ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫХ СИГНАЛОВ

В. Н. Костюков, А. П. Науменко, С. Н. Бойченко

ООО НПЦ «Динамика», г. Омск

Системы мониторинга технического состояния в реальном времени объектов по параметрам акустико-эмиссионных сигналов (АЭ) требуют применения гибких алгоритмов выбора параметров выделения АЭ импульсов. Поэтому исследование характеристик АЭ сигналов, генерируемых объектами в условиях, приближенных к реальным механизмам разрушения, является актуальной задачей.

Исходными для анализа характеристик сигналов послужили данные, полученные с помощью переносной АЭ системы контроля при проведении гидроиспытаний газового баллона БГА 190 специалистами НТК «Криогенная техника» (г. Омск) совместно с группой АЭ контроля НПЦ «Динамика». В процессе контроля фиксировались параметры АЭ импульсов и сигналы. Схема установки датчиков приведена на рис. 1.

Характеристики объекта контроля (баллон газовый БГА 190):

1. Рабочее давление .....16 кг/см^2;
2. Испытательное давление .....25 кг/см^2;
3. Емкость .....0,2 м^3;
4. Длина цилиндрической части обечайки .....730 мм;
5. Диаметр .....500 мм;
6. Материал обечайки и днища 09Г2С;
7. Толщина обечайки и днища .....5 мм;
8. Затухание по результатам калибровки .....8 дБ/м.

При анализе АЭ сигналов приняты следующие обозначения: T – время, с; Ch – канал; A – амплитуда сигнала, дБ; D – длительность сигнала, мкс; E – энергетический параметр, мВ·мс; C – число превышений порогового уровня или счет; R – время регистрации максимальной амплитуды сигнала относительно момента начала сигнала; ASL – среднее значение суперпозиции сигнала и шума, усреднение осуществляется за интервал времени в 2 с; F – частота, кГц; Sum – суммарное число превышений порога по всем каналам с момента начала испытания.

По результатам визуального и измерительного контроля перед испытаниями был обнаружен подрез в центре продольного шва обечайки баллона глубиной 2 мм и длинной 8 мм. Также по результатам рентгеновского контроля было обнаружено скопление пор в месте соединения продольного шва обечайки и кольцевого шва приварки днища длинной 25 мм, максимальный диаметр пор составляет 4 мм. Оба этих дефекта являются недопустимыми для данного объекта контроля (ОК).

После нагружения удлинение продольного шва обечайки составило 15 % от первоначальной длины, а удлинение по периметру центральной части обечайки – около 25 % от первоначальной длины.

Процесс нагружения

Процесс нагружения проходил в четыре этапа. На рис. 2 приведены графики накопления АЭ импульсов по каждому каналу системы. Карта локации приведена на рис. 3.

1 этап

На первом этапе происходил набор давления до 50 кг/см^2 в течение 460 с, затем постоянное давление поддерживалось в течение 600 с. Набор давления характеризуется сигналами, имеющими малые амплитуды, длительности и энергию, которые связаны с шумом при заполнении сосуда, треском деревянного основания под сосудом. Сигнал, характеризующий разрушение основного металла, отражает отрыв одного угла металлической пластины, которая содержит данные о сосуде (амплитуды по всем датчикам больше 85 дБ, длительность предельная, энергия минимум на два порядка превышает среднее значение остальных сигналов, частота практически по всем каналам – 100 кГц). Пластина приварена по углам точечной сваркой. Полка характеризуется полным отсутствием значимых АЭ сигналов и наличием небольших сигналов с частотой 8 – 20 кГц. Предположительное происхождение – треск деревянного ложа под сосудом, который в этот момент воспринимался на слух.

2 этап

Происходит набор давления до 60 кг/см^2 в течение 216 с, который характеризуется вначале (в течение 60 с) резким увеличением активности АЭ, частично связанным с шумом при заполнении. Локация в этот момент фиксирует импульсы от пластины, от подреза, от горловины бака и от врезки, через которую ведется заполнение. Большое количество сигналов с амплитудами больше 70 дБ, семизначными значениями энергии и частотой 50 ± 10 кГц. Далее в течение 140 с АЭ активность уменьшается, и на 200 с (1256 с на рис. 2) – мощный сигнал от второго угла пластины. Во время набора давления зарегистрировано большое количество АЭ импульсов с амплитудами около 60 дБ.

3 этап

Набор давления 70 кг/см^2 в течение 279 с, в течение которого фиксировались незначительные импульсы. На 57 с (1338 с на рис. 2) зафиксирован мощный импульс в результате отрыва второго угла пластины.

4 этап

Набор давления до 78 кг/см^2 в течение 135 с, при этом резко возрастает АЭ активность. В течение 90 сек наблюдалось относительное затишье, затем последовала серия мощных импульсов, и на 132с (1692 с на рис. 2) в течение секунды произошло разрушение сварного шва врезки горловины в месте максимальной деформации (как выяснилось впоследствии, шов выполнен с конструктивным непроваром с внутренней стороны сосуда). Процесс резкого увеличения общего числа импульсов начался, примерно, за 40 – 50 с до отрыва. Таким образом, можно отметить, что практически весь процесс критического роста дефекта занял не более 1 мин. Затем произошло уменьшение давления вследствие выпуска воды через разрушенный шов. Локационная картина четвертого этапа нагружения представлена на рис. 3.

На локационной картине четвертого этапа нагружения надежно определяется источник вблизи горловины бака. Данные представлены без фильтрации, с этим связаны многочисленные источники от отраженных волн, распространившихся по воде. Несколько сигналов при-

надлежат дефектному месту соединения продольного шва обечайки и кольцевого шва приварки днища.

Статистические характеристики параметров АЭ сигналов

Первый этап

Для оценки отличий между значениями параметров АЭ сигналов разных этапов нагружения для каждого этапа определены среднестатистические значения параметров, построены гистограммы распределения амплитуды, энергетического параметра и длительности АЭ сигналов.

