

В.Г. ПЕТРОСЯН, Г.Р. МАРКОСЯН, С.В. ШАХВЕРДЯН

МЕТОДЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ В СОССП

Предложены три метода локализации источника энергии (ударов) в первом контуре энергоблока АЭС по информации, выданной СОССП. Приводятся результаты проверки первого метода по локализации местоположения удара, наблюдаемого на энергоблоке ¹2 Армянской АЭС.

Ключевые слова: локализация, преобразование Фурье, метод гипербол, амплитуда сигналов, датчик ускорения, коэффициент ослабления, временная статистика.

Система обнаружения свободных и слабозакрепленных предметов (СОССП), предназначенная для обнаружения свободных предметов и слабозакрепленных узлов компонентов первого контура энергоблоков АЭС, в 1998г. была введена в промышленную эксплуатацию на энергоблоке ¹2 Армянской АЭС.

Свободные и слабозакрепленные предметы обнаруживаются по вызываемому ими корпусному шуму (удары). Контроль над акустическим состоянием оборудования ведется с помощью датчиков ускорения (акселерометров), установленных на компонентах первого контура в количестве 24 шт. При превышении корпусным шумом задаваемых пользователем системы уставок (относительных и абсолютных порогов) система автоматически регистрирует событие. Последующая обработка полученной при событиях (временная статистика сигналов в звуковом диапазоне частот) информации средствами программного обеспечения (ПО) системы должна позволить локализовать источник энергии (определить местоположение свободного предмета или слабозакрепленного узла).

В стандартном ПО СОССП [1] не включены программы локализации источника энергии, поскольку они в принципе могут работать только в автономном режиме. Дело в том, что для программы локализации источника энергии необходимо иметь параметры, которые определяются пользователем системы на основе анализа временной статистики сигналов, выданной системой при событиях.

В данной работе разработаны три метода локализации источника энергии, переданные в программном исполнении Армянской АЭС для использования в автономном режиме.

1. Методы локализации

Метод 1 (метод гипербол)

а) Локализация на линии (трубопроводе). Для локализации источника энергии на линии используются показания (временные статистики) двух датчиков, среагировавших первыми на ударные явления (события). Метод 1 для случая линии организуется следующими двумя этапами.

Этап 1. Устанавливаются номера двух датчиков, один из которых (реагировавший первым) принимается как базовый. Информацию об этом выдает СОССП.

Этап 2. Определяется местоположение ударяющего предмета или слабозакрепленного узла в первом контуре из решения системы

$$t_b - t_a = \Delta t, \quad c(t_b + t_a) = d \quad (1)$$

относительно t_b и t_a , где t_b , t_a – время прихода сигналов к датчикам b и a соответственно; c – скорость распространения продольных волн (заданное число); d – расстояние между датчиками b и a (известное число); Δt – разность времен прихода (РВП) сигналов, которая определяется пользователем системы по временной статистике сигналов.

В результате решения системы (1), если $t_b > 0$ и $t_a > 0$, то $R \in [a \text{ и } b]$, $R = c t_a$. Если же $t_a < 0$, то $R \in [a \text{ и } b]$, $R = c t_a$, т.е. источник расположен слева от точки a на расстоянии R . Аналогично, если $t_b < 0$, то $R \in [a \text{ и } b]$, $R = c t_b$, т.е. источник расположен справа от точки b на расстоянии R .

Хотя изложенный метод весьма прозрачен, однако при его применении возникают затруднения, связанные с определением d и Δt .

б) Локализация на поверхности (корпус реактора, парогенератор). Локализация источника энергии на поверхности требует более сложных построений и показаний уже трех датчиков. Пусть эти три датчика установлены на корпусе реактора в точках a , b , v (в СОССП именно так и рекомендовано их расположить) и пусть первым среагировал датчик b , который будет базовым. Тогда из (1) при фиксированном Δt можно определить R , если будет известно d . Однако d неизвестно, так как источник расположен на поверхности, поэтому система (1) решается при различных d . Коль скоро Δt фиксировано, то очевидно, что точки удара будут находиться на гиперболе [2]. Для того чтобы определить точки удара, следует по двум показаниям других датчиков аналогичным образом построить вторую гиперболу. Одна из точек пересечения двух гипербол будет местом приложения источника энергии, причем какая именно из двух точек является искомой, устанавливается по близости точек от базового датчика.

Отметим, что точки пересечения гипербол можно установить либо из совместного аналитического решения уравнений гипербол, либо графически. Эти процедуры здесь опускаются, поскольку они широко известны [2].

