

Ю. Г. БЕЗЫМЯННЫЙ, д-р техн. наук, зав. отделом ИПМ им. И.Н.Францевича НАН Украины, Киев;
Д. В. ГАЛАНЕНКО, соискатель НТУУ "КПИ", Киев;
А. Н. КОЛЕСНИКОВ, н. сотр. ИПМ им. И.Н. Францевича НАН Украины, Киев

СИСТЕМА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ПРОЦЕССЕ РЕЗОНАНСНОГО НАГРУЖЕНИЯ ОБРАЗЦА

Описана система для выявления сигналов акустической эмиссии в процессе резонансного нагружения образцов. Показано, что настройка параметров системы на подавление собственных шумов нагружающей установки позволяет надёжно идентифицировать и выявлять сигналы акустической эмиссии, сопутствующие разрушению материала. Возможности метода подтверждены усталостными испытаниями классического материала Ст3.

Описана система для виявлення сигналів акустичної емісії в процесі резонансного навантаження зразків. Показано, що налаштування параметрів системи подавлення власних шумів навантажувальної установки дозволяє надійно ідентифікувати і виявляти сигнали акустичної емісії, супутні руйнування матеріалу. Можливості методу підтверджені втомним випробуваннями класичного матеріалу Ст3.

A system for detecting acoustic emission signals in a resonant loading of samples. It is shown that setting the parameters of the system to suppress the noise of loading setup allows you to securely identify and detect the signals of acoustic emission accompanying fracture of the material. The possibilities of the method are confirmed fatigue tests of the classical material St3.

Введение. Метод АЭ широко используют для исследования и контроля за развивающимися дефектами в материале при его деформировании. Ограничения применения метода связаны с маскированием информативного сигнала АЭ шумовой помехой. Поэтому использование метода в условиях помех предполагает применение специальных подходов. [1]

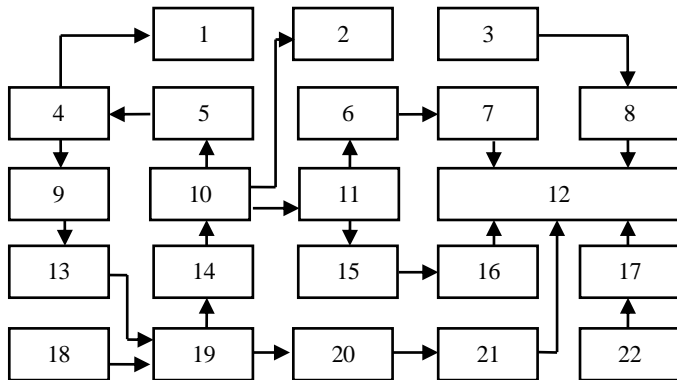
При многоцикловых усталостных испытаниях материалов на больших базах нагружения используют высокочастотный резонансный режим колебаний образцов в мощных акустических полях [2]. Частота колебаний может достигать десятков кГц. Процесс усталости сопровождается накоплением дефектов в материале, зарождение и развитие которых приводит к появлению сигналов АЭ [1]. Поэтому сигналы АЭ хорошо отражают этот процесс и могут быть использованы для его исследования и контроля при условии их выделения на фоне мощного акустического поля и других помех, сопровождающих работу установки для циклического нагружения образца.

В предыдущих работах [3,4] нами было показано, что использование специальных методов развязки мощного акустического поля, нагружающего образец, и маломощного, проводящего сигналы АЭ, а также адаптация

параметров современного оборудования АЭ-контроля к собственным шумам испытательной машины принципиально позволяют создать систему для выявления и идентификации сигналов АЭ в условиях высокочастотного резонансного деформирования образцов. Однако остаётся проблема появления случайных одиночных помех, которые усложняют интерпретацию поступающих на вход системы сигналов и не позволяют установить однозначную связь между параметрами АЭ и усталостным разрушением материала.

Поэтому, с точки зрения развития рассматриваемой системы контроля, представляет интерес возможность однозначной идентификации помех в принимаемом системой сигнале, выделение их из полезного сигнала и, таким образом, повышение надёжности выявления именно сигналов АЭ с последующей интерпретацией этих сигналов для оценки усталостной повреждённости материала. Эту задачу решали в настоящей работе.

