



# НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ КОНТРОЛЕ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

А. Я. НЕДОСЕКА, С. А. НЕДОСЕКА

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

Освещены некоторые особенности контроля разрушения материалов конструкций с применением метода акустической эмиссии. Рассмотрены возможные причины формирования поля повреждений на ранних стадиях деформирования. Показано, что высокая чувствительность метода АЭ и связанная с этим регистрация накапливающихся в процессе разрушения повреждений, в том числе на микроуровне, может привести к неоднозначным заключениям о состоянии материала. Приведены результаты испытаний образцов из материалов в состоянии поставки и отработавших значительный срок при эксплуатации конструкций. На примере кратковременных испытаний образцов и непрерывного мониторинга действующих конструкций показано, что влияние эффекта Кайзера на общую картину распределения АЭ событий не всегда может быть выявлено. Сделан акцент на необходимости учета выявленных особенностей при контроле промышленных конструкций. Библиогр. 19, рис. 7.

*Ключевые слова:* акустическая эмиссия, разрушение материалов, эффект Кайзера

Успешная эксплуатация диагностических систем на основе акустической эмиссии (АЭ) позволяет расширить область их применения в сторону управления процессом контроля и эксплуатацией оборудования, производящим основной продукт предприятий. При этом предъявляются более высокие требования к контролирующему оборудованию и его программному обеспечению, что требует более детального изучения и интерпретации АЭ, возникающей в процессе разрушения. Представленная статья является фрагментом этой большой работы и посвящена исследованию некоторых особенностей регистрации разрушения материалов с использованием явления АЭ.

Известно, что поставляемые на изготовление сварных конструкций материалы имеют начальные дефекты. Последующая сборка элементов конструкции вносит свои дефекты, связанные с особенностями технологии сборки. Как правило, большинство дефектов в процессе освоения конструкции выявляются контролем и исправляются. Часть из них может быть незамечена в начале эксплуатации, но затем проявляется и исправляется. Это макродефекты, они обнаруживаются существующими методами контроля. Следует также отметить, что значительные коэффициенты запасов прочности, устанавливаемые разработчиками конструкций, в большинстве случаев снимают

на определенный период эксплуатации проблему, связанную с негативным влиянием оставшихся, не выявленных при контроле дефектов.

Рассмотрим дефекты на микроуровне, которые трудно определить, с одной стороны, из-за сложности методик такого контроля, а с другой – из-за того, что они практически не влияют на несущую способность конструкции в момент ее испытаний и сдачи в эксплуатацию и операции по их выявлению теряют практический смысл.

В состоянии поставки элементов конструкций на сборку подавляющее большинство дефектов, находящихся на микроуровне, по данным исследователей составляет от  $10^6$  1/см<sup>3</sup> и выше [1]. Количество дефектов связано с видом материала, способом его изготовления, способом изготовления конструкции, условиями ее эксплуатации. При эксплуатации готовой конструкции происходят необратимые изменения в структуре материала, связанные с физико-химическими процессами, протекающими в нем под воздействием внешних условий и эксплуатационной нагрузки. Дефекты развиваются, в устье образующихся микротрещин накапливаются пластические деформации, сами трещины соединяются и это приводит с течением времени к постепенному старению материала, главным признаком которого является его охрупчивание (рис. 1). К такой картине приводит,



Рис. 1. Схема развития микротрещин в поперечном сечении пластины в результате действия растворенных газов: а, б – два среза по времени (размеры трещин для наглядности увеличены); в – поверхность разрушенного при испытании на ударную вязкость образца из материала трубы (сталь типа 09Г2С) газопровода после 48 лет эксплуатации (x6)

© А. Я. Недосека, С. А. Недосека, 2014



например, механизм трансформации водорода на поверхности микротрещины. Как известно, атом водорода свободно перемещается внутри атомной решетки, имея размеры меньшие, чем межатомное расстояние. В то же время такие атомы, попадая в микротрещину и обмениваясь энергией с ее поверхностью, приобретают структуру молекул, имеющих значительно большие размеры и меньшую подвижность. Внутри микротрещины создаются громадные давления – от  $10^3$  до  $10^4$  МПа [2, 3]. Это приводит к ее подрастанию, вследствие которого внутреннее давление падает, а затем процесс повторяется. Кроме того, молекулярный водород является веществом поверхностно-активным, что приводит к снижению величины энергии разрыва межатомных связей. Микродефекты заполняют практически весь объем конструкции. Концентрация напряжений в устье трещинок приводит к появлению микропластических деформаций.

Процессы старения материалов являются достаточно длительными и могут протекать десятки лет. Таким образом, наличие микродефектов в материалах можно представить как «мину замедленного действия», которая может сработать спустя 20...30 и более лет после начала эксплуатации конструкции. Сказанное подтверждают исследования, показывающие, что механические свойства материалов изменяются с течением времени [4, 5]. При этом величина потерь в свойствах зависит от условий эксплуатации конструкций и внешней среды, в которой протекает эксплуатация.

Существенным механизмом накопления повреждений в материалах конструкций в процессе эксплуатации является также механизм, связанный с перемещением и группированием дислокаций под воздействием внешних усилий. Исследования показывают, что образование зон пластических деформаций за счет перемещения групп дислокаций приводит к образованию микротрещин и связанной с ними микропластичностью, появляющуюся в устье трещин [6–14]. Такие групповые перемещения становятся чувствительными для современной АЭ аппаратуры и вполне достаточны для того, чтобы регистрировать процесс разрушения материалов уже на уровне дислокационных перемещений [11, 15]. Так, появление межкристаллитных трещин при растяжении затвердевающего металла достаточно надежно обнаруживается с помощью АЭ [12].

