких приборов. Ранее число совместно работающих измерительных модулей составляло не более двух, с максимальным общим числом каналов не более 64. Сейчас два основных типа приборов, имеющих соответственно 4 и 16 каналов АЭ (рис. 4), могут быть соединены в любой последовательности, а общее число одновременно обрабатываемых каналов АЭ увеличено до 128, аналогично увеличено число НЧ каналов, передающих технологическую информацию.

Программное обеспечение систем ЕМА-3.9 было доработано для взаимодействия с новым типом оборудования. Для этого реализован программный интерфейс для сетевого соединения с приборами, получения от них диагностической информации и отправки управляющих команд. Поскольку изначально программы ЕМА предназначались для обработки данных не более 64 каналов

АЭ и 16 НЧ каналов, потребовались изменения внутренней структуры обрабатываемой информации и формата используемых файлов с параллельной оптимизацией памяти, занимаемой передаваемыми и сохраняемыми блоками информации.

Пользовательский интерфейс также переработан применительно к возможности отображать данные от каждого АЭ и НЧ канала, выполнять их выбор в алгоритмах первичной или дополнительной обработки, настраивать и конфигурировать совместную работу каналов в составе сложных локационных антенн.

Таким образом, после представления в 2013 г. программы ЕМА-3.9 выполнена ее фундаментальная модернизация. Новый программный продукт получил наименование ЕМА-3.91.

Ниже представлены основные особенности программ ЕМА-3.9 и ЕМА-3.91, обеспечивающие новые возможности в обработке диагностической информации и переходе к управлению эксплуатацией промышленных объектов.

В программе ЕМА-3.9 объединены интерфейсы настройки процессов кластеризации и фильтрации АЭ данных. Созданный алгоритм кластеризации позволяет выбрать любую комбинацию следующих признаков, характеризующих сигнал АЭ: координату, амплитуду, время нарастания, длительность, число осцилляций, скорость, частота, энергия, уровень шума. Это дало возможность более детального проведения классификации обнаруженных дефектов и анализа АЭ информации в целом. Полученные события АЭ можно фильтровать по тем же признакам, по которым проводится их кластеризация.

Критерии фильтрации параметров задаются минимальным и максимальным значениями. Совместное использование нескольких полос фильтрации и объединения по требуемым параметрам в кластеры обеспечивает более эффективную отбраковку технологических шумов и детальный анализ информации. Программа обеспечивает выбор между фильтрацией параметров на входе с отсечением ненужной информации и фильтрацией, выполняемой после формирования событий. Применение этих алгоритмов на практике показало, что полезными являются обе возможности, но первой следует отдать предпочтение, поскольку сокращается, иногда весьма существенно, объем сохраняемых и обрабатываемых данных.

Локация на основе матрицы задержек позволяет минимизировать ошибки и исключить попадание координат событий в недопустимую область. Создание матрицы происходит на основе заранее определенной скорости распространения звука в материале, при изменении заданной скорости происходит автоматический пересчет ма-

трицы, на основе которой затем определяются координаты событий АЭ.

Окна настройки программы ЕМА-3.91 содержат новый интерфейс с общей таблицей ввода параметров для кластеризации и фильтрации (рис. 5). Изменения можно выполнять в реальном времени как при настройке, так и при проведении натурных испытаний или непрерывного АЭ мониторинга.

Вкладка «Свойства антенны» позволяет установить полосовые цифровые фильтры для таких параметров событий АЭ, как длительность, число осцилляций, время нарастания сигнала до максимума, амплитуда АЭ, средняя частота сигнала и др. Устанавливают верхнюю и нижнюю границы полосы. Если локационная антенна АЭ поддерживает режим матричной локации (для линейных, плоскостных и цилиндрических антенн), в окне можно изменять параметры матрицы в реальном времени.

Одной из особенностей ПО систем ЕМА является работа не только с акустической, но и технологической информацией, которая вводится в систему в виде НЧ параметров: нагрузки, давления, деформации, температуры и т.д. Осуществлена возможность настройки коэффициентов и тарировочных функций непосредственно в процессе проведения измерений. Изменения отображаются на графиках реального времени, что позволяет быстро подобрать необходимый вид тарировки. Кроме того, в случае невозможности введения в систему какого-то из НЧ параметров электрическим или программным способом предусмотрен ручной ввод и экстраполяция НЧ. Добавлена возможность ввода текущего значения низкочастотных параметров и обратной их экстраполяции в процессе проведения измерений. Это позволяет получить ступенчатую или представленную наклонными отрезками кривую изменения низкочастотного параметра, например, текущего давления.