1. Описание и настройки системы. Для анализа возможностей системы в плане решения поставленной задачи была создана исследовательская лабораторная установка, позволяющая обрабатывать параметры сигналов, поступающих в процессе резонансного нагружения образцов. Структурная схема установки показана на рис. 1.



1 – частотомер; 2 – измеритель амплитуды; 3 – датчик 4; 4 – задающий генератор; 5 – обратная связь; 6 – датчик 1; 7 – измерительный канал 1; 8 – контрольный канал 2; 9 – предварительный усилитель; 10 – образец; 11 – волновод 2; 12 – ГАЛС-1; 13 – мощный усилитель; 14 – волновод 1; 15 – датчик 2; 16 – измерительный канал 2; 17 – контрольный канал 3; 18 – блок подмагничивания; 19 – вибратор электродинамический; 20 – датчик 3; 21 – контрольный канал 1; 22 – датчик 5.

Рис. 1. Структурная схема установки.

В установке нагружение образца материала проводят в режиме вынужденных симметричных изгибных резонансных колебаний в соответствии с методиками работы [4]. Свойства материала, размеры и

форма образца определяют резонансную частоту его колебаний. Для формирования этой частоты используют генератор 4, а для контроля – частотомер 1. Мощное акустическое поле для возбуждения образца создают с помощью вибрационного электродинамического стенда ВЭДС-400 (см. поз. 9, 13, 18 и 19 на рис. 1) и вводят в образец с помощью волновода 1 (поз. 14), который одновременно служит согласующим устройством между вибростендом и образцом, а также концентратором напряжений. Обратная связь позволяет в процессе испытаний подстраивать частоту колебаний и уровень нагрузки образца. Этот уровень выбирают в зависимости от задачи испытаний и контролируют измерителем 2. Для развязки мощного акустического поля, возбуждающего образец, и маломощного акустического поля сигналов АЭ использован волновод 2 (поз. 11), описанный в [3]. Через этот волновод с помощью датчиков 1 (поз. 6) и 2 (поз. 15) информационных каналов 1 (поз. 7) и 2 (поз. 16) соответственно, осуществляли съём сигналов АЭ с образца. Два канала использовали для отработки местоположения датчиков на волноводе и повышения надёжности измерений. Для выявления акустических шумовых сигналов, создаваемых подвижными частями испытательного оборудования, использован датчик 3 (поз. 20), закреплённый на корпусе электродинамического вибратора 19, с последующим подключением к контрольному каналу 1 (поз. 21). Для выявления шумовых сигналов, обусловленных электромагнитными наводками, использованы датчики 4 (поз. 3) и 5 (поз. 22), расположенные в местах, близких к элементам вибростенда, в которых возбуждается электромагнитное поле. Эти датчики подключены к контрольным каналам 2 (поз. 8) и 3 (поз. 17) соответственно. Измерительные каналы 1, 2 и контрольные 1, 2, 3 подключены к каналам 1, 2, 3, 4, 5 комплекса дефектоскопического акустико-эмиссионного «ГАЛС-1» [5] соответственно. Комплекс позволял принимать и обрабатывать сигналы, поступающие на его вход.

При работе комплекса в режиме испытания материалов в информационных каналах во входном сигнале, кроме сигналов АЭ, сопровождающих разрушение материала в результате усталости, присутствует шумовая помеха. Эта помеха обусловлена следующими факторами [4]: работой подвижных элементов вибростенда [6]; присутствием высших гармоник в колебании образца; электромагнитными наводками, обусловленными работой элементов вибростенда в стационарном режиме и при переключении режимов; трением в местах крепления образцов, волноводов и информационных датчиков. Существенно уменьшить последнюю помеху [4] позволяет настройка систем крепления указанных элементов, которую обычно [2] проводят для обеспечения высокого к.п.д. передачи акустической энергии от вибростенда через волновод в образец. Полностью подавить все указанные помехи ранее не удавалось.

Для подавления этих помех были использованы параметры настройки каналов ГАЛС-1 [5]: коэффициент основного усиления, уровень

дискриминации, превышение плавающего порога, время усреднения шумов, максимальное время нарастания, время ожидания продолжения, максимальная длительность, мертвое время, режим мертвого времени, превышение уровня предыдущего сигнала, нижняя частота фильтра, верхняя частота фильтра. Указанные параметры выбирали экспериментально в процессе работы вибростенда в режиме нагружения образца таким образом, чтобы во всех приёмных каналах была подавлена шумовая составляющая. Результаты выбора этих параметров приведены в таблице.