Применение АЭ технологии имеет свои особенности, связанные с необходимостью выделения степени опасности процессов, протекающих в материале, по данным АЭ. Сигналы АЭ регистрируются практически во всем диапазоне накопления повреждений в материале – от уровня перемещения групп дислокаций до формирования и

развития макро- и магистральных трещин. Характеристики же сигналов изменяются в зависимости от объемов и интенсивности протекающих в материалах процессов разрушения.

В общем случае разрушение материалов по данным АЭ может быть схематически представлено четырьмя стадиями.

1. На первой стадии состояние материала характеризуется равномерными, неодновременными для всей поверхности конструкции вспышками сигналов АЭ, показывающими развитие микродефектов, хаотически заполняющих объем конструкции. Их развитие вызвано действием внешних нагрузок и внутренних физико-химических процессов, протекающих в материале в основном за счет накопления в микротрещинах блуждающих в материале газов, таких как водород, азот и др. (рис. 1). АЭ отслеживает эти процессы отдельными импульсами, возникающими в местах разрушения микродефектов. Это хорошо иллюстрирует рис. 2, в нижней части которого показаны некластеризованные импульсы АЭ, возникающие сразу же с началом растяжения образца по всей его длине.

2. На второй стадии появляются области, где микродефекты по тем или иным причинам развиваются более интенсивно. В этих областях параметры АЭ соответственно изменяют свои значения, становясь более характерными для данного этапа разрушения. Образующиеся кластеры групп событий АЭ дают представление о состоянии материала и местах наиболее интенсивных процессов разрушения на этой стадии.

3. На третьей стадии в некоторых из областей накопившиеся микродефекты переходят в макродефекты и кластеры событий АЭ в полном соответствии с этим приобретают другие информационные параметры. Появляются уточненные места предполагаемого разрушения и подсчитывается прогнозная разрушающая нагрузка.

4. На четвертой стадии появляются области, где происходит достаточно быстрое слияние дефектов, образуются развивающиеся трещины. В этом случае АЭ информация приобретает критическое значение, характеризуя начало и развитие разрушения. Выделяется, как правило, один кластер, характеризующий место разрушения (рис. 2).

В зависимости от величины и опасности начальных дефектов в эксплуатируемой конструкции последовательность наступления той или иной стадии разрушения может быть различной.

Механизм разрушения материалов с применением АЭ метода рассматривался многими учеными. В то же время следует отметить, что результаты таких исследований в сильной мере зависят от применяемой АЭ аппаратуры, ее чувствительно-

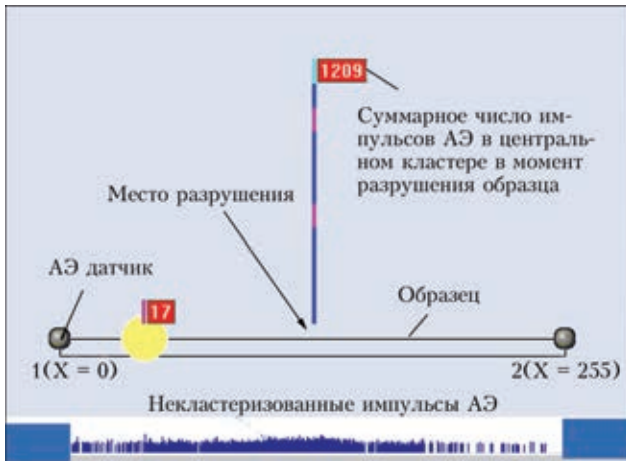


Рис. 2. Распределение сигналов АЭ по длине образца при испытаниях растяжением. В нижней части графика представлено распределение сигналов АЭ без кластеризации

сти и возможностей по обработке и анализу АЭ информации. Глубина исследований в этом направлении тесно связана с разрешающей способностью АЭ аппаратуры и возможностями ее программного обеспечения, позволяющего проводить анализ состояния материала по данным АЭ. В последнее время компьютерные технологии, в том числе программное обеспечение АЭ систем, бурно развиваются. Разработанная на базе последних достижений в компьютерных технологиях АЭ аппаратура ЕМА 3.9 отличается большими возможностями с точки зрения получения и анализа АЭ информации [4]. Возможность фиксировать, помимо АЭ, также и другие параметры, связанные с разрушением материалов, расширили ее применение в сторону увеличения анализа характерных их комбинаций. Появились средства и технология для более детального сопоставления при контроле работоспособности конструкций показаний АЭ с теми разрушающими процессами, которые происходят в материале при его деформировании.

Следует также отметить, что протекающая в материалах коррозия, наряду с отмеченными

выше процессами, часто приводит к снижению несущей способности конструкций за счет изменения рабочих сечений несущих элементов и появления микро- и макротрещин. Дефекты такого рода при их развитии также фиксируются при помощи метода АЭ. В то же время фактор коррозии может быть существенно уменьшен за счет выполнения профилактических работ, а нормативные запасы прочности и последующий регулярный контроль резко уменьшают влияние этого фактора. Для анализа процесса накопления повреждений были проведены исследования разрушения образцов из различных сталей с анализом их АЭ активности на различных стадиях разрушения. Разрушение образцов выполнялось растяжением в стандартной разрывной машине Р20.

Четыре АЭ датчика устанавливались непосредственно на образце, как показано на рис. 3, и позволяли определять параметры АЭ сигналов и координаты их возникновения. Как показали исследования, АЭ сигналы возникали в самом начале растяжения образцов по всей их длине и распределялись неравномерно. Для отслеживания процесса разрушения выполнялась кластеризация сигналов АЭ, как показано на рис. 2 в верхней его части. Кластеризация позволяла выявить общую закономерность развития разрушения с указанием более наглядного места развивающегося процесса. Кроме того, кластеризация событий АЭ позволяла запустить алгоритм прогнозирования места разрушения образца и разрушающей нагрузки. На рис. 3 представлены виды образцов для АЭ испытаний, гладкие и сварные образцы изготавливались в соответствии с ТУ-025АЭ-1986.