Реализована возможность автоматической коррекции установленных порогов амплитудной дискриминации через заданное время (рис. 6). Указанная доработка очень важна для автономной работы системы во время мониторинга, так как позволяет вовремя реагировать на изменения акустического фона без вмешательства оператора.

Окно информации (рис. 7) содержит график, который отображает табличные данные из списка окна информации. При выборе другого содержания списка график автоматически обновляется. Каждый из представленных в списке параметров может быть представлен на графике или отключен. Имеется выбор типа графика – точечный, столбчатый, линейный, ступенчатый. Положение графика и его размер являются настраиваемыми.

Каждое срабатывание датчика при табличном анализе содержит информацию о событиях АЭ, к

которым оно было отнесено (если срабатывание не было отнесено ни к одному событию, то указываются признаки, по которым произошла отбраковка). В случае отбраковки событий в соответствующей таблице указываются критерии, по которым она проводилась. Рассмотренные возможности позволяют существенно расширить информативность системы и проводить сложный комплексный анализ полученных данных. Кроме того, допущенные оператором при настройке системы ошибки могут быть легко обнаружены и исправлены.

Экран локации (рис. 8) обеспечивает вывод как всех используемых при проведении АЭ контролей локационных антенн одновременно, так и по желанию пользователя нужной антенны. Для повышения наглядности в местах формирования АЭ событий появляется вспышка.

В программе используются дополнительные способы анализа данных в графическом виде – распределения значений параметров АЭ по каналам и корреляции между каналами. Окно анализа данных (рис. 9, 10) предназначено для просмотра и дополнительного анализа получаемых АЭ данных, в том числе с возможностью автоматического обновления в реальном времени. Экран 1 (рис. 8) содержит данные по кластерам и во многом аналогичен данным в окне информации; он позволяет просмотреть по кластерам выбранной антенны данные событий АЭ и относящихся к ним срабатываний датчиков. Экран 2 (рис. 9) позволяет выбирать и сравнивать данные по отдельным каналам АЭ в виде распределения параметров.

Для графиков предусмотрен выбор типа графика (столбчатый или ступенчатый), отображение-скрытие сетки.

Экран 3 (рис. 10) отображает столбчатый график корреляции заданного числа данных непрерывной АЭ для выбранного канала с остальными каналами.

Опыт эксплуатации систем ЕМА на производстве, в том числе в режиме непрерывного мониторинга, показал, что одной из наиболее важных задач является автоматизация повторяющихся и трудоемких операций. Ряд представленных выше программных средств решает некоторые частные вопросы автоматизации. К сожалению, далеко не всегда очевидно заранее, какие именно операции придется автоматизировать, исходя из разнообразия объектов контроля, условий их эксплуатации и возникающих пожеланий персонала, эксплуатирующего системы.

В связи с этим программа ЕМА версии 3.9 оснащена встроенной системой программирования на языке VBScript (рис. 11), который соответствует спецификации, созданной компанией Microsoft.

Реализована возможность дополнительного анализа обрабатываемых данных или же полностью альтернативной их обработки. В частности, можно полностью изменить механизм формирования событий, расчета их координат, особенности вывода на экран, табличного и графического представления и т.д. Это не только расширяет функциональность программы, но и дает возможность экспериментировать с обработкой данных, расширяя накопленный научный и практический опыт, который, несомненно, пригодится при создании последующих версий ПО.

Отметим, что ряд перечисленных выше разработок и модернизаций является результатом тесного взаимодействия разработчиков систем АЭ контроля и мониторинга различных модификаций с их пользователями, выполнения совместных исследований и анализа возникших при этом замечаний и предложений.

С применением новых возможностей в 2015 г. выполнен анализ и оптимизация используемых в программе способов и алгоритмов локации координат источников АЭ [22]. Переход к контролю объектов со сложной геометрией, особенно при произвольной расстановке датчиков АЭ, потребовал быстрой и оперативной оценки возможных погрешностей при локации источников АЭ. Ранее такая оценка проводилась непосредственно на объекте экспериментальным путем после расстановки датчиков с использованием импульсного прозвучивания от специального генератора или методом Су-Нильсена, основанном на сломе графитового стержня. В ПО ЕМА проверка выполняется при помощи автоматизированного программного, виртуального тестирования погрешностей локации для заранее задаваемых конфигураций локационных антенн (рис. 12). Несомненным преимуществом такого способа проверки является то, что ее можно выполнить очень быстро, причем до начала физической расстановки датчиков на объекте. Таким образом подбираются оптимальная схема размещения датчиков и наиболее подходящий алгоритм расчета координат источников АЭ.