Пример влияния настройки этих параметров на помехозащищённость приёмного тракта показан на рис. 2. Так, если нижнюю граничную частоту уменьшить до 100 кГц (рис. 2 а), то в приёмном сигнале появляются случайные одиночные всплески активностью в несколько единиц в районе 240 и 360 мкс. Сигнал порядка 15 мкс соответствует включению генератора, а 140 мкс – включению питания мощного усилителя. Для сравнения на рис. 2 б при нижней частоте 350 кГц сигналы включения генератора (порядка 600 мкс) и питания мощного усилителя (порядка 840 мкс) остались, но случайные шумы на вход каналов уже не поступают.

Таблица

Параметры настройки каналов ГАЛС-1

№ канала	1	2	3	4	5
Активность	вкл	вкл	вкл	вкл	вкл
Коэффициент основного усиления, дБ	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
Уровень дискриминации (порог), дБ	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0
Режим порога	фикс	фикс	фикс	фикс	фикс
Превышение плавающего порога, дБ	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Время усреднения шумов, мкс	1638	1638	1638	1638	1638
Максимальное время нарастания, мкс	1000	1000	1000	1000	1000
Время ожидания продолжения, мкс	100	100	100	100	100
Максимальная длительность, мкс	5000	5000	5000	5000	5000
Мертвое время, мкс	5000	5000	5000	5000	5000
Режим мертвого времени	умное	умное	умное	умное	умное
Превышение, дБ	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0
Нижняя частота фильтра, кГц	350	350	350	350	350
Верхняя частота фильтра, кГц	700	700	700	700	700

Использование указанных настроек обеспечило полное подавление стационарной шумовой помехи, сопутствующей испытаниям образцов на усталость, однако при этом произошло уменьшение чувствительности измерительных каналов к сигналам АЭ.

Чувствительность информационных каналов проверяли стандартным способом – имитатором Су-Нильсена. Были проведены по 5 словес гриффеля: на образце в предполагаемом месте излома, на волноводе рядом с заделкой образца, на волноводе рядом с датчиками. Результаты проверки показаны на рис. 3.

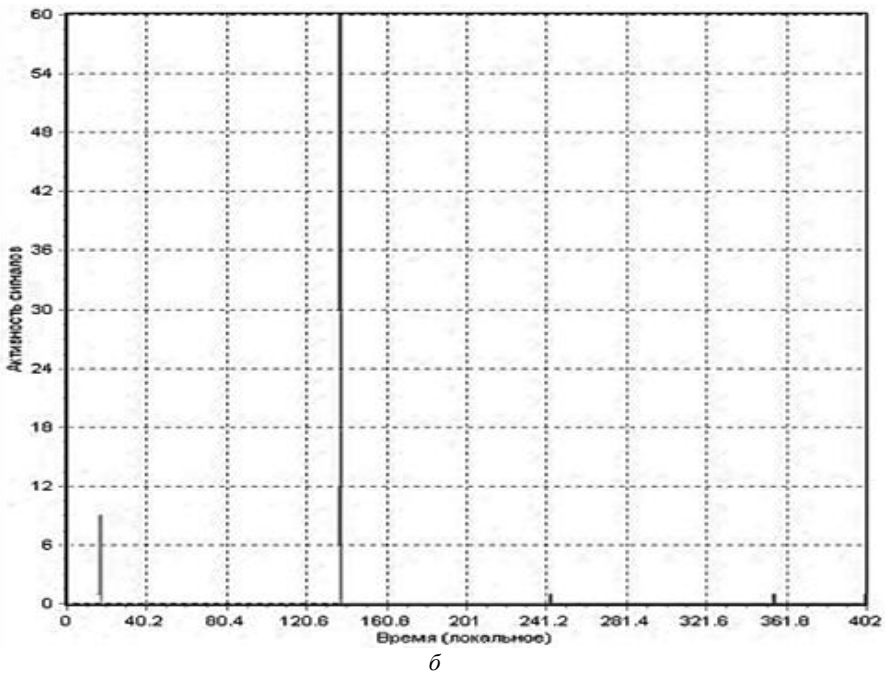
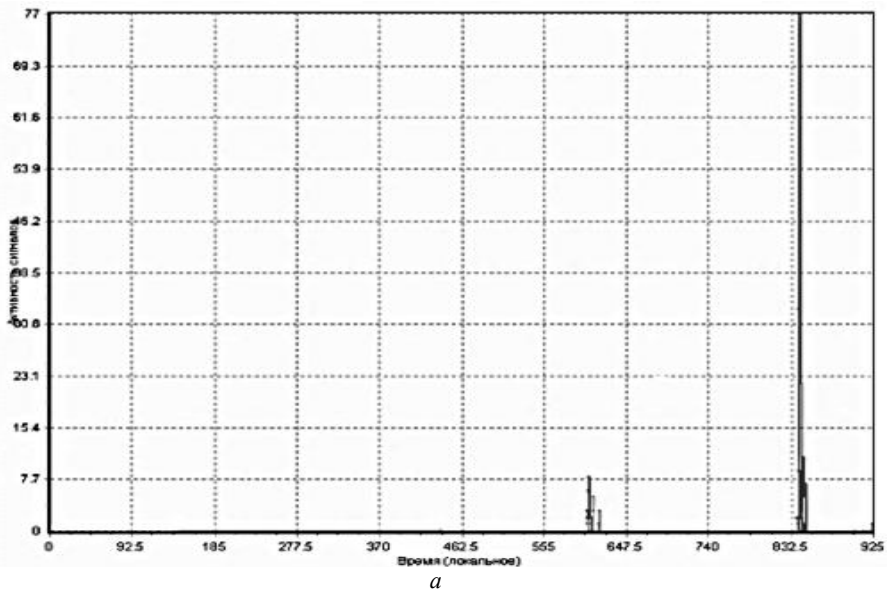


