

Санкт-Петербургский государственный университет

Кафедра системного программирования

Группа 21.М07-мм

*Макарихин Павел Андреевич*

# Локация источников акустической эмиссии

Отчёт по учебной практике

Научный руководитель:  
к.т.н., доцент кафедры информатики, Григорьева А.В.

Санкт-Петербург  
2021

# Оглавление

<b>1. Введение</b>	<b>3</b>
<b>2. Постановка задачи</b>	<b>4</b>
<b>3. Предметная область</b>	<b>5</b>
<b>4. Обзор существующих решений</b>	<b>6</b>
<b>5. Разработка и реализация метода</b>	<b>7</b>
5.1. Первоначальная обработка данных . . . . .	7
5.2. Локация событий АЭ . . . . .	7
<b>6. Заключение</b>	<b>9</b>
<b>Список литературы</b>	<b>10</b>

# 1. Введение

При использовании различных объектов важно знать их состояние в ходе эксплуатации. В повседневной жизни такие конструкции, как мосты и колонны зданий, в промышленности – тонкостенные сосуды давления, трубопроводы и другие, изнашиваются со временем, в них появляются дефекты и трещины, которые необходимо вовремя диагностировать, чтобы избежать выхода из строя, полного разрушения и других последствий. Неразрушающий контроль (НК) - это группа методов анализа для оценки свойств материалов и объектов без причинения ущерба. Акустическая эмиссия (АЭ) - один из самых популярных и эффективных методов НК благодаря чувствительности, точности и мобильности. Метод АЭ основан на обнаружении упругих волн, исходящих от трещин, разрушений и других явлений. Существует три основных применения метода АЭ: определение местоположения источника волн, мониторинг состояния конструкции и оценка характеристик материалов и конструкций.

Исследования в данной области продолжаются уже более 50 лет, но до сих пор нет общих решений, так как для разных материалов и разных конструкций распространение упругих волн происходит по-разному. [5]

## **2. Постановка задачи**

В данной практике была поставлена задача разработать метод локации источников акустической эмиссии и проверить его на реальных данных.

1. Исследовать уже существующие методы;
2. Обработать входные данные для дальнейшей работы;
3. Разработать метод локации источников сигналов;
4. Провести апробацию разработанного метода.

### 3. Предметная область

Метод акустической эмиссии (АЭ) – один из методов неразрушающего контроля, основанный на улавливании распространений упругих волн в объектах, возникающих при появлении деформаций и их развития. Основными преимуществами АЭ являются точность и чувствительность к возникающим волнам, однако также есть и недостатки, такие как критичность к наличию фоновых шумов и сложность интерпретации полученных результатов контроля.

Метод АЭ заключается в следующем: на поверхности контролируемого объекта устанавливаются датчики, для устранения воздушного затора, который может повлиять на улавливание колебаний, между датчиком и поверхностью часто наносится слой контактной жидкости, затем в ходе эксплуатации объекта в состоянии стресса в нем постепенно возникают и развиваются различные дефекты, испускающие упругие волны. Волны АЭ отличаются в зависимости от структуры материала, величины дефекта и его характера. Материалы различаются на изотропные – физико-механические свойства постоянны и одинаковы во всех направлениях, к ним относятся металлы, камень и другие, и анизотропные – свойства различны в разных направлениях, например, ламинаты.

Распространяясь по материалу волны улавливаются датчиками, при этом фиксируются различные характеристики, такие как амплитуда в момент ее прихода на датчик, энергия, время прихода, длительность и другие. Наиболее значимыми для анализа являются амплитуда и время ее прихода.

## 4. Обзор существующих решений

Для локации источников акустических событий обычно вычисляется скорость распространения волны с использованием разницы времени ее прихода на датчики. В работе [4] эксперимент проводился для анизотропного материала (обладает разными свойствами в разных направлениях), скорость распространения волны в указанном направлении вычислялась из разности времени ее прихода на удаленные датчики, для которых скорость предполагается одинаковой, и далее с ее помощью находилось расстояние до источника. Разность времени прихода вычислялась с помощью непрерывного вейвлет-преобразования и взаимной корреляции для двух мод волны Лэмба.