Разработанная система тестирования точности локации источников АЭ позволила существенно упростить и сократить по времени процесс настройки АЭ испытаний, а также заранее оценивать достоверность расположения обнаруженных при реальных измерениях источников АЭ на определенных участках объекта контроля. Созданная программа позволяет оценить диапазон скоростей звуковых волн для выбора оптимального варианта, который следует использовать при локации, что существенно повышает ее точность.

При помощи виртуального тестирования существующие и вновь создаваемые алгоритмы лока-

ции источников АЭ могут быть быстро проверены на предмет точности и наличия ошибок и своевременно откорректированы. Отметим, что по результатам такой проверки алгоритмы локации, созданные для систем ЕМА, были скорректированы или полностью заменены в случаях, когда виртуальное тестирование показало недостаточную их точность.

Разработанные аппаратурные и программные средства дают возможность получать всю необходимую информацию с объекта контроля в качестве исходных данных для работы алгоритма оценки состояния материала конструкции при заданных условиях вероятности оценки и ошибки. В реальном масштабе времени, как уже было сказано, могут быть получены следующие АЭ параметры: амплитуды сигналов АЭ, число срабатываний и событий, энергия события АЭ, время нарастания сигнала АЭ, длительность нормированного события АЭ, число осцилляций в сигнале и событии, частотные характеристики возникающей в материале АЭ. В ВСМ входят также температура контролируемого материала, параметры напряженного состояния контролируемых узлов и некоторые производные от указанных параметров, необходимых для комплектования полного вектора.

Дополнительные средства анализа, представленные выше, позволяют дополнить прогноз, получаемый с использованием ВСМ, расширенными данными о конкретных процессах повреждения и развития разрушения в конструкциях. Отметим, что системы ЕМА четвертого поколения позволяют также проводить анализ осциллограмм сигналов АЭ в реальном времени.

Управление безопасной эксплуатацией и нормированный интеллектуальный совет. Разработанная АЭ технология вводится как составная часть процесса производства, а мониторинг, интегрированный в компьютерную сеть предприятия, дополняет существующие средства отслеживания текущего состояния объектов на производстве. На ОПЗ, учитывая потребности предприятия, руководством была поставлена новая задача – переход от констатации полученных в ходе мониторинга данных к применению их в управлении безопасностью эксплуатации оборудования комплекса перегрузки аммиака. Вместо простой индикации степени опасности текущего состояния было обеспечено предоставление автоматизированных рекомендаций по реагированию на опасность. Это означает более глубокую интеграцию мониторинга в структуру производства, с интеллектуальными средствами для формулирования и принятия решений о возможности дальнейшей эксплуатации и рекомендованных эксплуатационных режимов.

В работе [22] вводится в практическое использование термин «нормированный интеллектуальный совет» (НИС). В контексте задач производства такой совет содержит анализ ситуации на объекте контроля и четкие инструкции по эксплуатации объекта в данной ситуации. В случае возникновения опасности такие инструкции предусматривают остановку нагрузки конструкции или даже, при необходимости, ее частичную или полную разгрузку. Формулировка НИС происходит автоматически и в сжатые сроки (несколько секунд) после возникновения потенциальной угрозы для объекта. Предоставление НИС сопровождается визуальным и звуковым предупреждением об опасности, информацией о степени опасности и конкретного участка объекта контроля, которому опасность угрожает (рис. 13).

Совет формируется в соответствии с таблицей (см. рис. 2, б) на основе анализа не только текущих, но и предшествующих данных о состоянии объекта контроля и учитывает многолетний опыт эксплуатации объектов данного типа и контроля их системами непрерывного АЭ мониторинга. НИС является основой для последующей реализации автоматизированного управления безопасностью. Для практической его реализации потребовался многолетний практический опыт наряду с передовыми компьютерными технологиями.

Журнал принятых предупреждений (рис. 14) ведется программой автоматически, заполняется только в случае, если установлен флажок «Требовать реакции оператора на предупреждение».

При открытии журнала в окне автоматически отображается последняя по дате запись. Для просмотра других записей предусмотрено пролистывание их стрелками «Вперед» и «Назад».

Остальные элементы окна предназначены для вывода данных о предупреждении и его обработке. Они отображают даты получения программой предупреждения и завершения обработки его оператором, данные об уровне опасности и координатах центра акустической активности, рекомендации программы по ситуации и принятые оператором меры.

В правой верхней части окна расположено графическое отображение опасного сектора с указанием сторон света, под ним кнопка запуска графика статистики предупреждений для данного резервуара.