Рис. 2. Зависимость активности входных сигналов от времени при нижней частоте 100 (а) и 350 (б) кГц.

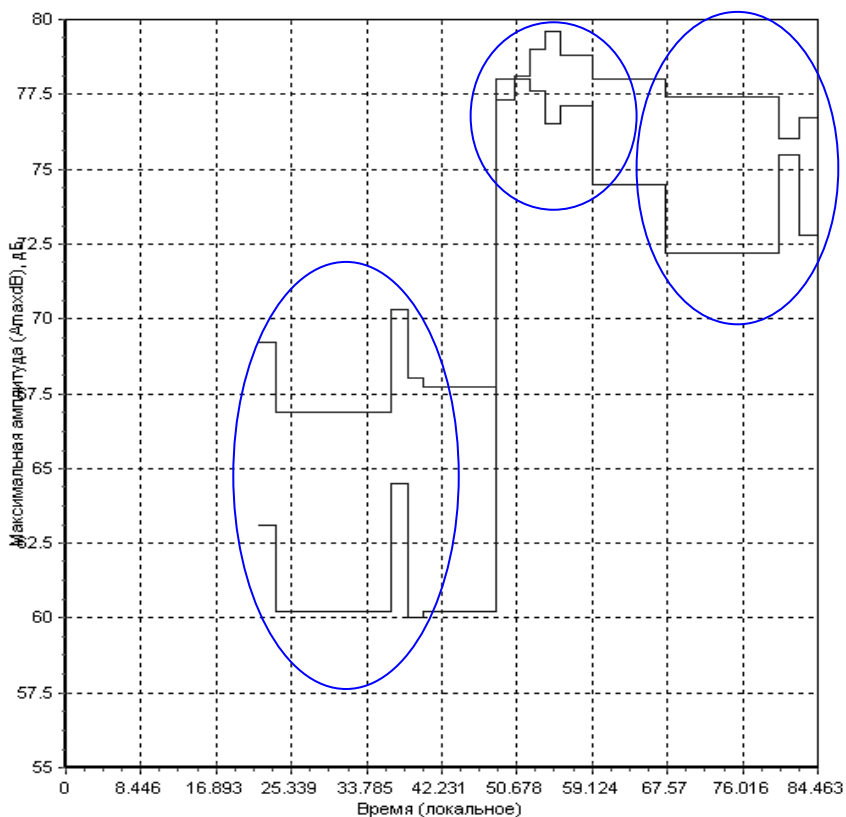


Рис. 3. Зависимость максимальной амплитуды от времени при разломе грифеля в трёх местах (зоны, обведенные эллипсами, слева направо): на образце в предполагаемом месте излома, на волноводе рядом с заделкой образца, на волноводе рядом с датчиками.