Анализируя результаты испытаний образцов из стали 20 в состоянии поставки, представленных на рис. 4, можно отметить, что с ростом нагрузки неравномерно растет и количество АЭ событий. Амплитуда этих событий также неравномерна, что указывает на различную интенсивность разрушения в процессе растяжения образца. Суммарное количество накапливаемых повреждений растет (зеленая кривая).

Следует также отметить, что величина времени нарастания события АЭ до своего максимального значения ( $Rt$ ) постепенно уменьшается по мере роста нагрузки. Последнее свидетельствует о постепенном упрочнении материала образца и преобладании хрупкой составляющей в его разрушении. В конечной части разрушения число событий АЭ невелико, что позволяет сделать вывод о слиянии микро- и макродефектов и постепенного образования разрушающей трещины [4].

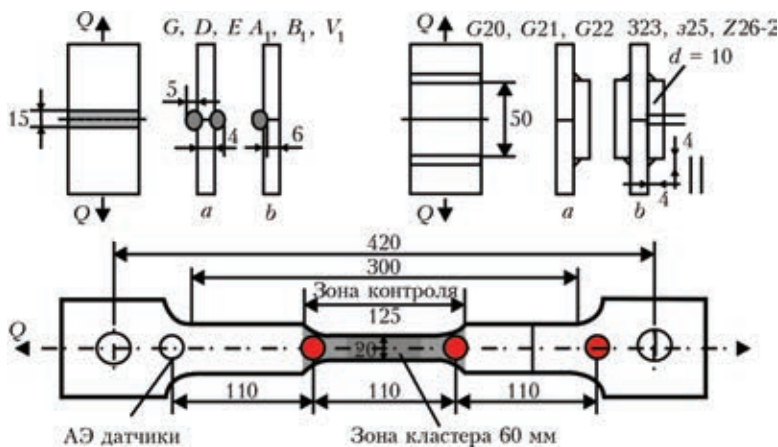


Рис. 3. Образцы для исследования влияния сварки и видов сварных соединений на акустические характеристики материалов. Материал соединения – сталь 17ГС;  $\delta = 8$ ; сварка ручная; режим сварки  $I = 210 \dots 220$  А; электрод УОНИ-13/45



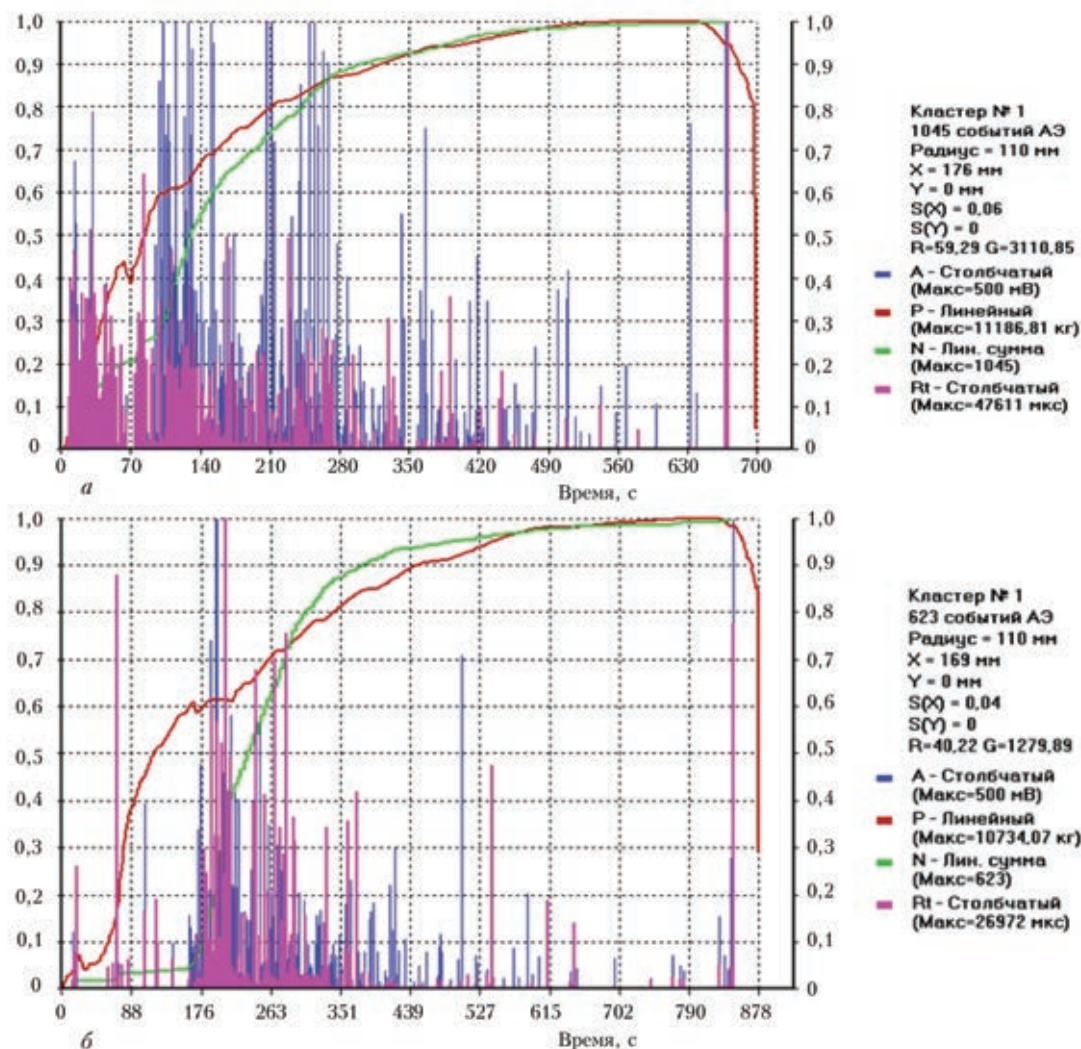


Рис. 4. Результаты испытаний на растяжение образцов из стали 20 в состоянии поставки (а) и после эксплуатации трубы газопровода из этого материала в течение 32 лет (б): А – амплитуда сигналов АЭ; Р – нагрузка, кг; N – суммарное число событий АЭ на каждом этапе нагружения;  $R_t$  – «крайс тайм» – время нарастания АЭ сигнала до максимального значения; справа приведены параметры каждого измерения: радиус кластера, в котором собирались события АЭ; координата места разрушения и погрешность определения координаты места разрушения  $S(X)$ , а также значения измеренных величин