С целью нахождения взаимосвязи между значениями параметров АЭ сигналов определены коэффициенты корреляции между ними. Значения коэффициента корреляции между параметрами АЭ сигнала для первого этапа нагружения ОК приведены в табл. 1 для выборки из 31 сигнала. Видно, что наиболее хорошо между собой коррелируют такие параметры, как счет и частота – коэффициент корреляции равен 0,99; энергия и частота, энергия и счет – коэффициент корреляции равен 0,97.

Статистические характеристики АЭ сигналов для данного этапа нагружения ОК приведены в табл. 2.

Гистограмма распределения амплитуды АЭ сигналов для первого этапа нагружения (рис. 4) показывает, что максимум амплитудного распределения приходится на 71 дБ, а диапазон амплитуд первого этапа лежит в пределах от 65 до 90 дБ.

Из гистограмм распределения энергетических параметров и длительности (рис. 5 и 6), которые хорошо коррелируют с амплитудой АЭ сигналов, видно, что наибольшее количество сигналов на первом этапе приходится на значение энергетического параметра 25 мВ·мс. Диапазон изменения энергетических параметров находится в пределах от 25 до 400 мВ·мс. Наибольшее количество АЭ сигналов на первом этапе имеют длительность около 66 мс. Диапазон изменения длительности АЭ сигналов лежит в пределах от 27 до 66 мс.

Второй этап

Величины коэффициентов корреляции параметров АЭ сигналов для второго этапа нагружения ОК (табл. 3) для выборки из 55 сигналов показывают, что наиболее хорошо между собой коррелируют такие параметры, как счет и частота – коэффициент корреляции равен 0,97; энергия и счет, а также длительность и счет – коэффициент корреляции равен 0,96.

Путем анализа статистических характеристик параметров АЭ сигналов для второго этапа нагружения ОК (табл. 4) выявлено, что средние значения параметров на втором этапе заметно уменьшились по сравнению со средними значениями на первом этапе.

Из гистограммы распределения амплитуд для второго этапа нагружения ОК (рис. 7) следует, что максимум амплитуд сигналов АЭ на втором этапе, аналогично первому этапу, составляет 71 дБ. Диапазон амплитуд почти не изменился – от 62 до 87 дБ. Сравнивая гистограммы распределения энергетических параметров и длительностей АЭ сигналов для первого (рис. 5, 6) и второго этапа (рис. 8, 9), можно отметить, что картина распределения энергии и длительности для первого и второго этапов почти не изменилась.

Третий этап

Третий этап нагружения очень короткий и отличается малым количеством АЭ сигналов по сравнению с другими этапами. Из анализа значений коэффициента корреляции параметров АЭ сигналов (табл. 5), полученных по выборке из 17 сигналов, видно, что наиболее хо-

рошо между собой коррелируют такие параметры, как энергия и частота, энергия и счет – коэффициент корреляции равен 0,97.

Анализ статистических характеристик параметров АЭ сигналов третьего этапа нагружения ОК (табл. 6) показывает, что средние значения параметров на третьем этапе значительно изменились по сравнению со средними значениями на первом и втором этапах.

Анализируя гистограммы распределения амплитуд (рис. 10 – 12), энергетических параметров (рис. 11) и длительностей (рис. 12) АЭ сигналов третьего этапа нагружения ОК, можно отметить, что для третьего этапа характерны: очень узкий диапазон амплитуд (от 88 до 90 дБ) с наибольшим значением сигналов с амплитудой 89 дБ; небольшой диапазон изменения энергетических параметров сигналов (325 ÷ 425) мВ·мс; длительности сигналов составляют около 66 мс. Из сравнения гистограмм распределений для первых трех этапов видно, что третий этап нагружения ОК сильно отличается от первых по диапазону значений, по распределению и по расположению максимума.

Четвертый этап

Четвертый этап нагружения ОК характеризуется тем, что количество АЭ сигналов здесь значительно больше, чем на других этапах.

Из статистических характеристик параметров АЭ сигналов (табл. 7) видно, что наибольший коэффициент корреляции между счетом и частотой – 0,97. Коэффициент корреляции между амплитудой и частотой и длительностью и счетом составляет 0,81.

Анализ гистограммы распределения амплитуд АЭ сигналов (рис. 13) показывает, что гистограмма распределения амплитуды четвертого этапа нагружения ОК отличается самым большим диапазоном значений, а максимум распределения приходится на 69 дБ. Картина распределения длительности (рис. 15) почти такая же, как на третьем этапе с максимумом на 66 мс. Максимум распределения энергетических параметров (рис. 14) находится в начале диапазона и составляет 250 мВ·мс.

Пост-моделирование процесса нагружения

С помощью графической инструментальной среды программирования Agilent VEE проведено моделирование генерирования АЭ сигналов в процессе разрушения баллона. Полученный поток АЭ сигналов поступал на входы системы КОМПАКС-АЭ. В задачу моделирования входило исследование адекватности реагирования системы мониторинга на изменение амплитуды АЭ сигналов и автоматического изменения порогов дискриминации импульсов, а также проверка алгоритмов локации АЭ источников. Конечный результат представлен в виде карты локации, отображаемой на экране «Монитор» системы (рис. 16).

В результате моделирования выявлено, что импульсы с длительностью, близкой к 60 мс, практически отсутствовали на первых трех этапах, а на четвертом этапе нагружения появились лишь в момент возникновения утечки. Таким образом, автоматическое изменение порога дискриминации импульсов позволило существенно повысить достоверность выявления АЭ источников. Изменилось и распределение накопленного количества импульсов на карте локации – количество импульсов в зоне появления трещины выросло в несколько раз.

Выводы по результатам анализа

1. Коэффициенты корреляции параметров АЭ сигналов изменяются (табл. 9) в зависимости от этапа нагружения. Для всех этапов из всех параметров АЭ сигналов наиболее хорошо между собой коррелируют счет и частота – коэффициент корреляции по этапам меняется от 0,97 до 1.

2. Определены диапазоны амплитуд, энергетических параметров и длительностей, соответствующие стадиям разрушения ОК (табл. 10) и максимумы распределения значений параметров сигналов (табл. 11).

3. Из табл. 10 видно, что для четвертого этапа, когда происходит разрушение баллона, характерны в основном самые значительные диапазоны значений параметров АЭ сигналов. Амплитудные распределения значений этих параметров АЭ сигналов для первого и второго этапов отличаются незначительно.