Учитывая, что системы непрерывного мониторинга работают длительное время, периодически генерируя предупреждения об опасности, актуальным является изучение тенденций возникновения опасных ситуаций. Это позволяет сопоставить генерацию определенного предупреждения или их группы с технологическими процессами, параметрами нагрузки, климатическими условия-

ми и т.д. Ранее не было возможности выполнить данный анализ автоматически. Теперь получение статистики мониторинга полностью автоматизировано. Элементы управления позволяют выбрать период времени, за который требуется статистика предупреждений, и построить график, на котором цветом столбца обозначен уровень предупреждения.

Построение графика основано на данных, хранящихся в специальных файлах (журналах). Информация обрабатывается и отображается в окне, показанном на рис. 15. Пользователь может изменить период, за который требуется статистика, выбрав его из списка. Начальная дата выбирается с помощью стрелок, а также при нажатии кнопки, которая позволяет автоматически отчислить отчетный период от текущей календарной даты. Данные графика с помощью специальной кнопки могут быть скопированы в буфер обмена, с целью дальнейшего использования, например, в отчетной документации.

В файлах статистики могут храниться данные для нескольких антенн АЭ, в связи с чем пользователь может выбрать, отображать ли на одном графике данные со всех антенн одновременно или же только с одной.

Данные могут быть представлены на четырех различных типах графиков.

График «Предупреждения» показывает цветом и высотой столбца уровень предупреждения в соответствующий момент времени:

1 предупреждение – желтый цвет, высота столбца 1/3 графика;

2 предупреждение – оранжевый цвет, высота столбца 2/3 графика;

3 предупреждение – красный цвет, высота столбца во весь график;

4 предупреждение с повышенной опасностью – черный цвет, высота столбца во весь график.

Ось ординат на графике отсутствует.

График «Событий в кластере» показывает высотой столбца число событий в кластере при поступлении предупреждения в соответствующий момент времени. График « X (синий), Y (красный)» показывает точками координаты кластеров при поступлении предупреждения в соответствующий момент времени. Шкала по оси ординат соответствует обеим координатам X и Y . Для линейных антенн отображаются только координаты X синим цветом.

График « X , Y на объекте» показывает кружками координаты кластеров при поступлении предупреждения в соответствующий момент времени. Для линейных типов антенн данный график представлен столбцами, высота которых отображает число событий в кластере при получении предупреждения.

Окно статистики предупреждений является масштабируемым и позволяет менять пропорции и размер графика.

Таким образом, на сегодня создана и внедрена на производстве современная информационная технология, позволяющая на основе данных АЭ мониторинга проводить анализ состояния конструкций за длительный период с прогнозом его на будущее, определять с заданной вероятностью нагрузку, при которой произойдет разрушение, и на основе статистики накопленных предупреждений оценивать потенциально опасные участки на объектах контроля.

Автоматизация мониторинга и обработки поступающих данных приводит к постепенному исключению человеческого фактора как из процесса настройки и проведения мониторинга, так и (в последнее время) из процесса принятия решения о состоянии конструкции и необходимых мерах по обеспечению ее безопасности. Это, в свою очередь, служит основой для внедрения, в ближайшей перспективе, системы полностью автоматизированного управления безопасностью, в которой диагностические данные будут использоваться не только для анализа состояния объекта контроля, но и для управления его эксплуатацией.

При возникновении потенциальной опасности разрушения в такой «интеллектуальной конструкции» программное обеспечение выберет оптимальный режим нагружения, подаст команды управляющим механизмам на его обеспечение и проконтролирует их выполнение. Использование такой технологии позволит существенно повысить безопасность эксплуатации и, в большинстве случаев, предотвратить разрушение и возможные катастрофические последствия.

В заключение следует отметить, что:

- стремительное развитие средств контроля конструкций, особенно с применением АЭ технологии, и то внимание, которое уделяется этому вопросу во многих странах мира, дают основание предположить в дальнейшем широкое применение АЭ для создания «интеллектуальных конструкций и сооружений», которые с заданной точностью и вероятностью сами будут сообщать о своем состоянии и предлагать меры выхода из внештатных ситуаций;

- системы непрерывного мониторинга, использующие интегральные методы контроля и, в частности, метод АЭ, будут все шире применяться при контроле сначала опасных в эксплуатации, а затем и в обычных промышленных конструкциях;

- следует ожидать расширения сети специализированных центров контроля эксплуатирующихся конструкций. Такие центры будут укомплектованы специалистами высокой квали-

фикации, а современные цифровые технологии и средства коммуникации позволят им проводить мониторинг и оценивать состояние конструкций дистанционно, находясь от объекта контроля на любом расстоянии. Контроль из трудоемкого и неудобного постепенно превращается в более удобный, офисный;

– общемировые тенденции в информационных технологиях позволяют предположить дальнейшую автоматизацию всех существующих процессов контроля состояния конструкций, в том числе АЭ мониторинга. Приоритет будет за технологическими решениями, использующими новейшие тренды в развитии ИТ – распределенные и облачные вычисления, использование быстродействующей дешевой связи, миниатюризацию и унификацию разрабатываемого оборудования, стандартизацию описания данных на основе стандартов HTML и XML.