В [3] локация происходила в dished head (выпуклые части цистерн), для этого на нее устанавливали 4 датчика, затем их полярные координаты относительно объекта с помощью азимутальной и ортогональной проекций приводятся к прямоугольной системе координат, затем применяется Симплекс метод на плоскости реализованный в программном обеспечении Vallen AE-Suite.

В [1] для вычисления координат был использован встроенный метод в Vallen-Systeme. Для нахождения разницы времени прихода на датчики использовался вейвлет анализ для первых 5 симметричных и ассиметричных мод волн Лэмба. Чтобы точно его высчитать для данных мод определяли ключевые частоты, соответствующие каждой из них.

В [2] применялась линейная локализация (определение координат по двум датчикам) в сочетании с узкополосным фильтром и планарная локализация (количество датчиков больше трех) в трех различных конфигурациях для оценки преимуществ и недостатков данных методов.

В [6] был предложен методический подход к анализу акустической эмиссии непрерывного типа при условии слабого отношения сигнал/шум на основе спектральной классификации сигналов.

## 5. Разработка и реализация метода

### 5.1. Первоначальная обработка данных

В данной работе использовались данные, полученные с реальных объектов в ходе их эксплуатации, поэтому для дальнейшего применения к ним разработанных методов необходима первичная обработка для удаления очевидного шума. Для этого сперва на все данные был наложен фильтр, отбрасывающий сигналы со значениями амплитуды заведомо не подходящими под события дефектов. Так, например, были отброшены сигналы со значениями амплитуды ниже 40 dB и выше 100 dB. Далее, так как каждое АЭ событие состоит из сигналов, полученных с нескольких датчиков, зафиксировавших его, данные о каждом событии необходимо сгруппировать.

Nº	Id	Channel	Time	MSec	Amplitude	Energy	Duration	Counts
0	LE	9	00:00:43	937,538	88,5	9370000	11894,4	1174
0	Ht	1	00:00:43	937,5559	56,5	3800	3500,8	161
0	Ht	7	00:00:43	937,5956	60,3	11300	3237,6	255
0	Ht	3	00:00:43	937,6193	63,3	25000	4144	356
0	Ht	5	00:00:43	937,6333	59,9	9480	2916,8	214
0	Ht	8	00:00:43	937,6708	54,7	4350	2533,6	191
0	Ht	6	00:00:43	937,6803	53,5	2140	2072	118
1	LE	1	00:00:47	714,1407	57,7	3830	3544	179
1	Ht	9	00:00:47	714,143	92,3	13300000	8819,2	955
1	Ht	7	00:00:47	714,2131	62,6	18100	3229,6	264
1	Ht	3	00:00:47	714,2197	69,3	51700	4107,2	348
1	Ht	5	00:00:47	714,2382	64,4	18400	3000,8	243
1	Ht	8	00:00:47	714,2434	58	6010	2740,8	211
1	Ht	10	00:00:47	714,2654	52,8	3150	2626,4	166
2	LE	9	00:00:51	801,4268	85,5	3050000	7366,4	718
2	Ht	1	00:00:51	801,4843	55	1640	1577,2	74
2	Ht	7	00:00:51	801,5094	57,7	4320	2508,8	161
2	Ht	3	00:00:51	801,5151	61,8	13300	3073,6	248
2	Ht	5	00:00:51	801,5298	56,5	4220	2428,8	142
2	Ht	6	00:00:51	801,6042	49,8	807	1631,6	58
2	Ht	8	00:00:51	801,6172	52	2080	2307,2	128
3	LE	9	00:00:58	60,7406	91,9	15100000	9504	890
3	Ht	1	00:00:58	60,7457	60,3	7240	3435,2	207
3	Ht	3	00:00:58	60,8186	66,7	54300	4300,8	375
3	Ht	5	00:00:58	60,8404	62,9	26100	3606,4	279

Рис. 1: Данные после первичной обработки

Датчики фиксируют различные характеристики сигнала, поэтому также необходимо выделить множество параметров, которые будут исследоваться.