Из рис. 3 видно, что при выбранных настройках сигналы АЭ уверенно регистрируются прибором. При этом переход от образца к волноводу уменьшает сигнал на 10-12 дБ, а местоположение датчика на волноводе влияет на уровень сигнала в пределах 5 дБ, что не превышает разброс уровня сигнала при разломе грифеля.

Таким образом, выбранная комбинация настроек параметров приёмного тракта прибора позволила подавить стационарные шумовые помехи вибростенда, нагружающего образец. Помехи, возникающие при переключении режимов работы вибростенда в стационарном режиме испытаний отсутствуют. Помимо этого, они надёжно фиксируются

контрольными каналами, могут быть идентифицированы и выделены из полезного сигнала.

В результате проведенных исследований была предложена система для анализа сигналов АЭ в процессе резонансного нагружения образцов. От описанной (см. рис.1) лабораторной установки она отличается отсутствием третьего контрольного канала. Внешний вид этой системы показан на рис. 4.



Рис. 4. Система для анализа сигналов АЭ в процессе резонансного нагружения образцов.

2. Результаты экспериментальных исследований и их анализ.

Работоспособность системы была проверена при испытании на усталость образца материала из Ст3. Образец представлял собой стержень с прямоугольным сечением малой толщины. Размеры и форма образца позволяли проводить его нагружение в резонансном режиме на второй форме изгибных колебаний. Для увеличения уровня локальной нагрузки в месте наибольших напряжений по оси образца был сделан концентратор в виде отверстия и пропила напротив него.

В процессе накопления усталостных повреждений в образце с помощью прибора ГАЛС-1 контролировали следующие параметры сигналов АЭ: активность, максимальную амплитуду, скорость счёта и энергию. Разрушение материала при развитии усталостной трещины контролировали по уменьшению резонансной частоты колебаний образца.

Результаты эксперимента представлены на рис. 5-9. Как видно из этих рисунков, каждый из исследуемых параметров сигналов АЭ уверенно фиксировался не только на стадии развития макротрещины, но и на более ранних этапах разрушения материала.

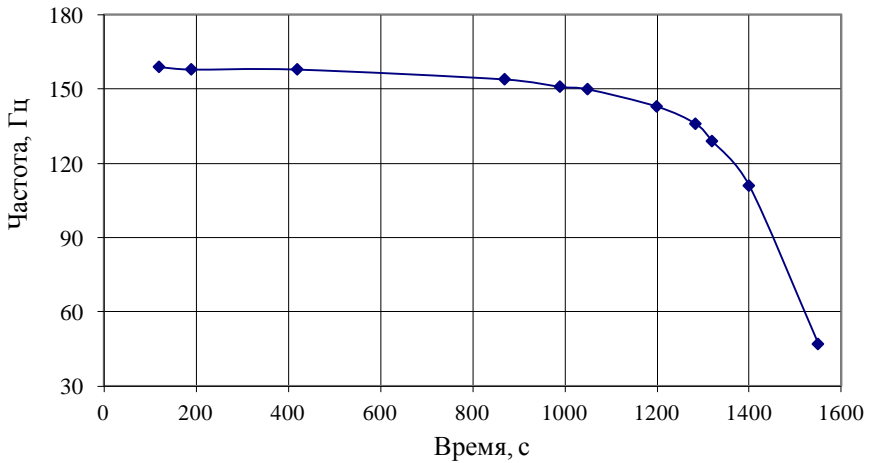


Рис. 5. Зависимость резонансной частоты от времени нагружения образца.