На рис. 4, б показано разрушение образца из той же стали после длительной эксплуатации в трубе газопровода (32 года). Первое, на что следует обратить внимание, это незначительное по сравнению с материалом без наработки количество АЭ событий в начальной фазе нагружения, в данном случае вплоть до нагрузки, равной 0,6 разрушающей. В качестве причины этого факта можно, в частности, предположить действие эффекта Кайзера: рабочее давление в газопроводе в какой-то момент времени соответствовало нагрузке, при которой все дефекты, имевшиеся на тот момент в материале трубы, развились. Дальнейшее развитие дефектов, согласно Кайзеру, начинается только при более высоких нагрузках, чем максимальная зарегистрированная для данного трубопровода, о чем и свидетельствует график рис. 4, б. В то же время видно, что все-таки имеется небольшое количество АЭ событий и при меньшей нагрузке, чем 0,6 разрушающей. Это

свидетельствует о том, что в процессе эксплуатации появлялись новые дефекты, а длительная рабочая нагрузка не превышала ту, которая привела к срабатыванию эффекта Кайзера в дефектах, появившихся до новообразованных. При дальнейшем нагружении образца с превышением предельной для данной трубы рабочей нагрузки картина изменения параметров АЭ подобна приведенной на рис. 4, а.

В некоторых случаях эффект Кайзера может быть слабо выражен или вообще неразличим. Это происходит тогда, когда процессы трещинообразования в материале в процессе его эксплуатации протекают более интенсивно, благодаря неблагоприятным внешним и внутренним условиям, и становятся доминирующими в процессе разрушения. Так, испытания некоторых сталей, эксплуатирующихся в условиях неблагоприятных с точки зрения образования микродефектов и их роста, показывают результаты, где эффект Кайзе-



ра практически неразличим. В рамках выполнения данной работы были испытаны также стали 09Г2С; 19Г; 17Г1С; 17ХГ1С; 14ХГС. Результаты испытаний этих сталей не приводятся. Они практически подобны полученным для стали 20. Разница заключается только в распределении АЭ событий и проявлении эффекта Кайзера – от явно выраженного до неразличимого. Испытание образцов, представленное на графиках рис. 4, указывает также на постепенное упрочнение материала, о чем свидетельствует неуклонное с ростом нагрузки снижение величины времени нарастания сигналов АЭ ( $R_t$ ).

Здесь же следует отметить, что среди всех испытанных образцов не было идентичных по распределению событий АЭ. Акустико-эмиссионная картина различна даже для любых двух образцов, вырезанных из металла на соседних участках трубы. На основании большого объема имеющихся экспериментальных данных можно сделать оче-

видный вывод, что АЭ в материале в значительной степени определяется полем развивающихся повреждений, независимо от причин их возникновения. Под повреждениями здесь будем понимать любые изменения структуры и свойств материала вследствие деформирования, термического, химического воздействия или эксплуатационной нагрузки. Отметим также, что значительную часть таких повреждений на ранних стадиях деформирования составляют такие несплошности структуры, как поры и микротрещины.

Теоретически данный вывод означает, что в двух объектах одинаковой конфигурации и с одинаковым полем повреждений при соблюдении одинаковых условий нагружения должна наблюдаться одинаковая во времени и пространстве картина распределения сигналов АЭ.

На рис. 5 представлены результаты испытаний на растяжение сварных образцов из стали 17ГС, выполненных ручным способом электродом