4. Сигналы от дефекта, приведшего к разрушению, обнаружены за 20 – 25 кг/см^2 до момента разрушения. Следует принять во внимание «неправильный» график нагружения (слишком быстрый набор давления вследствие неисправной нагружающей аппаратуры). Сам процесс разрушения с момента четкой фиксации его аппаратурой длился 40 с. Постоянный сигнал в течение 1 с фиксируется лишь в момент разрушения, а перед этим зафиксирована серия сигналов с различной периодичностью (от 15 – 30 с в начале, до 2 – 5 с ближе к разрушению) и длительностью 60 – 80 мс.

5. Из анализа статистических характеристик параметров АЭ сигналов видно, что наиболее информативным параметром при определении процесса разрушения сосуда высокого давления является зависимость накопленного числа импульсов АЭ от нагрузки. Характерным является экспоненциальный характер графика накопленного числа импульсов. Именно четвертый этап нагружения (происходит разрушение баллона) отличается от других этапов наличием очень большого количества АЭ сигналов от дефекта со значительными величинами всех параметров. При критическом росте трещины возникают потоки АЭ импульсов, которые накладываются друг на друга, что приводит к выделению импульсов большой длительности. Поэтому для выделения таких потоков необходимо использовать автоматический алгоритм изменения порога дискриминации импульсов.

Табл. 1. Коэффициент корреляции параметров АЭ сигналов I этапа нагружения ОК

	A, дБ	*D*, мкс	*E*, мВ·мс	*C*	*R*	ASL	*F*, кГц
A, дБ	1						
D, мкс	0,80	1					
E, мВ·мс	0,92	0,85	1				
C	0,91	0,94	0,97	1			
R	0,79	0,75	0,88	0,86	1		
ASL	0,51	0,73	0,50	0,65	0,42	1	
F, кГц	0,92	0,92	0,97	0,99	0,86	0,65	1

Табл. 2. Статистические характеристики АЭ сигналов I этапа нагружения ОК

	A, дБ	D, мкс	E, мВ·мс	C	R	ASL	F, кГц
Среднее значение	75	49180	103	3088	2687	16,3	57,5
Стандартная ошибка	1,59	2006	29,1	375	785	1,3	4,66
Медиана	71,5	46394	9,03	2007	658	20,9	45,2
Мода	89,5	65024	–	–	28	8,9	–
Стандартное отклонение	8,86	11172	162	2090	4370,994	7,29	26
Дисперсия выборки	78	$1{,}25\cdot10^{8}$	$2{,}62\cdot10^{10}$	$4{,}3\cdot10^{6}$	$1{,}9\cdot10^{7}$	53,2	675
Эксцесс	–1,12	–1,04	–0,6123	–0,88	3,5	–2,0	–0,88
Асимметричность	0,69	0,25	1,18	0,94	2,0	–0,03	0,93
Интервал	25	37580	390	5723	17378	17,9	69,3
Минимум	64,5	27444	5,34	888	28	7,58	32,3
Максимум	89,5	65024	396	6611	17406	25,4	101,6

Табл. 3. Коэффициент корреляции параметров АЭ сигналов II этапа нагружения ОК

	A, дБ	D, мкс	E, мВ·мс	C	R	ASL	F, кГц
A, дБ	1						
D, мкс	0,76	1					
E, мВ·мс	0,74	0,87	1				
C	0,77	0,96	0,96	1			
R	–0,14	0,09	0,16	0,12	1		
ASL	0,48	0,63	0,78	0,74	0,13	1	
F, кГц	0,74	0,89	0,92	0,97	0,12	0,69	1

Табл. 4. Статистические характеристики параметров АЭ сигналов II этапа нагружения ОК

	A, дБ	*D*, мкс	*E*, мВ·мс	*C*	*R*	ASL	*F*, кГц
Среднее значение	72,65	42805	14,13	2429	658	21,4	52,8
Стандартная ошибка	0,67	1632	1,77	195	75,9	1,02	2,15
Медиана	72	40962	9,10	2061	558	21,8	52,18
Мода	70,5	65024	-	5350	162	17,1	82,27
Стандартное отклонение	5,00	12104	13,16	1445	562,9	7,59	16
Дисперсия выборки	25,02	1,4·108	1,73·108	2·106	316919	57,6	256
Эксцесс	0,23	-0,60	2,19	0,56	2,23	-0,11	0,06
Асимметричность	0,43	0,73	1,91	1,25	1,48	0,47	0,89
Интервал	25	39312	45,8	4986	2442	27,7	59
Минимум	62	25712	4,70	863	28	8,9	30,5
Максимум	87	65024	50,5	5849	2470	37	89,9

Табл. 5. Коэффициент корреляции параметров АЭ сигналов III этапа нагружения ОК

	A, дБ	*D*, мкс	*E*, мВ·мс	*C*	*R*	ASL	*F*, кГц
A, дБ	1						
D, мкс	–	1					
E, мВ·мс	0,36	–	1				
C	0,45	–	0,97	1			
R	0,29	–	0,61	0,74	1		
ASL	–0,26	–	–0,4,	–0,46	–0,54	1	
F, кГц	0,45	–	0,97	1	0,74	–0,46	1

Табл. 6. Статистические характеристики параметров АЭ сигналов III этапа нагружения ОК

	A, дБ	*D*, мкс	*E*, мВ·мс	*C*	*R*	ASL	*F*, кГц
Среднее значение	88,7	65024	361	6917	10710	9,42	106,3
Стандартная ошибка	0,14	0	11,1	76	2750	0,23	1,16
Медиана	89	65024	367	6957	10296	8,9	106,9
Мода	89	65024	–	–	–	8,9	–
Стандартное отклонение	0,39	0	29	201	7277	0,62	3,09
Дисперсия выборки	0,15	0	8,62·108	40486	5,2·107	0,38	9,6
Эксцесс	0,27	–	3,57	4,06	–0,84	–2,8	4,06
Асимметричность	–1,11	–	–1,57	–1,72	0,34	0,37	–1,72
Интервал	1	0	94,1	642	20210	1,16	9,87
Минимум	88	65024	302	6499	910	8,9	99,9
Максимум	89	65024	396	7141	21120	10	109

