

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ ТРУБЫ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Бернер Л.И., Харитонов А.В., Харитонов М.В.

### Введение

В процессе эксплуатации магистрального газопровода возникает необходимость в идентификации его состояния. Так как протяженность такого газопровода достигает сотни и тысячи километров, создаются большие трудности в оценке состояния с помощью стандартных средств. Отсюда возникает потребность в разработке новых методик, средств и алгоритмов идентификаций событий, происходящих на газопроводе, либо в непосредственной близости от него.

### Логическое построение системы

Система анализа строится, исходя из принципа “от простого к сложному”. Сигнал, поступающий в систему, будет проходить несколько ступеней анализа на наличие различных признаков зависящих от природы явления, которое требуется выделить.

Первый этап разветвления системы - деление сигнала по характерным особенностям явления (например, по временным характеристикам). Действительно, для определения явления типа “внешнее воздействие” (движение трактора, капание грунта, и т.д.) либо сдвиг грунта (трубы) требуется сравнивать короткие промежутки времени (минута, секунда и т.д.), так как событие развивается быстро. В тоже время, небольшие трещины в трубе (в дальнейшем «свищи») можно определить только сравнивая данные с разницей в час, несколько часов, сутки (продолжительные во времени), так как событие развивается плавно (не будет резкого проявления события). В дальнейшем события, зависящие от коротких промежутков времени, будем обозначать СКВ, а от продолжительных - СПВ. Учитывая вышесказанное, свищ может быть определен с точностью до суток, в то время как внешнее воздействие и сдвиг идентифицируется с точностью до минуты или даже секунды. При этом нельзя не отметить, что даже, несмотря на такое деление, при определении наличия СКВ должны сравниваться и данные за предыдущие сутки, а для СПВ и за малые промежутки времени.

Промежутки времени, описанные выше, выбраны интуитивно и, в первую очередь, чтобы показать разницу временных масштабов определения явлений. Точные промежутки времени, требуемые для определения каждого события, могут быть выявлены только из экспериментов. Исходя из этого введем термин единица времени (в дальнейшем ед. вр.): 1 ед. вр. = единице времени требуемой для идентификации СКВ.

После логического разделения событий по характерным особенностям необходимо выбрать способ анализа сигнала. На первом этапе построения системы рассматривается обработка с помощью быстрого преобразования Фурье (в дальнейшем БПФ). После обработки сигнала с помощью БПФ в нашем распоряжении появляется

амплитудно-частотная характеристика сигнала, которая в дальнейшем будет использоваться для анализа сигнала и идентификации событий. Описание БПФ и его применение изложено ниже. При последующей разработке и усовершенствования системы предполагается использование вейвлет-преобразований.

Для определения наличия признаков воздействия обработанный сигнал подается на вход нейронной сети. В первоначальном варианте нейронная сеть будет выдавать только ответ: есть событие или нет. При этом для СКВ и для СПВ будут использоваться две сети и данные, подаваемые на их входы, отличаются. В дальнейшем планируется не только идентифицировать появление события, но и его тип в рамках одной сети. Это будет осуществляться либо путем усложнения уже существующей сети, либо созданием новой сети, ориентированной только на данную задачу.

Данные, подаваемые на вход нейронных сетей, требуют отдельного описания. Основное отличие данных подаваемых для СКВ и для СПВ состоит в моментах времени, за которые эти данные берутся. В случае СКВ подаются данные за текущую ед. вр., предыдущую ед. вр., более чем 20 ед. вр. назад, и более 1000 ед. вр. назад. На основании этих 4ех поступающих срезов данных сеть выдаст ответ о существовании СКВ. Для случая СПВ рассматривается следующая система отбора данных: в интервалах 1 – 60 ед. вр. назад, 120-180 ед. вр. назад, 720 – 780 ед. вр. назад и 1440 - 1500 выбирается по 3-5 квазислучайных ед. вр., в которых берется срез данных. После чего на вход сети поступает 3-5 квартетов данных, по которым и происходит анализ на существование события в одном из квартетов. При этом квартеты составляются произвольным образом.

### **Быстрое преобразование Фурье**

Остановимся подробнее на математической составляющей процесса.

Так как задача состоит в поиске характерной для различных процессов периодической составляющей (звуковые волны) в исходном сигнале для последующего анализа, то на первом этапе разработки системы для анализа сигнала используется Преобразования Фурье. Рассмотрим средство первичной обработки, роль которого в вышеописанной системе будет выполнять БПФ.