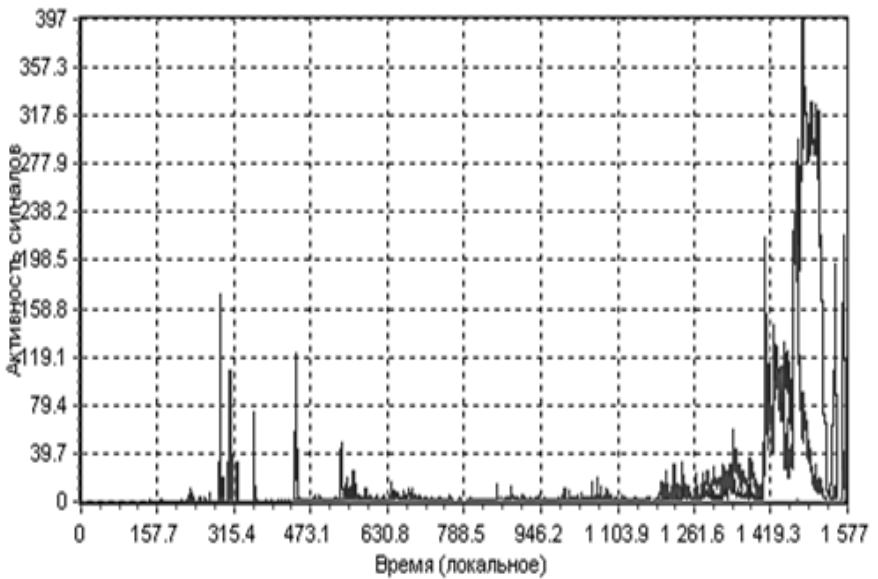


Рис. 6. Зависимость активности сигналов АЭ от времени нагружения образца.

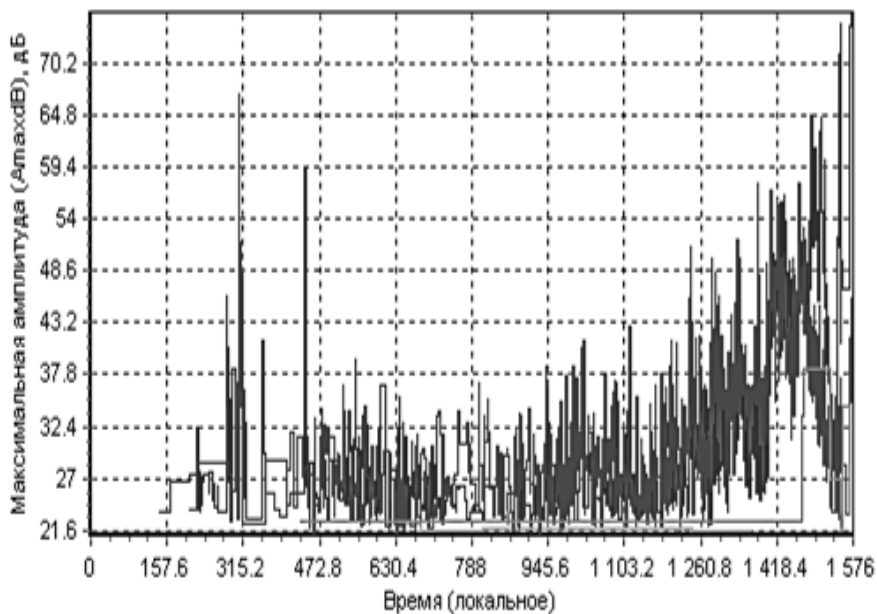


Рис. 7. Зависимость максимальной амплитуды сигналов АЭ от времени нагружения образца