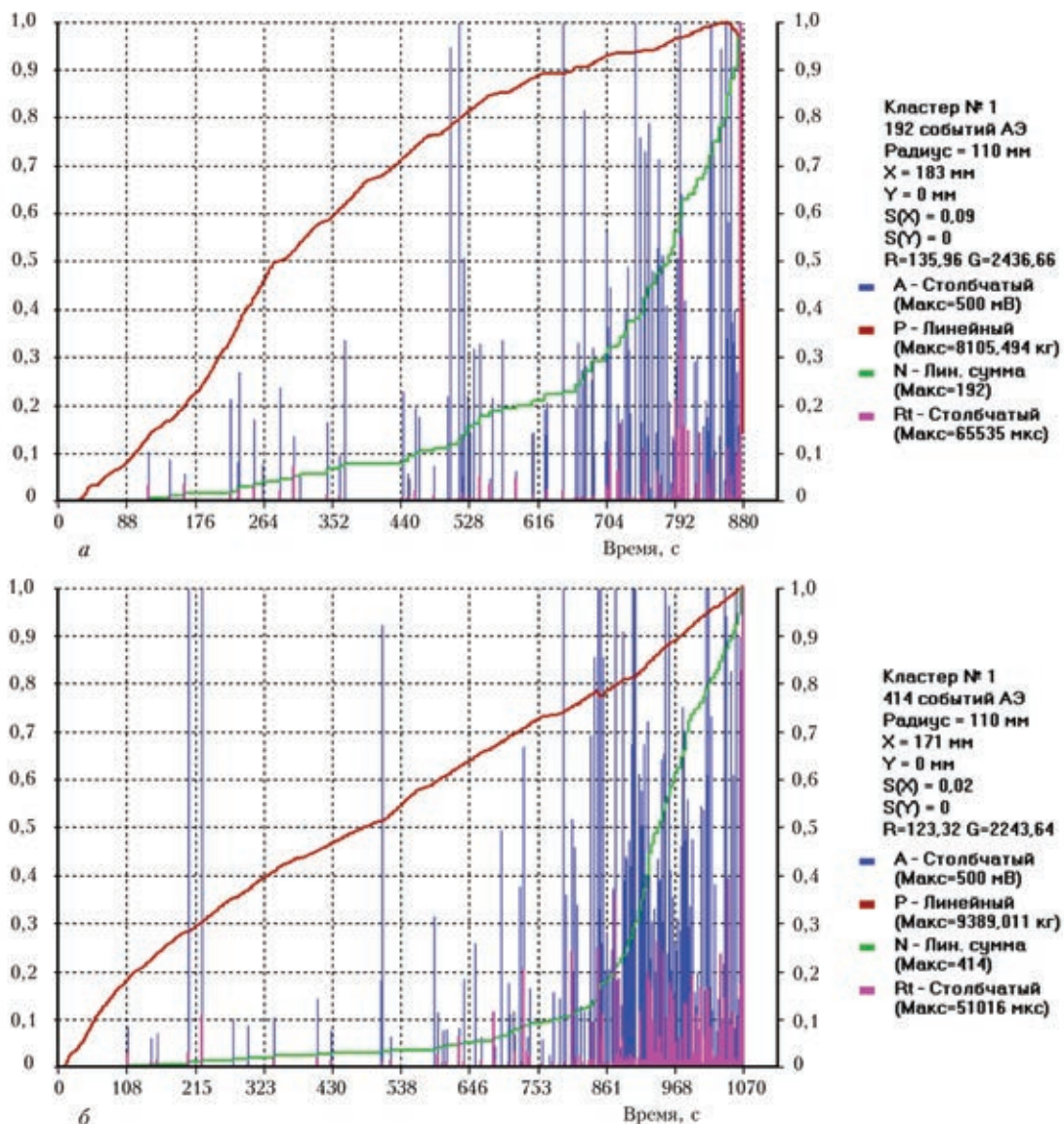


Рис. 5. Результаты испытаний на растяжение образцов из стали 17ГС: а – стыковое соединение со сваркой с двух сторон (тип G, D, B – на рис. 3); (описание параметров то же, что и на рис. 4)



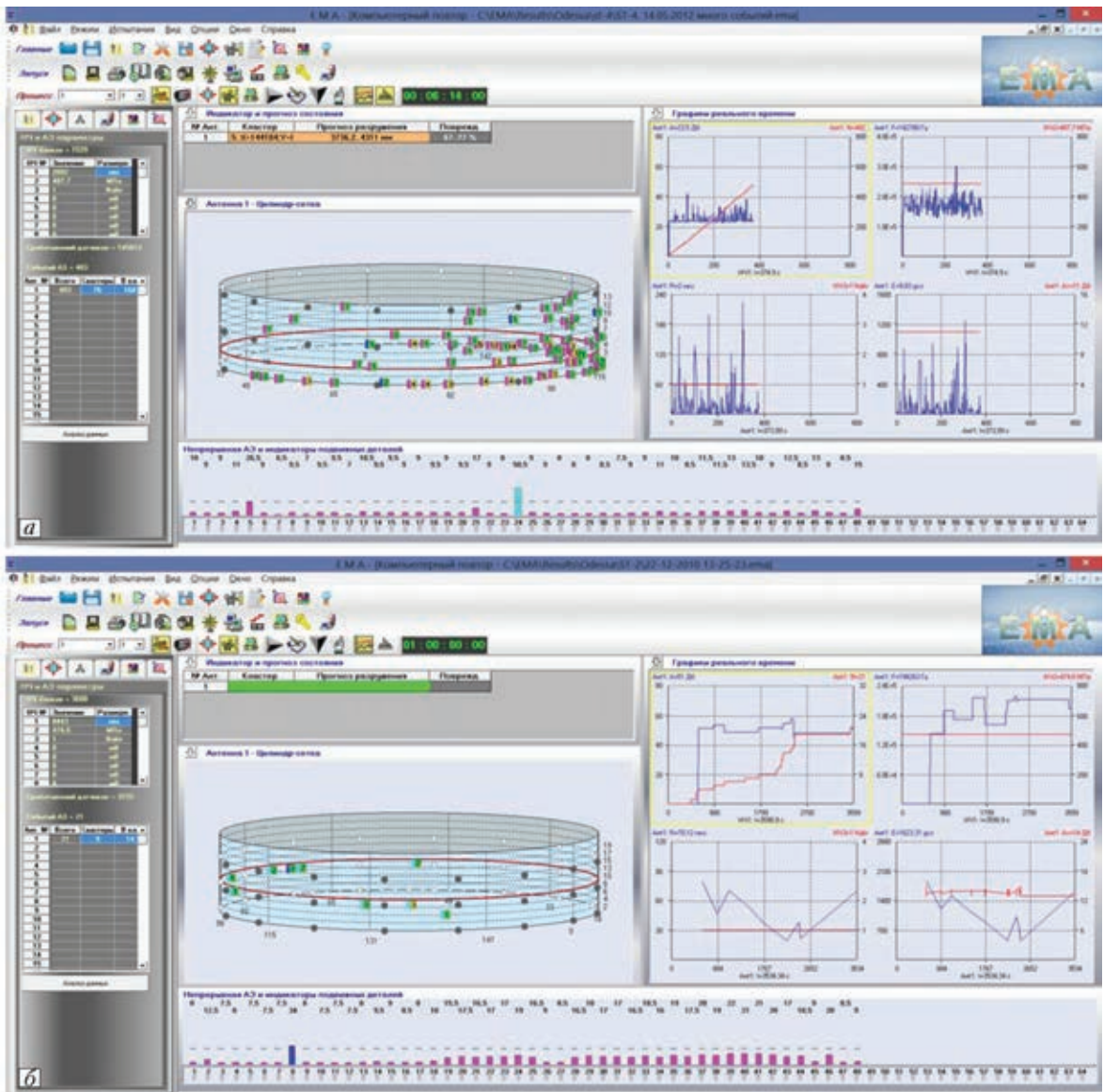


Рис. 6. Резервуар, наполненный жидкостью до уровня 7,5 м, контролируемая поверхность 3500 м<sup>2</sup>. Показано окно программы диагностической АЭ аппаратуры ЕМА 3.9 в момент очередного наблюдения. На цилиндрической поверхности резервуара видны АЭ события, зарегистрированные в данный момент времени (а). В следующий момент времени картина АЭ событий изменилась (б). Красной линией показан уровень налива жидкости