Метод 2 (метод преобразования Фурье)

а) Локализация на линии. Метод 2 основан на использовании результатов прямого и обратного преобразований Фурье (ППФ, ОПФ) временной статистики сигналов датчиков. Причем для локализации источника энергии на линии используются показания только одного датчика. Локализация по этому методу также проводится в два этапа.

Этап 1. Процедура по этапу 1 аналогична процедуре этапа 1 метода 1.

Этап 2. Из уравнения

$$r/v_1 - r/v_2 = \Delta t \quad \text{или} \quad r = \frac{v_1 v_2}{v_2 - v_1} \Delta t \quad (2)$$

определяется расстояние от точки удара до базового датчика (r), где v_1 и v_2 - скорость распространения сигналов при частотах f_1 и f_2 . Для того чтобы по f_1 и f_2 определить v_1 и v_2 , необходимо иметь дисперсную характеристику сигналов, на основе которой вычисление r организуется по следующей схеме.

Шаг 1. На основе временной статистики сигналов базового датчика производится ППФ по требованию пользователя СОССП, в результате на экран выводится спектральная характеристика шумового процесса. По двум пиковым значениям спектральной плотности устанавливаются соответствующие частоты f_1 и f_2 .

Шаг 2. По f_1 и f_2 и заданной полосе пропускания сигналов производится ОПФ, в результате получаются две новые временные реализации, по которым определяется разность начал временных процессов (Δt).

Шаг 3. По f_1 и f_2 на основе дисперсной характеристики сигналов устанавливаются v_1 и v_2 , по формуле (2) вычисляется расстояние источника энергии от датчика б на линии (r).

б) Локализация на поверхности. Для локализации источника энергии на поверхности по методу 2 также требуются показания трех датчиков. По аналогии с процедурой вычисления r по (2) для каждого датчика определяется r_i ($i = \overline{1,3}$) и с центром в точках установки датчиков и радиусами r_i проводятся окружности, точка пересечения которых будет местом приложения источника энергии. Возможно, что эти три окружности не пересекутся в одной точке из-за ошибки вычисления Δt . Однако по построению трех окружностей можно определить область, в которой находится источник энергии.

Метод 3 (экспоненциальный метод)

Метод 3 основан на том положении, что ослабление шумового сигнала по длине исследуемого тракта подчиняется следующему закону [3]:

$$A(x) = A_0 e^{-\alpha x}, \quad (3)$$

где A_0 - максимальная амплитуда сигнала на расстоянии $x = 0$, т.е. в точке приложения источника энергии, неизвестное число; α - коэффициент ослабления сигнала; $A(x)$ - максимальная амплитуда сигнала на расстоянии x от начала координат, которая подлежит определению, известное число, выдаваемое СОССП.

Отметим, что для локализации источника энергии на линии по методу 3 необходимо иметь минимум три датчика. На основе предварительного анализа из этих трех датчиков выбираются два с предположением, что источник энергии не расположен между ними.

Пусть $x_1 < x_2$, следовательно, $A(x_1) > A(x_2)$, где x_1, x_2 - соответственно расстояние датчиков 1 и 2 от неизвестного пока начала координат. Тогда из (3) будем иметь $\ln A(x_1) = \ln A_0 - \alpha x_1$, $\ln A(x_2) = \ln A_0 - \alpha x_2$ или $\ln A(x_1) - \ln A(x_2) = \alpha (x_2 - x_1)$, откуда

$$\alpha = \frac{\ln A(x_1) - \ln A(x_2)}{d}, \quad (4)$$

где $d = x_2 - x_1$ - расстояние между датчиками 1 и 2, заданное число.

Через точки $M_1[x_1, \ln A(x_1)]$ и $M_2[x_2, \ln A(x_2)]$ проводится прямая M_1M_2 , которая, очевидно, будет иметь угловой коэффициент $-\alpha$, а через точку $M_3[x_3, \ln A(x_3)]$ проводится вторая прямая с угловым коэффициентом α , определенным по (4). Точка пересечения этих двух прямых будет местом расположения источника энергии.

Анализируя изложенные методы, можно отметить следующее:

- первые два метода с точки зрения области применения более универсальны, чем метод 3. Однако в первых двух методах в качестве входного параметра используется Δt (РВП), точное определение которого связано с трудностями;
- в методе 3 параметр Δt не используется, однако его применение в случае локализации на поверхности ограничено.

В силу этого следует использовать эти методы параллельно и после анализа результатов определить местоположения источника энергии.

2. Результаты экспериментальной проверки

Проверка программы локализации места удара осуществлена по полученной из СОССП информации, зарегистрированной при событиях, наблюдаемых с 22 по 25.06.1999г. Визуальный анализ временной статистики при событиях показал, что у ГЦН-3 (главный циркуляционный насос) за это время имело место несколько сильных ударных явлений (к сожалению, причину не удалось раскрыть).