Табл. 7. Коэффициент корреляции параметров АЭ сигналов IV этапа нагружения ОК

	A, дБ	*D*, мкс	*E*, мВ·мс	*C*	*R*	ASL	*F*, кГц
A, дБ	1						
D, мкс	0,44	1					
E, мВ·мс	0,65	0,3	1				
C	0,76	0,81	0,64	1			
R	0,16	0,36	0,46	0,4	1		
ASL	0,32	0,52	0,52	0,61	0,72	1	
F, кГц	0,81	0,68	0,69	0,97	0,37	0,58	1

Табл. 8. Статистические характеристики параметров АЭ сигналов IV этапа нагружения ОК

	A, дБ	*D*, мкс	*E*, мВ·мс	*C*	*R*	ASL	*F*, кГц
Среднее значение	75	57221	53,9	4042	10784	36,62	66,86
Стандартная ошибка	0,59	857	69,1	155	1420	1,22	2,05
Медиана	74	65024	19,8	4176	818	33,53	64,98
Мода	72	65024	–	2388	232	32,6	80,0
Стандартное отклонение	7,95	11563	93,2	2094	19157	16,55	27,7
Дисперсия выборки	63,2	1,3E+08	8,68E+9	4386062	3,6E+08	273,9	766
Эксцесс	–1,01	–0,16	6,58	–1,3557	1,34	–0,75	–1,27
Асимметричность	0,088	–1,11	2,71	0,06	1,69	0,31	0,28
Интервал	30	43068	482	7021	63024	67,6	94,1
Минимум	60	21956	3,92	669	10	7,58	30,15
Максимум	90	65024	486	7690	63034	75,18	124,2

Табл. 9. Коэффициенты корреляции параметров АЭ сигналов

Параметры АЭ сигналов	Коэффициент корреляции			
	1 этап	2 этап	3 этап	4 этап
C и *F*	0,99	0,97	1	0,97
E и *F*	0,97	0,92	0,97	0,69
E и *C*	0,97	0,96	0,97	0,64
E и *A*	0,92	0,74	0,36	0,65
A и *F*	0,92	0,74	0,45	0,81
D и *C*	0,94	0,96	–	0,81
D и *F*	0,92	0,89	–	0,68
E и *D*	0,85	0,87	–	0,3
A и *D*	0,80	0,76	–	0,44
A и *E*	0,92	0,74	0,36	0,65
A и *C*	0,91	0,77	0,45	0,76

Табл. 10. Диапазоны значений параметров АЭ сигналов

Этапы нагружения ОК	Диапазон амплитуд, дБ	Диапазон энергетических параметров, мВ·мс.	Диапазон длительностей, мс
1 этап	65…90	25…400	27…66
2 этап	62…87	25…75	27…66
3 этап	88…90	325…425	66
4 этап	60…90	25…500	32…66

Табл. 11. Максимумы распределения значений параметров АЭ сигналов

Этапы нагружения ОК	Максимум амплитуд, дБ	Максимум энергетических параметров, мВ·мс.	Максимум длительностей, мс
1 этап	71	25	66
2 этап	71	25	66
3 этап	89	375	66
4 этап	75	25	66