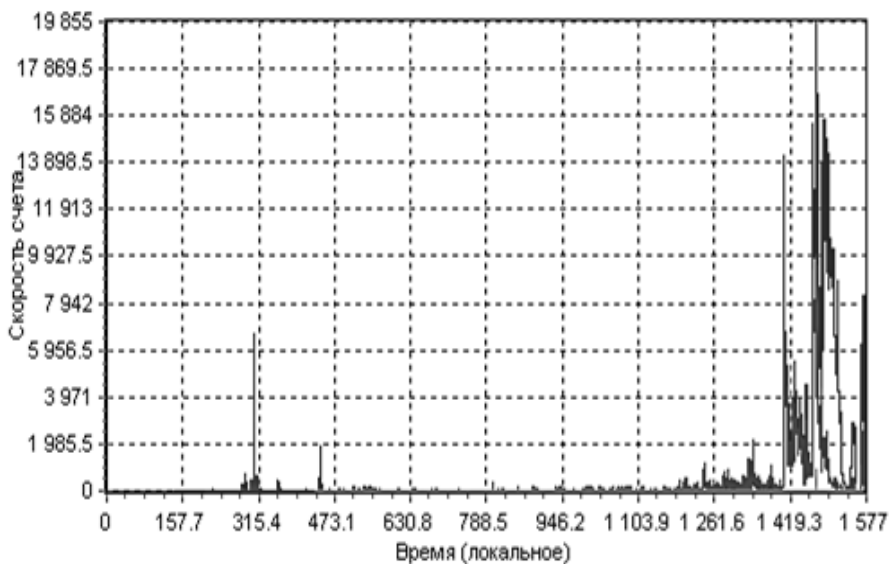


Рис. 8. Зависимость скорости счёта сигналов АЭ от времени нагружения образца.

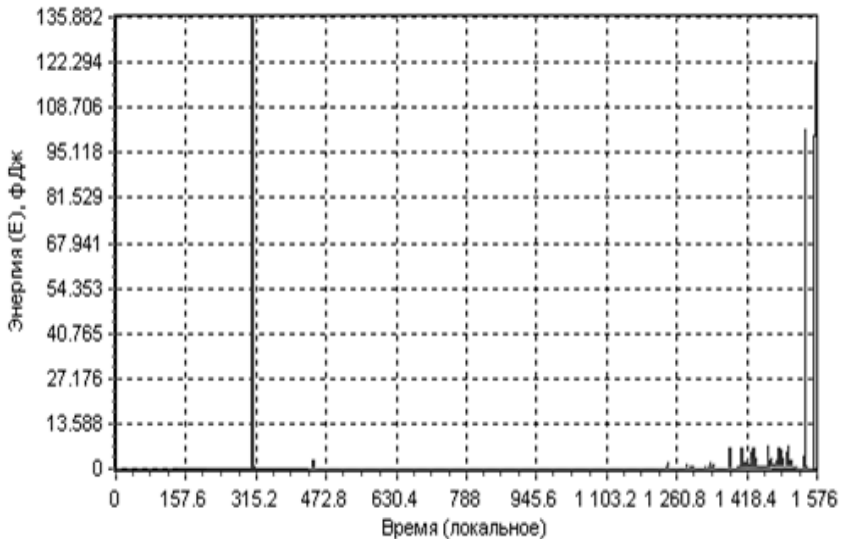


Рис. 9. Зависимость энергии сигналов АЭ от времени нагружения образца.

Выводы. В результате проведенных исследований предложена система для выявления сигналов акустической эмиссии в процессе резонансного нагружения образцов. Работоспособность системы показана на примере испытания образцов из Ст3. Таким образом расширены возможности метода АЭ применительно к исследованию накопления усталостных повреждений при высокочастотном деформировании материала.

Дальнейшее развитие метода может быть связано с исследованием особенностей отражения сигналами АЭ усталостного повреждения в различных частотных диапазонах.

Список литературы: 1. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / Под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2003. – 656 с. 2. Усталостные испытания на высоких частотах нагружения / Под ред. В.А. Кузьменко. – К.: Наук. думка, 1979. 336 с. 3. Безьямный Ю.Г. Развитие акустико-эмиссионного метода для исследования процесса многоциклового усталости материалов. // Ю.Г. Безьямный, Д.В. Галаненко // Фізичні методи та засоби контролю середовищ матеріалів та виробів. (Серія). Випуск 13: Теорія і практика неруйнівного контролю матеріалів і конструкцій. – 36. наук. праць. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України. – 2008. – 288с. – С.100-106. 4. Безьямный Ю.Г. Адаптация метода акустической эмиссии к усталостным испытаниям материалов на высоких частотах нагружения // Ю.Г. Безьямный, Д.В. Галаненко // Фізичні методи та засоби контролю середовищ матеріалів та виробів. (Серія). Випуск 14: Теорія і практика неруйнівного контролю матеріалів і конструкцій. – 36. наук. праць. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України. – 2009. – С.29-35. 5. Комплекс дефектоскопический акустико-эмиссионный «ГАЛС-1». Руководство по эксплуатации ГАЛС-1.32828482.001.07РЭ. ЗАО «УкрНИИ НК». Киев, 2007. 6. Вибрационный электродинамический стенд ВЭДС-400А. Паспорт. Таганрог, 1985.

Надійшла до редакції 15.04.12