Выводы

Разработана и постоянно совершенствуется оригинальная методика распознавания и прогнозирования на заданный промежуток времени состояния материала конструкций в процессе их эксплуатации.

Для реализации методики распознавания и прогнозирования разработано с учетом последних достижений в области АЭ контроля и информационных технологий программное обеспечение, позволяющее реализовать ее в реальном времени с использованием современной вычислительной техники.

Разработана новая эффективная аппаратура АЭ, согласованная с алгоритмами распознавания и прогнозирования состояния материала конструкций, и позволяющая эффективно использовать программное обеспечение, реализующее эти алгоритмы.

Основные технические характеристики контролирующего оборудования подтверждены службой ЦСМ Госстандарта Украины.

Разработанные технология контроля и оборудование в режиме непрерывного мониторинга используется при оценке состояния крупногабаритных хранилищ аммиака, технологических трубопроводов и трубопроводов тепловых станций, работающих при температуре до 550 °С.

Выполненные разработки и модификации, включая изменения в обработку данных, интерфейс, информативность и средства автоматизации выполняемых задач позволяют повысить эффективность применения систем АЭ диагностики и расширить сферу перспективных исследований, развить потенциал их промышленного применения.

Полная автоматизация процесса АЭ мониторинга и анализа получаемой информации по-

зволяет перейти от наблюдения за состоянием конструкций к управлению безопасностью их эксплуатации.

1. Алешин Н. П. Новые информационные системы неразрушающего контроля и диагностики сварных конструкций / Н. П. Алешин // Автоматическая сварка. – 2003. – № 9/10. – С. 64–69.
2. Андрейкив А. Е. Метод АЭ в исследовании процессов разрушения / А. Е. Андрейкив, Р. В. Лысак. – К : Наукова думка, 1989. – 176 с.
3. Бигус Г. А. Исследование акустико-эмиссионных сигналов при деформировании и разрушении образцов из стали 22К / Г. А. Бигус, П. Б. Стрелков // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2005. – № 1. – С. 10–15.
4. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф в 2 кн. / Р. Гилмор. – М. : Мир, 1984. – Кн. 1. – 350 с. ; Кн. 2. – 285 с.
5. Гренандер У. Лекции по теории образов в 3 т.; Т. 1 Синтез образов / У. Гренандер. – М. : Мир, 1979. – 397 с.
6. Гренандер У. Лекции по теории образов в 3 т.; Т. 2 Анализ образов / У. Гренандер. – М. : Мир, 1981. – 445 с.
7. Гренандер У. Лекции по теории образов в 3 т. Т. 3 Регулярные структуры / У. Гренандер. – М. : Мир, 1983. – 430 с.
8. Анализ риска аварий на магистральном аммиакопроводе «Тольятти–Одесса» ОАО «Трансаммиак» / [Д. В. Дегтярев, Ю. А. Дадонов, И. А. Кручинина и др.] // Труды 7-й Всерос. научн. конф. «Современные методы математического моделирования природных и антропогенных катастроф» и 3-я Всерос. научн.–практ. конф. «Проблемы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», Красноярск, 13–17 окт. 2003 г. – Т. 2. – Ин-т вычисл. моделир. СО РАН, 2003. – С. 102–103.
9. Ковчик С. Е. Характеристики кратковременной трещиностойкости материалов и методы их определения справоч. пособ. в 4 т. / С. Е. Ковчик, Е. М. Морозов ; под общ. ред. акад. НАН Украины В. В. Панасюка. – К. Наукова думка, 1988. – Т. 1. – 436 с.
10. Коллакот Р. Диагностика повреждений / Р. Коллакот. – М. : Мир, 1989. – 516 с.
11. Интегрированная экспертно-аналитическая система оценки, анализа и прогнозирования технического состояния линейной части магистральных газопроводов (АЭС МГ) как составная часть региональной и глобальной систем экологического мониторинга / [В. Е. Костюков, А. П. Кудяев, И. А. Павликов и др.] // Междунар. специализ. выставка-конф. военных и двойных технологий «Новые технологии в радиоэлектронике и системах управления», Нижний Новгород, 3–5 апреля 2002 г. – Тр. конф. «Информационные технологии и автоматизированные системы управления». – Т. 1. – Секц. 1. – М. : ЦНИИ «Электроника». – 2002. – С. 22–25.
12. Лебедев А. А. Оценка состояния металла труб после длительной эксплуатации в системе магистральных газопроводов / А. А. Лебедев, С. А. Недосека, Н. Р. Музыка, Н. Л. Волчек // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2003. – № 2. – С. 3–8.
13. Лебедев А. А. Экспресс-метод оценки трещиностойкости пластичных материалов / А. А. Лебедев, Н. Г. Чаусов. – К. : ИПП НАН Украины, 1998. – 43 с. – (Препринт / НАН Украины, Ин-т проблем прочности).
14. Махненко В. И. Совершенствование методов оценки остаточного ресурса сварных соединений конструкций длительного срока эксплуатации / В. И. Махненко // Автоматическая сварка. – 2003. – № 10 / 11. – С. 112–121.
15. Недосека А. Я. О квантовании процесса возникновения и развития трещин / А. Я. Недосека // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 1989. – № 1. – С. 11–15.
16. Недосека А. Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций / А. Я. Недосека ; под ред. Б. Е. Патона. – [4-е изд., перераб. и доп.] – К. : Индпром, 2008. – 814 с.
17. Недосека А. Я. Об оценке надежности эксплуатирующихся конструкций (состояние вопроса и перспектива развития) / А. Я. Недосека, С. А. Недосека // Техническая