Быстрым преобразованием Фурье называется алгоритм быстрого вычисления дискретного преобразования Фурье, т.е. вычисление за число операций меньшее, чем  $O(N^2)$  [1]. В нашем случае в БПФ реализуется алгоритм по степени 2, имеющей сложность  $O(N \log_2(N))$ . Благодаря особенностям получения данных с датчиков в Системе в качестве исходных данных используется 512 точек, что является необходимым (степень 2) для использования БПФ.

БПФ представляет собой преобразование набора чисел  $X_0 = X[0], \dots, X_{N-1} = X[N-1]$  в набор чисел  $Y_0 = Y[0], \dots, Y_{N-1} = Y[N-1]$ , такой что:

$$Y_m = \sum_{n=0}^{N/2-1} X_{2n} a_{N/2}^{nm} + \exp(-i \frac{2\pi m}{N}) \sum_{n=0}^{N/2-1} X_{2n+1} a_{N/2}^{nm}$$

$$Y_{m+N/2} = \sum_{n=0}^{N/2-1} X_{2n} a_{N/2}^{nm} - \exp(-i \frac{2\pi m}{N}) \sum_{n=0}^{N/2-1} X_{2n+1} a_{N/2}^{nm}$$

где  $m = 0, 1, \dots, N/2 - 1$ ,  $N$  – четно, а значения для  $a_{N/2}^{nm}$  вычисляются по формуле:

$$a_{N/2}^{nm} = \exp\left(-2\pi i \frac{mn}{N/2}\right);$$

Если  $N/2$  является степенью двух, то это разделение можно продолжать рекурсивно до тех пор, пока не дойдем до двухточечного преобразования Фурье, которое вычисляется с помощью следующих формул:

$$\begin{cases} Y_0 = X_0 + X_1 \\ Y_1 = X_0 - X_1 \end{cases}.$$

В качестве математического пакета, используемого в первичной реализации Системы, может быть применен Matlab2012a. Данный пакет был выбран за доступность, информационную полноту и удобство использования.

В программной среде Matlab вычисления БПФ выполняются с помощью функции  $\text{fft}(X, n)$ . Функция  $Y = \text{fft}(X, n)$  вычисляет  $n$ -точечное дискретное преобразование Фурье. В данной записи  $X$  – массив анализируемых входных данных, а  $n$  – целое число, характеризующее максимальный период анализируемой дискретной функции. В нашем случае  $n$  совпадает с размерностью вектора  $X$  и равно 512.

### Нейронные сети

Как было сказано выше, в данной задаче используется две нейронные сети. Предполагается, что обе сети будут одноступенчатыми, и разница будет заключаться только в подаваемом сигнале и данных для обучения. Так как изначально ставится задача выявления события, то предлагается использовать несложную сеть, не требующую больших затрат в построении. В качестве первоначальной сети берется нейронная сеть прямого распространения с алгоритмом обратного распространения ошибок. Предполагается, что на первоначальном этапе данная сеть будет иметь только один скрытый слой, впоследствии сеть будет усложнена и, возможно, заменена на другую. На начальной стадии количество нейронов в входном слое равно размерности входного вектора. Как было сказано выше, на вход сети подается вектор составленный из четырех векторов размерности 512 (т.е. размерность входного вектора равна 2048). Так как изначально рассматривается задача выявления события, то выходной слой имеет два нейрона (т.е. да и нет). Количество нейронов в скрытом слое, активационную функцию и более подробный алгоритм обучения возможно определить только после эксперимента и разложения входных данных в ряд Фурье.

### **Дальнейшие шаги**

В дальнейшем для более глубокого анализа частотно-временных характеристик будет рассматриваться возможность использования вейвлет-преобразования [2], результаты которого предполагается подавать на вход нейронной сети.

В качестве нейронной сети предлагается использовать многоуровневую сеть, либо комбинацию нескольких сетей, результатом которой является непосредственная идентификация событий.

Исходная информация для рассмотренной математической обработки должна быть получена в ходе проводимых в настоящее время испытаний программно-технического комплекса идентификации состояния участника магистрального газопровода [3].

### **Список информационных источников**

- [1] Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М., «Численные методы», М.: Бином. Лаборатория знаний, 2003.
- [2] Бурнаев Е.В., «Применение вейвлет преобразования для анализа сигналов», М.: МФТИ, 2007.
- [3] Бернер Л.И., Заграничный А.В., Мостовой А.В., «Разработка и испытание системы мониторинга протяженных объектов на магистральных газопроводах», 2012.