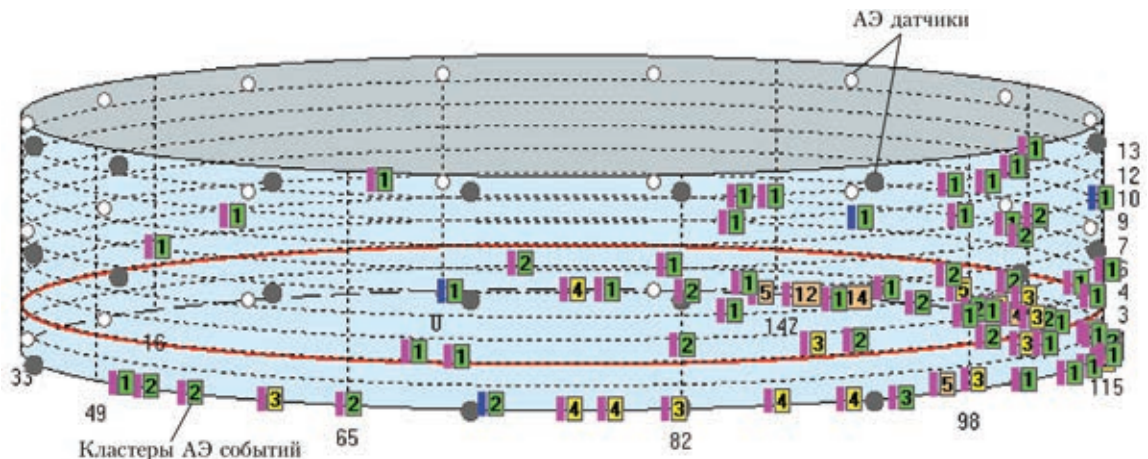


Рис. 7. Схематическое изображение боковой поверхности хранилища, представленного на рис. 6, а. Прямоугольниками с флажками показаны места расположения кластеров АЭ событий, возникших в данный момент времени. На флажках указано число событий в данном кластере. Цвет флажка условно градуирован по степени опасности от зеленого (не опасного) до красного. Цифрами по горизонтали указаны координаты по окружности хранилища, по вертикали с правой стороны – высота в метрах, красной линией – уровень налива (на рис. 6, б обозначения те же)



УОНИ-13/45. Режим сварки – ток  $I = 210 \dots 220$  А (сталь толщиной 8 мм). Сварка встык выполнялась с неполным проплавлением, что оставляло в средней части по толщине пластины зазор величиной 4 мм (рис. 3, образцы *G, D, E*). Для сварных соединений были взяты пластины, вырезанные из труб газопровода, проработавшего 36 лет. Как и для большинства металлов, проработавших определенное количество лет, в данном случае наблюдается значительно меньшее количество АЭ событий до вполне определенного момента, когда, очевидно, перестал действовать эффект Кайзера и АЭ стала фиксироваться в полном соответствии с активностью развивающихся дефектов. Следует также отметить, что АЭ события в рассматриваемом случае отличаются от событий в сплошных образцах. Это объясняется как наличием собственно сварного шва, так и наличием концентратора – сварного соединения. Проведенные эксперименты со сварными швами с небольшим тепловложением не позволили полностью восстановить упругие свойства металла после длительной эксплуатации, что и привело к частичному срабатыванию эффекта Кайзера. Распределение АЭ событий отражает суммарную картину воздействия на данный материал наработки и сварки.

Процесс разрушения конструкций интенсифицируют также остаточные напряжения, всегда имеющиеся в сварных конструкциях. Следует отметить неоднородность распределения остаточных напряжений, особенно в области сварного соединения. Изменения в структуре шва и околошовной зоны, возникающие при сварке, приводят к изменению размеров кристаллов в районе шва. Межкристаллитное проскальзывание приводит к перераспределению напряжений первого рода за счет появления напряжений второго рода, связанных с движением кристаллов. Существенное искажение поля напряжений в районе сварного шва негативно отражается на развитии микроразрушения в металле.

Сказанное выше позволяет сделать акцент на некоторых практических вопросах АЭ контроля. В частности, анализируя проведенные исследования, можно сделать ошибочное предположение, что достаточно исключить регистрацию первого этапа разрушения ввиду его незначительности, чтобы алгоритм оценки состояния материала не был искажен большим количеством «малозначащей» информации. Однако на практике ситуация обстоит иначе. Несмотря на то, что разрушение на микроуровне очень часто замедляется и развитие трещин останавливается, все же нет уверенности в том, что процесс не возобновится именно в местах появления первичных очагов разрушения, особенно после длительного периода эксплуатации. Появление этих очагов должно служить

объектом внимания контролера, места появления АЭ активности должны быть зафиксированы, их следует учитывать при общем анализе работоспособности конструкции. Данная особенность была замечена, в частности, при контроле резервуаров для хранения жидких продуктов.

Каждый контролируемый участок материала конструкции имеет индивидуальные акустические свойства, в связи с чем обычная статистическая обработка информации затруднена. Для оценки состояния материала по данным АЭ требуется кластерный анализ, объединяющий разрозненные в пространстве и времени события АЭ по некоторым заданным признакам, и индивидуальная обработка информации из каждого кластера. Особенно важно это для сильно зашумленных промышленных объектов, где акустический фон от действия оборудования может достигать уровня сигналов АЭ или даже превышать его.