- диагностика и неразрушающий контроль. – 2010. – № 2. – С. 7–17; 12-я Междунар. деловая встреча «Диагностика–2002» (Белек, 23–26 апреля 2002 г.) – Т. 2. Диагностика электромеханического оборудования, надежности КС и экологического мониторинга. – Ч. 2. – М.: ИРЦ Газпром, 2002. – 142 с.
18. Недосека А. Я. Некоторые особенности применения метода акустической эмиссии при контроле разрушения материалов / А. Я. Недосека, С. А. Недосека // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2014. – № 2. – С. 3–11.
 19. Недосека С. А. Прогноз разрушения по данным акустической эмиссии / С. А. Недосека // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2007. – № 2. – С. 3–9.
 20. 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.
 21. Об управлении безопасностью эксплуатации оборудования, несущего рабочую нагрузку. Непрерывный акустико-эмиссионный мониторинг / [А. Я. Недосека, С. А. Недосека, М. А. Яременко и др.] // Хімічна промисловість України. – 2014. – № 1. – С. 10–21.
 22. Оптимизация размещения датчиков и повышение точности локации источников акустической эмиссии / С. А. Недосека, М. А. Овсиенко, Л. Ф. Харченко, М. А. Яременко // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2015. – № 3. – С. 18–25.
 23. О применении АЭ технологии при непрерывном мониторинге трубопроводов энергетических комплексов, работающих при высокой температуре / [Б. Е. Патон, Л. М. Лобанов, А. Я. Недосека и др.] // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2014. – № 3. – С. 7–14.
 24. Панасюк В. В. Основы механики разрушения материалов : справ. пособ. в 4 т. / В. В. Панасюк, А. Е. Андрейкив, В. З. Партон ; под общ. ред. акад. НАН Украины В. В. Панасюка. – К. : Наукова думка, 1988. – Т. 1. – 487 с.
 25. Пат. 2226272 Российской Федерация, МПК7G 01 N. Способ акустико-эмиссионного контроля и диагностирования резервуаров для хранения сжиженных газов / Тарасенко В. И., Ким Б. Г., Румянцев В. Н., Гришин А. В. ; опубл. 27.03.2004.
 26. Патон Б. Е. Современные направления исследований и разработок в области сварки и прочности конструкций / Б. Е. Патон // Автоматическая сварка. – 2003. – № 10/11. – С. 7–13.
 27. О некоторых путях построения автоматических информационно-измерительных систем для диагностики надежности сварных конструкций / Б. Е. Патон, И. В. Кудрявцев, А. Я. Недосека, А. Е. Коротынский // Автоматическая сварка. – 1974. – № 9. – С. 1–5.
 28. Патон Б. Е. Техническая диагностика: вчера, сегодня и завтра / Б. Е. Патон, Л. М. Лобанов, А. Я. Недосека // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2003. – № 4. – С. 6–10.
 29. Патон Б. Е. Акустическая эмиссия и ресурс конструкций / [Б. Е. Патон, Л. М. Лобанов, А. Я. Недосека и др.] – К. : Индпром, 2012. – 312 с.
 30. Патон Б. Е. О состоянии работ в Украине по технической диагностике промышленного оборудования, конструкций и сооружений / Б. Е. Патон, А. Я. Недосека // Автоматическая сварка. – 1998. – № 11. – С. 3–9.
 31. Петерсен Т. Б. Разработка и использование автоматической системы классификации для идентификации сигналов акустической эмиссии / Т. Б. Петерсен // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 1993. – № 3. – С. 3–9.
 32. Пустовой В. Н. Металлоконструкции грузоподъемных машин (Разрушение и прогнозирование остаточного ресурса) / В. Н. Пустовой. – М. : Транспорт, 1992. – 256 с.
 33. 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.
 34. Скальський В. Р. Оцінка накопичення об'ємної пошкодженості твердих тіл за сигналами акустичної емісії / В. Р. Скальський // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2003. – № 4. – С. 29–36.
 35. Ту Дж. Принципы распознавания образов / Дж. Ту, Р. Гонсалес – М. : Мир, 1978. – 411 с.
 36. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения : в 2 т. / В. Феллер. – М. : Мир, 1984. – Т. 1. – 528 с.; Т. 2. – 738 с.
 37. Фролов К. В. Определение прочности, ресурса и живучести конструкций / К. В. Фролов, Н. А. Махутов, М. М. Гаденин // Автоматическая сварка. – 2003. – № 9/10. – С. 89–96.
 38. Использование метода акустической эмиссии для экспресс-контроля разрушения бетонов с добавками пластификаторов / [Н. Г. Чаусов, С. А. Недосека, И. О. Богинич и др.] // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 1998. – № 3. – С. 12–16.
 39. Черепанов Г. П. Квантовая механика разрушения / Г. П. Черепанов // Проблемы прочности. – 1990. – № 2. – С. 3–9.
 40. Obodovsky B. Application of a Permanent Acoustic Emission Monitoring System on Four Ammonia Storage Tanks / B. Obodovsky, A. Fedchun, A. Nedoseka // Ammonia Plant Safety. – AIChE Technical Manual. – 2006. – Vol. 39. – P. 24–34.
 41. Balderston H. L. The broad range detection of incipient failure using the acoustic emission phenomena / H. L. Balderston // A symposium presented at the December Committee Week American Society for Testing and Materials. – Bal Harbour, 7–8 December 1971. – P. 297–317.
 42. Chausov N. G. Accelerated strength check by the acoustic emission method for concrete with additives / N. G. Chausov, S. A. Nedoseka, N. D. Gakh // International Conference «Acoustic Emission 99». – Brno, 15–17 June 1999. – P. 51–56.
 43. Stone D. E. Acoustic Emission parameters and their interpretation / D. E. Stone, P. F. Dingwall // NDT international. – 1977. – 10. – P. 51–56.
 44. Forli O. NDT offshore : a review of current practice / O. Forli, G. A. Raine // INSIGHT. – June 1996. – Vol. 38. – № 6.
 45. Gillis P. P. Dislocation motions and acoustic emission / P. P. Gillis // A symposium presented at the December Committee Week American Society for Testing and Materials. – Bal Harbour, 7–8 December 1971. – P. 20–29.
 46. Tsuda H. Development of Fiber Bragg Grating Sensors for Structural Health Monitoring / H. Tsuda // JSNDI. – 54–2 (2005). – P. 71–75 (in Japanese).
 47. Use of acoustic emission for the detection of weld and stress corrosion cracking / C. E. Hartbower, W. G. Reuter, C. F. Morais, P. P. Crimmins // A symposium presented at the December Committee Week American Society for Testing and Materials. – Bal Harbour. – 7–8 December. – 1971. – P. 187–221.
 48. Nakamura Yosio. Amplitude distribution of acoustic emission signals / Yosio Nakamura, C. L. Veach, B. O. McCauley // A symposium presented at the December Committee Week American Society for Testing and Materials. – Bal Harbour, 7–8 December 1971. – P. 164–186.
 49. Paton B. E. Diagnostic of designs and safety of an environment / B. E. Paton, A. J. Nedoseka // the Report on international conference «The Human factor and environment». – International Institute of Welding. – July 19–20 1999. – Lisbon, Portugal.
 50. About experience of Ukraine in the solution of problems of safety control exploitation of welded structures and preservation of an environment / B. E. Paton, A. J. Nedoseka, L. M. Lobanov, S. A. Nedoseka // the Report № IIW DOC XI –735 – 00 on commission XI «International Institute of Welding». – July 9–14 2000. – Florence, Italy.
 51. Nishinoiri S. Evaluation of Microfracture Mode in Ceramic Coating during Thermal Cycle Test using Laser AE Technique / S. Nishinoiri, M. Enoki, K. Tomita // Materials Transactions. – 45–1 (2002). – P. 92–101.