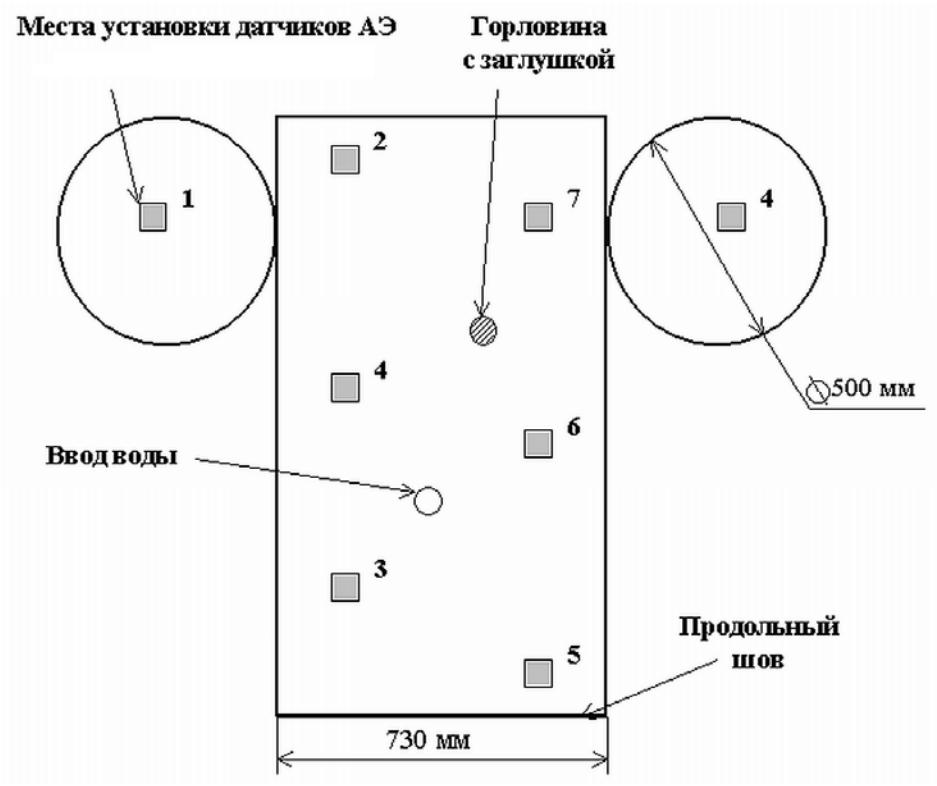

Рис. 1. Схема установки датчиков на баллоне

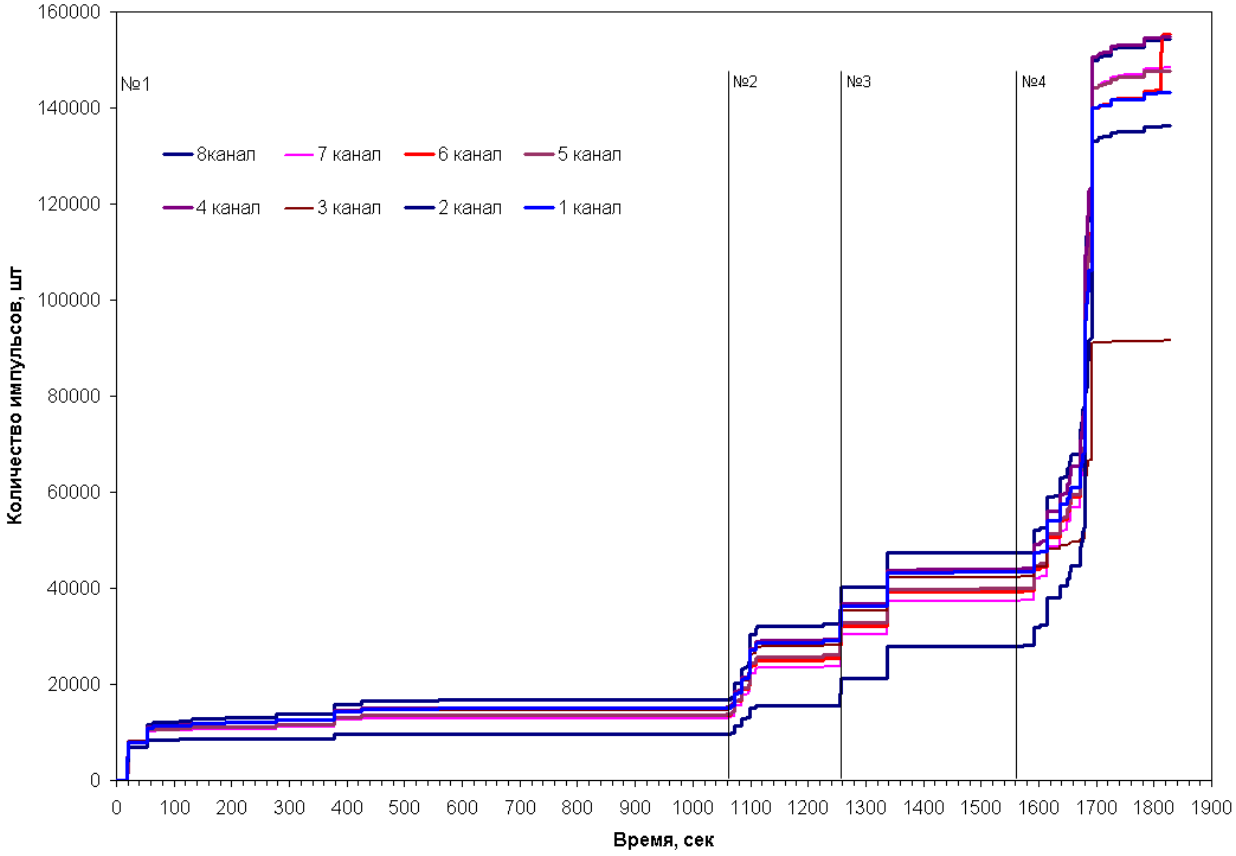

Рис. 2. Суммарное количество импульсов по каналам

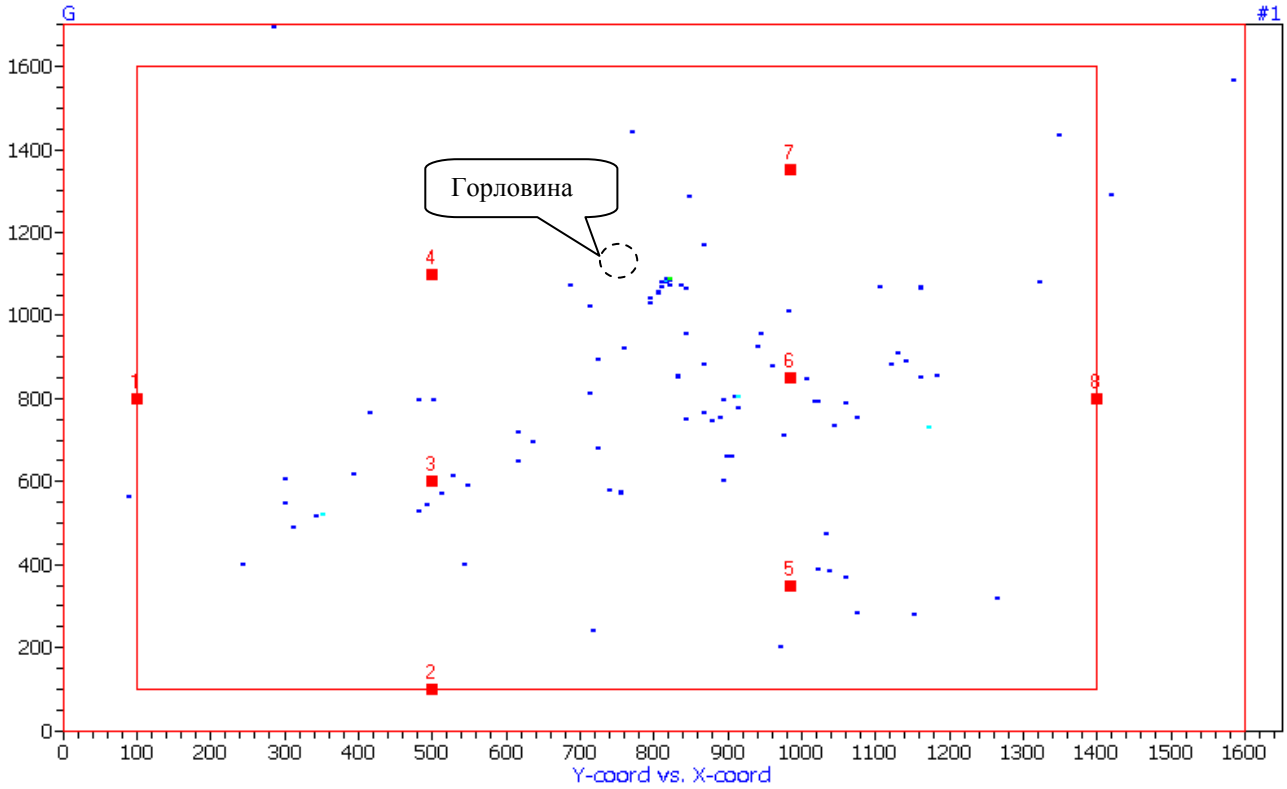

Рис.3. Карта локации четвертого этапа нагружения

Первый этап нагружения

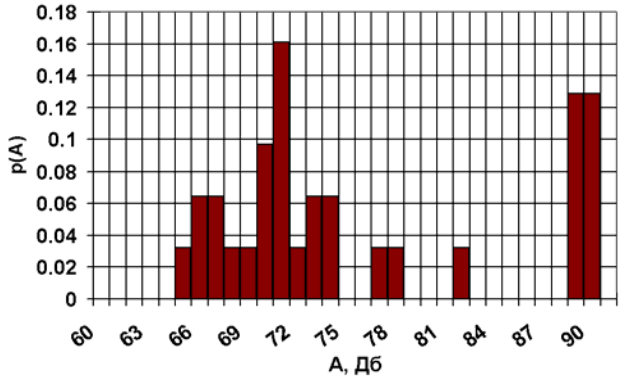

Рис. 4. Распределение амплитуд АЭ сигналов

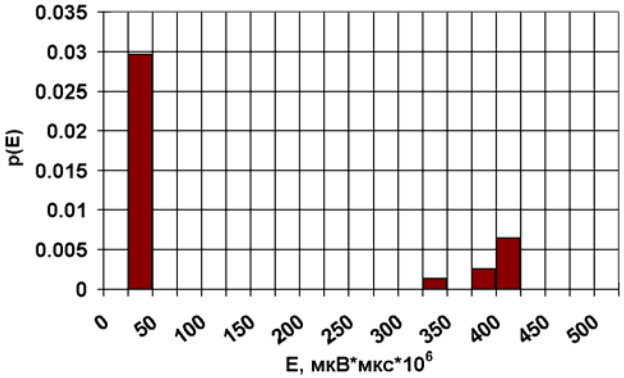

Рис. 5. Распределение энергетических параметров АЭ сигналов

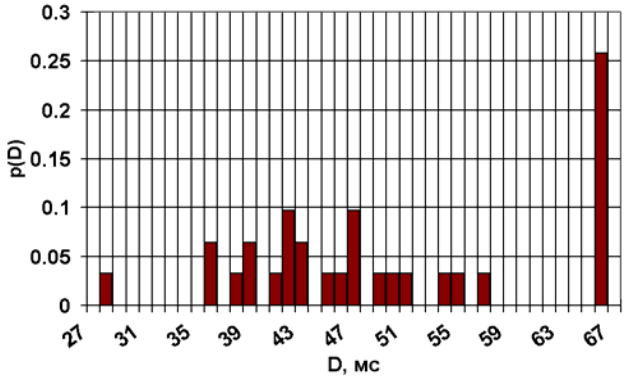

Рис. 6. Распределение длительностей сигналов

Второй этап нагружения

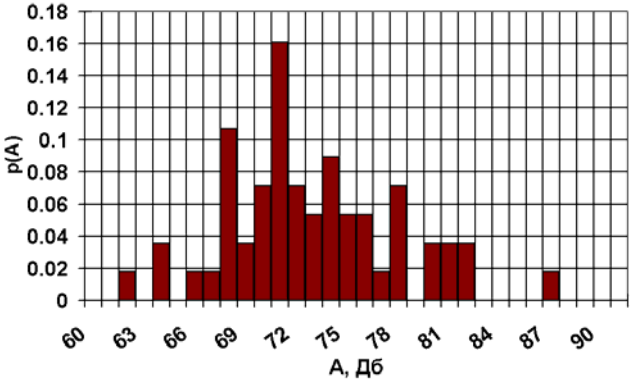

Рис. 7. Распределение амплитуд сигналов

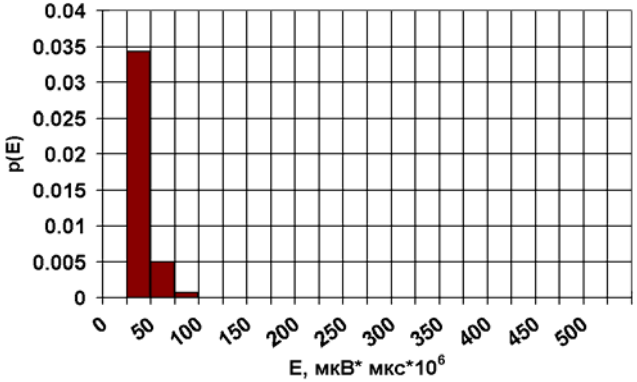

Рис. 8. Распределение энергетических параметров АЭ сигналов

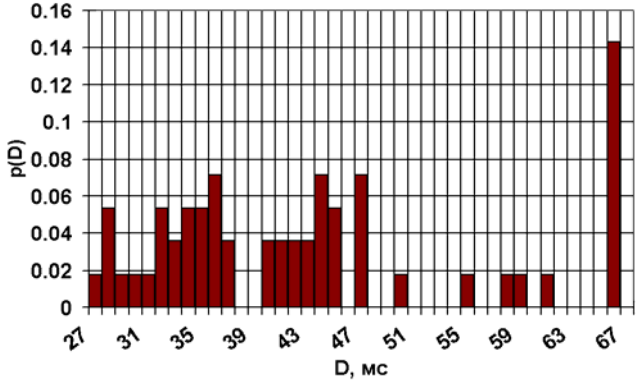

Рис. 9. Распределение длительностей сигналов

Третий этап нагружения

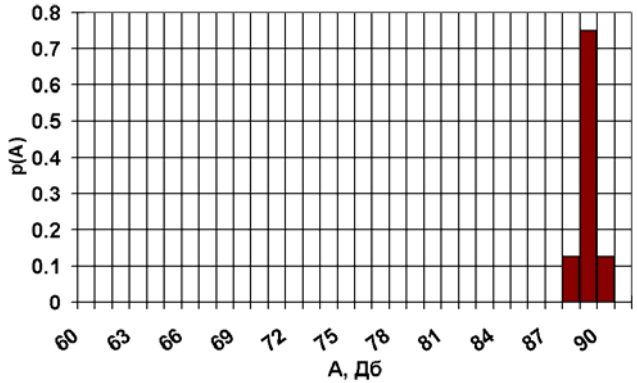

Рис. 10. Распределение амплитуд сигналов

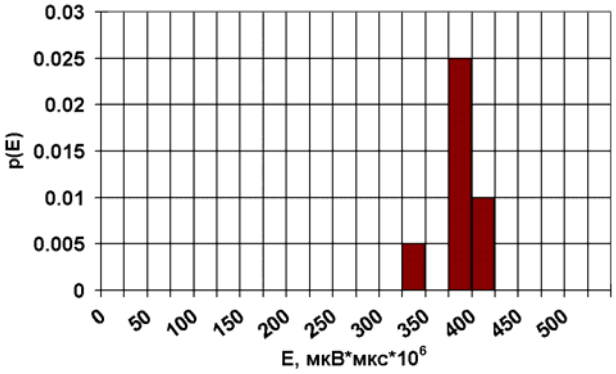

Рис. 11. Распределение энергетических параметров АЭ сигналов