Эффект прекращения АЭ в материалах при повторном нагружении (эффект Кайзера) во многих случаях на практике в чистом виде не проявляется. Эта особенность требует разработки специальных алгоритмов обработки информации для распознавания реального хода процесса разрушения материала. Здесь, помимо электронных средств выделения полезного сигнала из общего потока АЭ информации, все более актуальными становятся математические методы обработки АЭ данных, основанные как на анализе отдельных информативных параметров сигналов АЭ, так и на укрупненной оценке получаемой информационной картины в целом с применением разнообразных статистических методов или распознавания.

При контроле материала действующих конструкций методом АЭ периодически возникают ситуации, когда на основании текущей информации трудно сделать вывод о работоспособности материала, тем более оценить ее с точки зрения влияния на несущую способность конструкции спустя некоторое время. Это связано, в первую очередь, со вторичными процессами по отношению к основным процессам разрушения, протекающим в материалах от действия рабочих нагрузок. Например, на рис. 6 представлены два момента контроля крупногабаритного резервуара для хранения жидких продуктов. В первом случае (рис. 6, *a*), акустическая активность достаточно высока. Видны кластеры различных уровней предупреждения, разбросанные по всей поверхности резервуара (контролируемая поверхность более 3000 м<sup>2</sup>) – от зеленого до красного. Однако следует отметить, что данная картина являлась временной, характеризующей лишь ситуацию, сложившуюся в данный момент времени. Как было сказано выше, чувствительность аппаратуры достаточно высока и позволяет регистрировать





АЭ события при микроперемещениях в развитии дефектов. Уже в следующий момент времени картина может резко измениться. Так, на рис. 6, б события АЭ исчезли, а общий показатель уровня опасности приобрел допустимый зеленый цвет, в верхней части окна над схемой корпуса резервуара видна зеленая полоса индикатора опасности, показывающая, что резервуар работает в нормальном, штатном режиме.

Для эффективного анализа таких ситуаций с точки зрения их влияния на кратковременную и долговременную несущую способность конструкций требуется обеспечить ряд необходимых условий, к которым относятся:

- быстродействующая и высокочувствительная аппаратура АЭ контроля;
- программное обеспечение, реализующее в реальном времени фильтрацию, кластеризацию, кратковременный и долговременный статистический анализ получаемых данных;
- база данных по акустическим свойствам материала конструкции;
- накопление данных по АЭ активности конструкции, опасным местам и возникновению критических ситуаций в процессе непрерывного мониторинга конструкции;
- разработка и использование математических методов многопараметрического анализа данных в условиях нестационарных случайных процессов и при наличии помех.

Системы АЭ контроля, обеспечивающие большую часть приведенных выше условий, в настоящее время созданы и постоянно совершенствуются прежде всего с точки зрения обработки, анализа и интерпретации получаемых данных. На рис. 6 справа информационное окно последней версии диагностической системы ЕМА 3.9. Аппаратура и программное обеспечение используют новейшие достижения в области АЭ технологии, в области исследований разрушения материалов с применением метода АЭ, в компьютерных технологиях [7, 8, 15].

Показательным является окно программы в процессе непрерывного мониторинга резервуара. В центральной части окна показана схема контролируемого резервуара, на боковой поверхности которого в процессе эксплуатации отражаются все АЭ события в принятом для классификации опасности цвете. Цвета приняты от зеленого – «не опасно» до красного – наивысшая степень опасности.

В правой части окна отображена в графической форме мгновенная, соответствующая данному моменту времени информация по основным параметрам контроля. В верхнюю часть окна выведены основные параметры, управляющие отображением и обработкой информации. Левая часть окна позволяет оператору получить

дополнительную информацию о параметрах контроля в процессе его выполнения. На схеме резервуара черными точками показаны места установки АЭ датчиков.

Простота управления режимами контроля и в то же время достаточно полный охват основных функций управления позволяют сравнительно легко освоить работу этой техники и получать на практике удовлетворительные результаты, вплоть до прогнозирования разрушающей нагрузки и остаточного ресурса материала конструкций.

Отметим также, что непрерывное получение и анализ АЭ информации, оценка состояния материалов в реальном времени, предупреждение об опасности, накопление статистических данных и расчет ресурса конструкций осуществляются системами мониторинга в полностью автоматическом режиме, и после первоначальной настройки в процессе запуска уже не требуют вмешательства человека в свою работу [16]. В процессе мониторинга происходит набор данных, который позволяет со временем детальнее учитывать многие из рассмотренных в данной статье вопросов и повышать, таким образом, точность оценки состояния материалов по данным АЭ.

### Выводы

Дефекты структуры материалов, по данным АЭ исследований [1-7, 9-14, 19] начинают формироваться на микроуровне, как правило, за счет перемещения групп дислокаций и внутренних физико-химических процессов, непрерывно протекающих в металлах. Микротрещины и поры постепенно растут, образуя сеть, в результате чего пластические свойства материала постепенно изменяются.

АЭ информация, связанная с перемещением дислокаций, не всегда свидетельствует о критическом состоянии материала, например, в случае, когда развитие трещин в материале блокируется его пластическими свойствами. Процессы разрушения на микроуровне при этом протекают незначительный период времени. В дальнейшем АЭ информация может исчезнуть с информационного экрана или резко уменьшиться, показывая, что развитие зарегистрированных ранее дефектов замедлилось или остановилось. В то же время область появления этой информации, ее количественные характеристики могут быть исходными показателями при оценке возможности последующего с течением времени разрушения в этой области.