52. Reid Stanley. Experience of Using a Non-Intrusive Approach to the Inspection of a 23 Year Ammonia Storage Tank / Stan-ley Reid // 49th AIChE Safety in Ammonia Plants and Related Facilities Symposium. Denver, Colorado. – Ammonia technical manual. – 2004. – P. 219–230.
53. Kishi T. Acoustic Emission – Beyond the Millennium / T. Kishi, M. Jhtsu, S. Yuyama. – Elsevier Science Ltd. – 2000. – 239 p.
54. Sogabe T. Monitoring and Source Location of Acoustic Emissions from Atmospheric Corrosion of Water-Stage Cylindrical Tank Bottom Plate Exposed to Outdoor Weathering / T. Sogabe, K. Matsuuri, M. Takemoto // JSNDI. – 53–1 (2004). – P. 35–39 (in Japanese).
55. Tetelman A. S. Acoustic emission testing and micro cracking processes / A. S. Tetelman, R. Chow // A symposium presented at the December Committee Week American Society for Testing and Materials. – Bal Harbour, 7–8 December 1971. – P. 30–40.
56. Investigation on AE Signal/Noise Processing in Corrosion Camage Evaluation of Tank Bottom, in Progress in Acoustic Emission / Z. Li, S. Yuyama, M. Yamada et al. // J. of Acoustic Emission. – 2005. – Vol. 23. – P. 171–178.