В итоге после первичной обработки были получены сгруппированные сигналы АЭ событий, указанные на Рис. 1

### 5.2. Локация событий АЭ

Для локации источников акустической эмиссии был разработан метод нахождения потенциальных точек при условии, что скорость волны при ее распространении меняется незначительно. Также от сигнала требуется, чтобы его зафиксировали хотя бы четыре датчика.

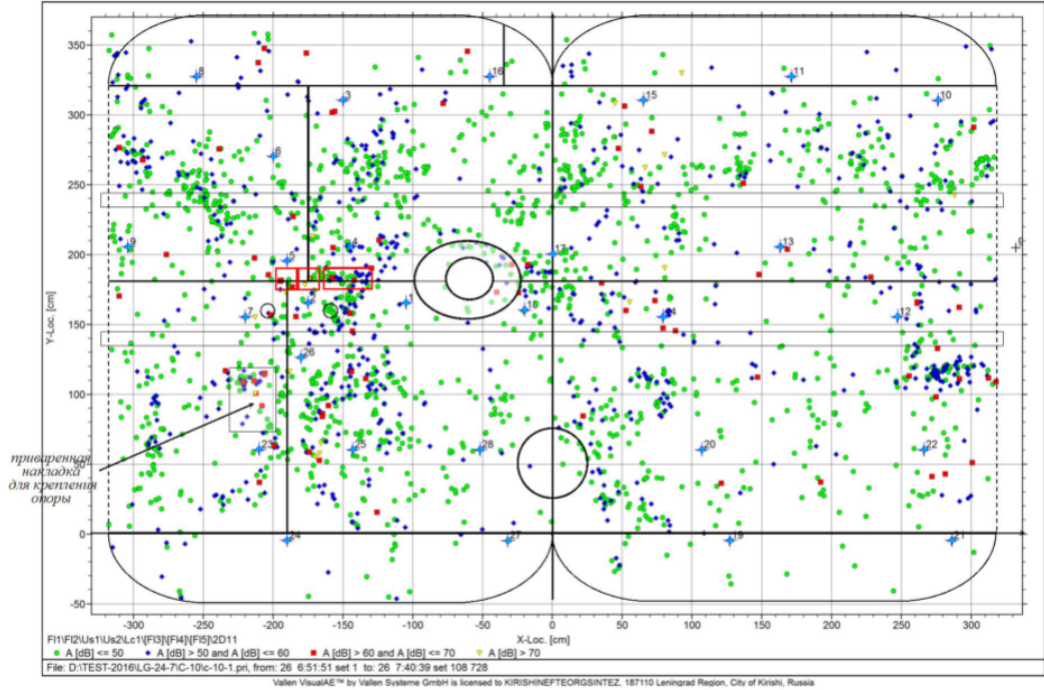


Рис. 2: Локация источников АЭ с помощью системы Vallen Systeme

Далее на область, в которой располагаются датчики, зафиксировавшие волну, накладывается сетка с определенным шагом. Для каждой точки сетки проверяется условие постоянности скорости:

$$v_1 - v_2 < accuracy, \quad (1)$$

где ассигасу - заранее заданная точность

$$\begin{cases} v_1 = \left| \frac{\sqrt{(x_2 - \bar{x})^2 + (y_2 - \bar{y})^2} - \sqrt{(x_1 - \bar{x})^2 + (y_1 - \bar{y})^2}}{t_2 - t_1} \right| \\ v_2 = \left| \frac{\sqrt{(x_3 - \bar{x})^2 + (y_3 - \bar{y})^2} - \sqrt{(x_2 - \bar{x})^2 + (y_2 - \bar{y})^2}}{t_3 - t_2} \right| \end{cases} \quad (2)$$

где  $\bar{x}, \bar{y}$  - координаты вершины сетки,  $x_i, y_i$  - координаты датчиков,  $t_i$  - время прихода волны на датчик

После перебора всех вершин сетки формируется множество потенциальных точек источника для различных скоростей. На скорость волны также накладывается ограничение в виде нижней и верхней границы значений. Для ускорения перебора вычисления были распараллелены по количеству ядер процессора.