При одинаковых условиях нагружения распределение АЭ событий в материале того же самого объекта неравномерно и в каждой точке контроля различно. Для двух различных объектов одинаковой конфигурации, находящихся в аналогичных температурно-силовых условиях, также





характерно отличие АЭ картины. Данное явление, вероятнее всего, объясняется разницей в полях имеющихся и развивающихся повреждений. Соответственно, логично предположить, что при полностью идентичных полях повреждений и температурно-силовых условий будет зарегистрирована идентичная картина АЭ в материале.

Возникающий в материалах эффект прекращения АЭ при повторном нагружении (эффект Кайзера), во многих случаях на практике «в чистом виде» не проявляется. Для распознавания реального хода процесса разрушения материала с учетом эффекта Кайзера необходима разработка специальных методик и алгоритмов обработки информации.

Рассмотренные особенности формирования АЭ событий при разрушении образцов растяжением свидетельствуют о необходимости разработки специфических алгоритмов и программ для их анализа и учета в основном алгоритме контроля состояния материала с тем, чтобы можно было выделить на фоне значительного количества АЭ информации ту, которая наилучшим способом может характеризовать развивающиеся в материале процессы.

Для получения более полной АЭ информации, возникающей при разрушении материалов, целесообразно наряду с лабораторными исследованиями выполнять также исследования при непрерывном мониторинге эксплуатирующихся конструкций.

1. Ионов В. Н., Селиванов В. В. Динамика разрушения деформируемого тела. – М.: Машиностроение, 1987. – 272 с.
2. Смилян О. Д. Распространение водорода в зоне деформационных трещин // Журн. физ. химии. – 1980. – 54, № 11. – С. 2913–2917.
3. Оценка состояния материалов с использованием метода акустической эмиссии. Перспективы и проблемы / Е. В. Черняева, Д. И. Галкин, Д. Л. Мерсон и др. // Дефектоскопия. – 2013. – № 3. – С. 3–14.
4. Акустическая эмиссия и ресурс конструкций: Теория, методы, технологии, средства, применение / Б. Е. Патон, Л. М. Лобанов, А. Я. Недосека и др. – Киев: Индпром, 2012. – 312 с.
5. Сыромятникова А. С. Деградация физико-механического состояния металла труб магистрального газопровода при длительной эксплуатации в условиях низких клима-

тических температур // Тр. VI Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата. 24–29 июня 2013 г. (к 75-летию акад. В. П. Ларионова). – Т.2. – Якутск: ЯНЦ СО РАН, 2013. – 332 с. – С. 38–44.

6. Панасюк В. В., Андрейків А. Е., Партон В. З. Механика разрушения и прочность материалов: Справ. пособие: Т. 1. Основы механики разрушения. – Киев: Наук. думка, 1988. – 488 с.
7. Механіка руйнування і міцність матеріалів: довідн. посібник / Під заг. ред. В. В. Панасюка. – Т. 5. – Київ: Наук. думка, 2001. – 1134 с.
8. Недосека А. Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций / Под ред. Б. Е. Патона. – Киев: Индпром, 2008. – 815 с.
9. Скальський В. Р., Сімакович О. Г. Експериментальна акустико-емісійна оцінка зародження мікротріщин // Техн. діагностика і неразруш. контроль. – 2013. – № 1. – С. 35–38.
10. Broek D. Some contributions of electron fractography to the theory of fracture// International metallurgical reviews. – 1974. – 19. – P. 135–182.
11. Terelman A. S., Chow R. Acoustic emission testing and microcracking processes / American society for testing and materials. 1972. – Library of congress catalog card number; 72-75896. – P. 30–40.
12. Matsushita A., Endo I., Yoshida M. Criteria of solidification cracking of Al–Mg and Al–Si alloys by acoustic emission method // J. of the Japan institute of light metals. – 2012. – 62, № 3. – P. 104–108.
13. Frederick J. R., Felbeck D. K. Dislocation motion as a source of acoustic emission: American society for testing and materials. – 1972. Library of congress catalog card number; 72-75896. – P. 129–139.
14. Gillis P. P. Dislocation motions and acoustic emissions\\ i bid. 72-75896. – P. 20–29.
15. Недосека А. Я., Недосека С. А. Акустическая эмиссия и ресурс конструкций // Техн. диагностика и неразруш. контроль. – 2008. – № 2. – С. 5–19.
16. Десятирічний досвід впровадження безперервного акустико-емісійного моніторингу сховищ аміаку Одеського припортового заводу / О. С. Васильев, А. А. Грузд, А. О. Йолкін и др. // Хім. пром-сть України. – 2012. – № 3. – С. 43–51.
17. Недосека С. А. К стандартизации применения XML (extenseve markup language) в автоматизированных системах АЭ диагностики // Техн. диагностика и неразруш. контроль. – 2005. – № 2. – С. 9–16.
18. Скальський В. Р., Андрейків О. Є., Сергієнко О. М. Оцінка водневої пошкодженості матеріалів за амплітудами сигналів акустичної емісії // Там само. – 1999. – № 1. – С. 17–27.
19. Недосека А. Я., Недосека С. А. Об оценке надежности эксплуатирующихся конструкций (состояние вопроса и перспектива развития) // Там же. – 2010. – № 2. – С. 7–17.

The paper highlights some features of monitoring structure material fracture with application of acoustic emission method. Possible reasons for formation of damage field at early deformation stages are considered. It is shown that the high sensitivity of AE method and the associated recording of damage accumulated during fracture, in particular on microlevel, may lead to unambiguous conclusions on material state. Results of testing samples from materials in as-delivered conditions and after a considerable period of operation in structure service are given. Example of short-time testing of samples and continuous monitoring of structures in service is used to show that the influence of Keiser effect on the overall pattern of AE event distribution cannot always be revealed. The need to allow for the revealed features in monitoring industrial facilities is emphasized. 19 References, 7 Figures.

*Key words: acoustic emission, materials fracture, Keiser effect*

*Поступила в редакцию  
25.10.2013*