Practice of operating machinery, structures and constructions is increasingly demanding development of methods and means which would enable determination, proceeding from available data, of their functional capabilities at any moment of time, both in the past and in the present, as well as predicting their state and future behaviour on the base of these data. Usually, it is difficult to determine by calculation in what manner and at what parameters values, characterizing structure serviceability, its fracture will start. The current scope of knowledge on the dependence of assumed fracture criteria on numerous parameters is most often insufficient. Considering the possibility of existence of such operating parameters, influencing the exhaustion of material load-carrying properties, about which simply nothing is known, it is difficult to assess the design accuracy; and in some cases the error can turn out to be inadmissibly high. Monitoring technology based on acoustic emission (AE) provides a higher accuracy of assessment of the structure sate, determined just by the accuracy of instruments and their application procedures in each specific case. Its application allows transition from monitoring the state of structures to controlling their safe operation. 56 References, 15 Figures.

Поступила в редакцию
10.02.2016

ВОСЬМАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах»

Украина, Одесса, отель «Курортный» (www.inkurort.com)
19 – 23 сентября 2016 г.



Национальная академия наук Украины
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ
Международная ассоциация «Сварка»

Тематика конференции

Математическое моделирование:

- ♦ физических явлений, определяющих эффективность и распределение тепловложений при сварочном нагреве;
- ♦ процесса переноса металла при сварке;
- ♦ образования и гидродинамики сварочной ванны при сварке плавлением сплошных и пористых материалов;
- ♦ кристаллизации сварочной ванны, химического состава зоны проплавления и образования химической неоднородности;
- ♦ кинетики микроструктурных изменений при одно- и многопроходной сварке;
- ♦ зависимости химический состав — микроструктура — механические свойства;

- ♦ транспорта водорода в сварных соединениях;
- ♦ оценки риска образования холодных (водородных) трещин;
- ♦ остаточных напряжений и деформаций при многопроходной сварке с учетом изменений микроструктуры металла;
- ♦ деградации свойств материала сварных соединений под воздействием высоких температур, химически агрессивных сред и ядерного облучения;
- ♦ процесса идентификации дефектов в сварных соединениях при неразрушающих методах испытаний
- ♦ кинетики деформационных процессов в температурных интервалах образования горячих трещин.

Информационные технологии в сварке, наплавке и нанесении покрытий.

Рабочие языки конференции — украинский, русский, английский. Для участия в конференции необходимо заполнить регистрационную карточку и направить ее в Оргкомитет до 21 июня 2016 г. К началу конференции будут изданы тезисы докладов. Требования к оформлению тезисов. Текст следует набирать на одном из рабочих языков в редакторе WORD (кегель 12, через 1,5 интервала). Объем тезисов — 1 страница.

Основные даты

Подача заявок на участие и тезисов докладов до 21.06.2016 г. Рассылка второго информационного сообщения до 01.07.2016 г. Рассылка приглашений на конференцию и подтверждение участия до 15.07.2016 г. Оплата организационного взноса производится на основании счетов Оргкомитета или непосредственно во время проведения конференции.

Оргкомитет

Украина, 03680, г. Киев, ул. Боженко, 11
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины
Тел./факс: (38044) 200-82-77
E-mail: journal@paton.kiev.ua, romanova@paton.kiev.ua
<http://pwi-scientists.com/rus/mmi2016> | www.patonpublishinghouse.com