- На эти ударные явления при всех событиях существенно реагировали, кроме датчика 1 (на ГЦН-3), датчики 2,3, установленные в МПЗ (межпатрубковая зона) и на ГЦН -2.

Как известно, для локализации места удара в первую очередь следует вычислить РВП сигналов, определяемых из временной статистики как разность начал всплесков сигналов. Вычисленные таким образом РВП сигналов двух пар датчиков 1, 2, а также 1, 3 занесены в таблицу для всех событий. Кроме того, для алгоритма локализации места удара необходимо иметь расстояния между парами датчиков 1 и 2, а также 1 и 3.

Расстояние между датчиками 2 и 3 определено по формуле $d_{2,3} = \Delta t_{2,3} \cdot c$, где c - скорость распространения продольных волн, $c = 5920 \text{ м/с}$; $\Delta t_{2,3}$ - РВП сигналов датчиков 2 и 3, равная $5,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$, согласно временной статистике, откуда имеем $d_{2,3} = 32,6 \text{ м}$. Следовательно, $d_{1,3} = d_{2,3} - 12 = 20,6 \text{ м}$. Здесь цифра 12 получена как разность 16 - 4, где 16 - величина гашения сигналов в реакторе [4]; 4 - расстояние между точкой сопряжения холодной нитки с корпусом реактора и датчиком 2.

В графе 8 таблицы приведены расстояния от места удара до датчика 1 (в сторону реактора), где числитель дроби - значения, полученные по РВП сигналов датчиков 1 и 2, а знаменатель - по РВП датчиков 1 и 3. Некоторый разброс цифр в графе 8 обусловлен точностью подготовки исходной для программы локализации места удара информации, что вполне приемлемо для практического применения программы.

Таблица

Дата, время	Максимальная амплитуда по каналам, mg*			РВП, 10 ⁻³ с			Место удара, м
	1	2	3	1 - 2	2 - 3	1 - 3	
22.06.99 10.06.46	30000	22559	27187	2,3	5,5	7,8	3,5 2,91
23.06.99 0.40.51	30000	28110	25312	2,2	5,6	7,7	3,78 3,20
23.06.99 6.31.29	30000	30000	30000	2,8	5,7	7,9	2,1 2,61
23.06.99 13.38.46	30000	30000	30000	2,7	5,4	8,0	2,73 3,25
25.06.99 21.35.48	30000	30000	27436	2,2	5,4	8,0	3,78 3,25

* g — ускорение силы тяжести.

Анализируя полученные результаты (графа 8), можно однозначно утверждать, что место удара находится внутри ГЦН - 3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системная документация «СОССП» фирмы «Siemens», 1992.
2. **Ильин В.А., Позняк Э.Г.** Аналитическая геометрия.- М.:Наука, 1971.- 458 с.
3. **Бендат Дж., Пирсол А.** Прикладной анализ случайных данных.- М.: Мир, 1989.- 540 с.
4. **Маркосян Г.Р., Петросян В.Г., Шахвердян С.В., Асланян М.А.** Локализация течи теплоносителя из первого контура ВВЭР-440 в диагностической системе «Альс» фирмы «Siemens» // Теплоэнергетика.- 2000.-15. –С. 15-20.

Арматом, Армянская АЭС. Материал поступил в редакцию 10.03.1999.

Վ.Գ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Գ.Ռ. ՄԱՐԿՈՍՅԱՆ, Ս.Վ. ՇԱԽՎԵՐԴՅԱՆ

ԱԹՀՀՀ (СОССП) ԱՆՏՈՐՈՇԻՉ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒՄ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԱՂԹՈՒՐԻ ՏԵՂԱՅՆԱՑՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐ

Առաջարկվում են ԱԷԿ-ների էներգաբլոկների առաջին կոնսուրում էներգիայի աղբյուրի (հարվածի) տեղայնացման երեք մեթոդներ՝ ըստ ԱԹՀՀՀ (հԿհհկ) համակարգի տված տեղեկատվության: Բերվում են հարվածի տեղայնացման առաջին մեթոդի ստուգման արդյունքները՝ դիտարկված Հայկական ԱԷԿ-ի N2 էներգաբլոկում:

V.G. PETROSYAN, G.R. MARKOSYAN, S.V. SHAHVERDYAN
METHODS OF ENERGY SOURCE LOCALIZATION IN THE
FSFODS (COCCPI) DIAGNOSTIC SYSTEM

Three methods of energy source (strokes) in the first power-generating unit cycle of the Armenian Nuclear Power Plant (ANPP) using the information given by FSFODS (COCCPI) system, are proposed. The first method checking results on localization of stroke location observed in Unit 2 at the ANPP are given.