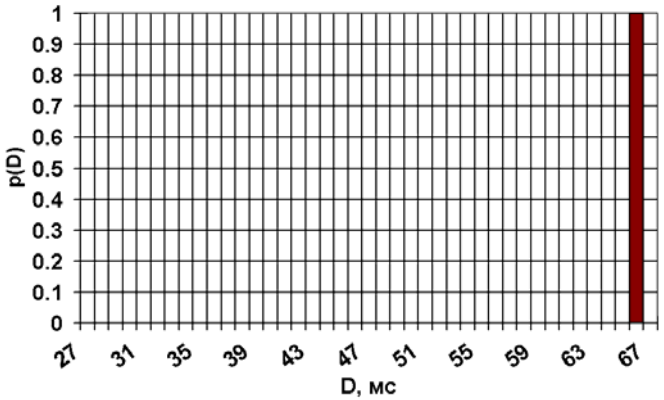

Рис. 12. Распределение длительностей сигналов

Четвертый этап нагружения

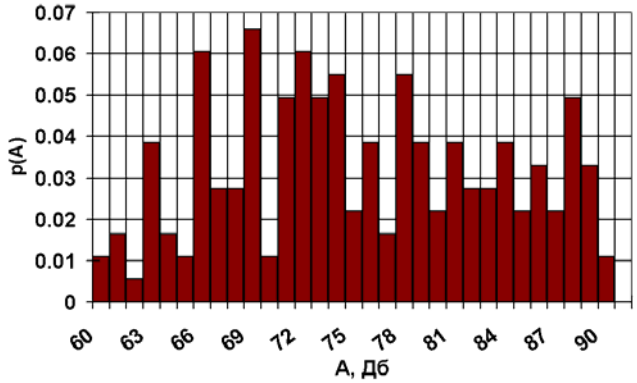

Рис. 13. Распределение амплитуд сигналов

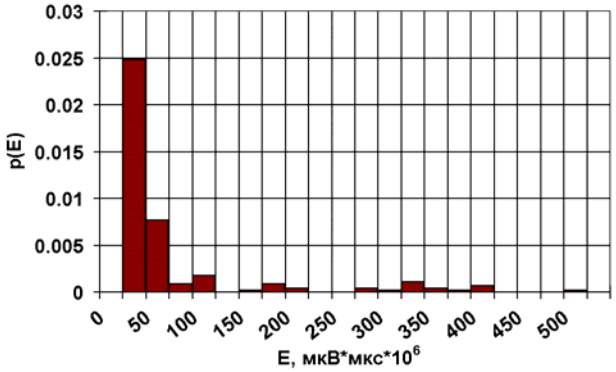

Рис. 14. Распределение энергетических параметров АЭ сигналов

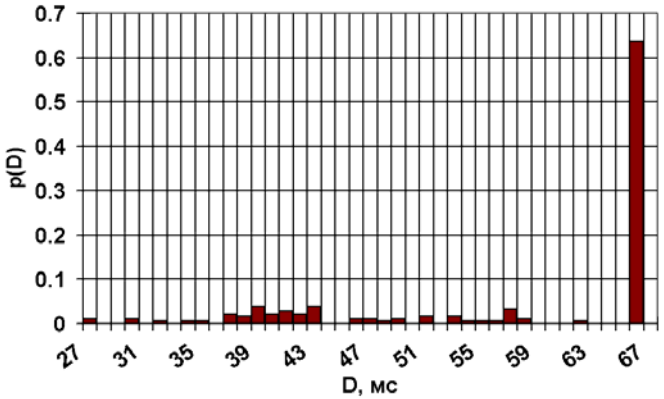

Рис. 15. Распределение длительностей сигналов

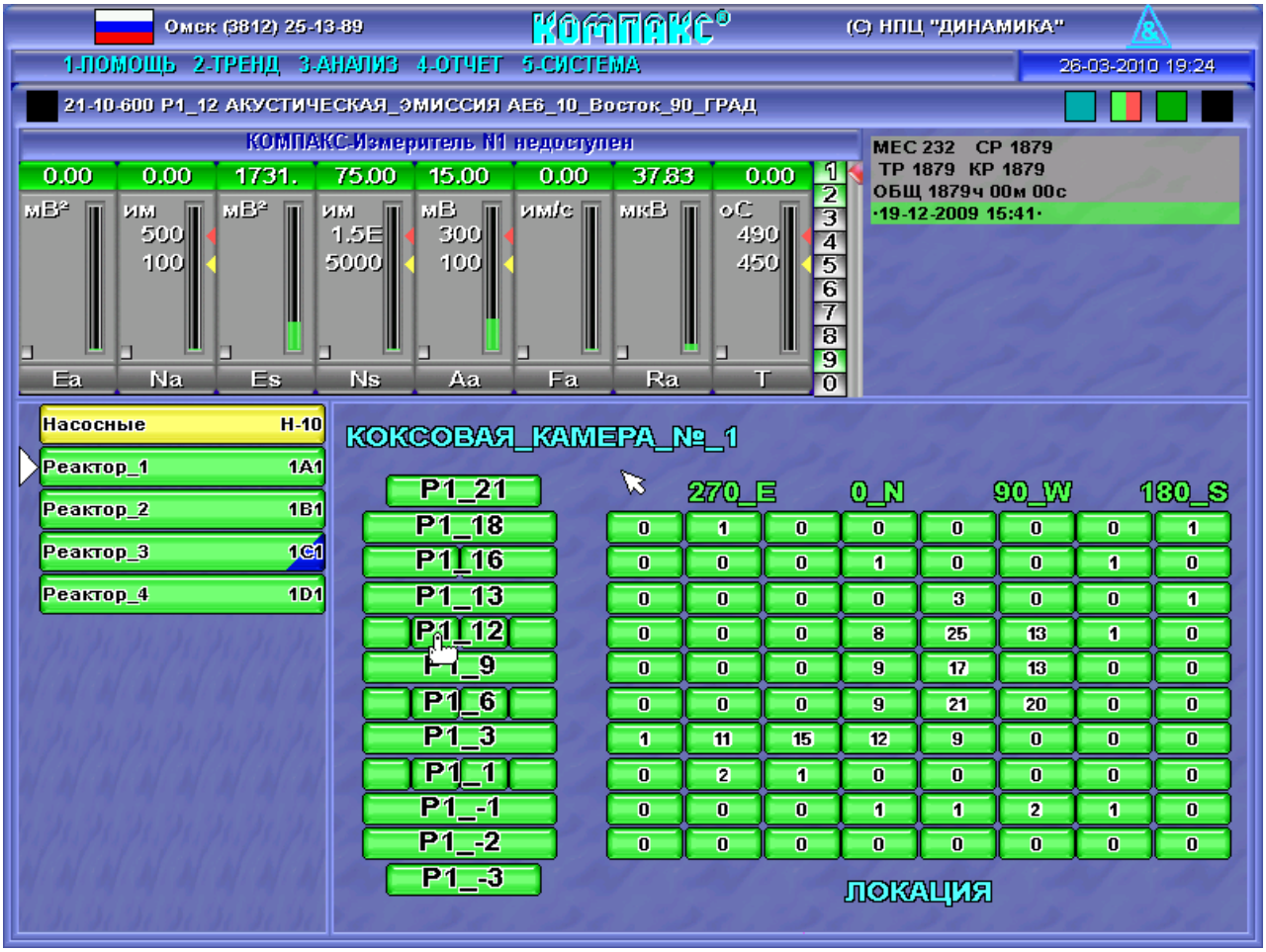

Рис. 16. Карта локации системы КОМПАКС

AE conf. 2010
8 – 12 ноября, г. Москва
II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В МЕТОДЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ»
ТРУДЫ КОНФЕРЕНЦИИ
ISBN 5-91161-006-X
ИНТЕРЮНИС

СОДЕРЖАНИЕ

Для просмотра полного текста доклада достаточно
кликнуть мышью на название этого доклада в содержании.

В. И. Иванов. Об истории развития метода акустико-эмиссионного контроля ..... 1_1_2

Х. М. Ханухов. О создании центра мониторинга рисков и обеспечения защищенности стратегически важных объектов от тяжелых катастроф ..... 1_2_1