На Рис. 3 синим цветом отмечены датчики размещенные на развертке объекта, цифрами отмечен порядок датчиков, зафиксировавших события. Красными точками отмечены потенциальные местоположения источника для различных скоростей волны.



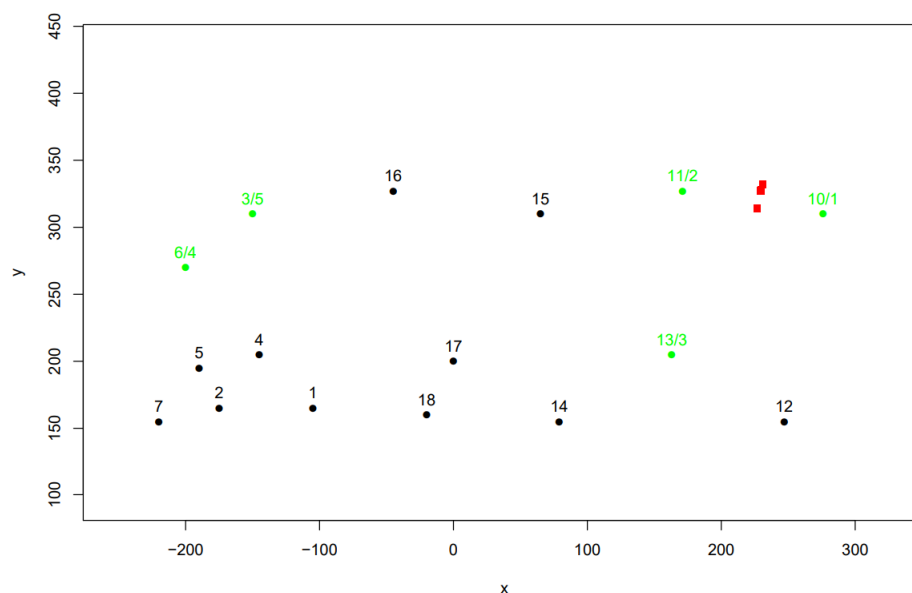


Рис. 3: Локация источника события

## 6. Заключение

В ходе учебной практики метод локации источников АЭ был разработан и апробирован на реальных данных. В дальнейшем планируется расширить область его применения на более сложные случаи, а также оптимизировать для больших датасетов. Были получены следующие результаты:

- Проведен обзор уже существующих подходов к решению данных проблем.
- Реальные данные с экспериментов были обработаны для применения к ним разрабатываемых методов.
- Разработан метод локации источника сигнала.
- Метод был проверен на данных с реального эксперимента.

## Список литературы

- [1] Hamstad MA. Acoustic emission source location in a thick steel plate by Lamb modes // Journal of acoustic emission. — 2007. — Vol. 25. — P. 194–214.
- [2] Improved source location methods for pressure vessels / Valery Godinez, Sotirios J Vahaviolos, Richard D Finlayson et al. // Journal of Acoustic Emission(USA). — 2000. — Vol. 18. — P. 272.
- [3] THENIKL Thomas, VALLEN Hartmut. Comparison of Approximate and Simple Location Methods for AE-Sources on Dished Heads.
- [4] Yi Yinggang, He J. Localizing acoustic emission sources in composite plates with unknown wave velocities. — 2018.
- [5] Иванов В.И. Бигус Г.А. Власов И.Э. Акустическая эмиссия. 2-е изд. — М.:Издательский дом "Спектр", 2015. — P. 192.
- [6] Растегаев И. А. Данюк А. В. Виноградов А. Ю. Мерсон Д. Л. Чугунов А. В. Локация шумоподобных источников акустической эмиссии способом спектрального подоби́я // Дефектоскопия. — 2013. — no. 10. — P. 3–13.