В. И. Эльманович. Метод АЭ в системе инспекции на базе оценки риска ..... 1_2_2

В. И. Иванов, И. Э. Власов. Основные проблемы акустико-эмиссионного контроля промышленных объектов ..... 1_2_3

А. В. Жуков, А. Н. Кузьмин. К вопросу распространения акустических волн в нефтепроводах большого диаметра ..... 1_2_4

В. В. Городович, А. Г. Комаров, В. Н. Толкачев. Регистрация дефектов III – IV класса в реальном времени: возможности метода, условия выявления, способствующие, мешающие и исключающие факторы ..... 1_2_5

В. А. Гуменюк, Н. А. Казаков, В. А. Сульженко, А. В. Яковлев. Акустико-эмиссионный контроль процесса сварки объектов морской техники .. 1_2_6

В. Н. Костюков, А. П. Науменко, С. Н. Бойченко. Исследование характеристик акустико-эмиссионных сигналов ..... 1_2_7

А. А. Дубов, А. Л. Углов. Опыт стандартизации комитета ТК-132 в области технической диагностики, контроля напряжений и оценки ресурса ..... 1_2_8

Т. А. Сурина, И. В. Эльманович. Инспекция на базе оценки риска технологического оборудования установки каталитического крекинга в условиях пятилетнего межремонтного пробега ..... 2_1_1

А. И. Сагайдак. Практическое применение метода акустической эмиссии для оценки работы железобетонных конструкций крановой эстакады Саяно-Шушенской ГЭС ..... 2_1_2

С. В. Каменский, Д. А. Зотов, К. Е. Нагинаев. Опыт применения метода акустической эмиссии при диагностировании технологического оборудования компрессорных станций ОАО «Газпром» ..... 2_1_3

К. В. Владимиров, А. И. Гневко, С. В. Гразион, О. Е. Зубов, А. А. Сорокин, М. Б. Морозов. О выявляемости дефектов в металлоконструкциях с применением акустической эмиссии ..... 2_1_5

В. А. Барат, А. Н. Кузьмин, М. Ю. Ростовцев. Современные методы фильтрации сигналов акустической эмиссии ..... 2_1_6

А. И. Сагайдак. Акустическая эмиссия. Современное состояние стандартов и руководящих принципов. Сравнительная оценка и перспективы ..... 2_2_1

Е. Ю. Нефедьев. АЭ мониторинг циклически нагруженных конструкций ..... 2_2_4

В. А. Кобзев. Парадоксы при использовании АЭ-критериальной оценки технического состояния оборудования нефтехимических предприятий ..... 2_2_5