

анализа, моделирования и оценки показателей качества автомобильных дорог; разработана картографическая визуализация полученных данных в виде «Электронного атласа состояния сети автомобильных дорог»; разработан «Программный комплекс информационно-аналитического обеспечения управления качеством автомобильных дорог на муниципальном и

региональном уровнях» в виде программного продукта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бируля, А.К. Проектирование автомобильных дорог [Текст] / А.К. Бируля. – М. Авторансиздат, 1961. – 500 с.

### Физико-математические науки

#### СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

**Солдатов А.И., Воробьева Г.С.,  
Макаров В.С., Фикс И.И.**

*Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет*

Ультразвуковые приборы, использующие время-импульсный метод, распространены очень широко. Основная погрешность измерения таких приборов обусловлена неточностью определения прихода ультразвукового импульса. Обычно момент прихода ультразвукового импульса определяют с помощью компаратора, но за счёт сложной формы ультразвукового импульса, время срабатывания компаратора не совпадает с началом импульса.

Если амплитуда и форма сигнала остаются постоянными, то погрешность определения времени распространения сигнала в среде остается постоянной и ее можно учесть. Однако на

практике в процессе распространения сигнала уменьшается его амплитуда за счет расхождения и потерь в среде. Системы автоматической регулировки усиления позволяют поддерживать амплитуду сигнала постоянной. Но если в процессе распространения сигнала меняется его форма, что особенно сильно проявляется при распространении в ограниченных средах, то применение АРУ или компаратора со «слеющим» порогом в этой ситуации не решает проблемы точности определения момента прихода импульса. Фундаментальной основой данного явления служит неравенство фазовых скоростей различных мод. Поэтому в процессе распространения импульса в ограниченных средах происходит «растягивание» сигнала во времени и изменение его формы.

Существенно повысить точность измерения можно, если применить современные методы обработки эхо-сигналов. Одним из таких методов [1] является метод аппроксимации огибающей эхо-сигнала кривой, описываемой полиномом второй степени:

$$s = a \cdot t^2 + b \cdot t + c, \quad (1)$$

где  $s$  – амплитуда огибающей,  $t$  – время,  $a, b, c$  – коэффициенты полинома.

Так как форма эхо-импульса несимметрична относительно оси  $t$ , то для аппроксимации принимается за начало исследуемого эхо-импульса.

Для нахождения коэффициентов  $a, b, c$  берутся значения амплитуды ультразвукового им-

пulses фронта используются две кривые. Одна кривая огибает импульс по положительным значениям, другая – по отрицательным значениям. Эти кривые имеют две общие точки, одна из которых импульса в трёх точках, соответствующих вершинам (экстремумам) синусоидального сигнала в трёх соседних периодах. Используя эти данные, составляется система уравнений:

$$\begin{cases} s_1 = a \cdot t_1^2 + b \cdot t_1 + c; \\ s_2 = a \cdot t_2^2 + b \cdot t_2 + c; \\ s_3 = a \cdot t_3^2 + b \cdot t_3 + c, \end{cases} \quad (2)$$

где  $s_1, s_2, s_3$  – значения амплитуды ультразвукового импульса в точках экстремумов в моменты времени  $t_1, t_2, t_3$ .

Из системы уравнений (2) находятся коэффициенты  $a, b, c$ .

$$s = a \cdot t^3 + b \cdot t^2 + c \cdot t + d.$$

Полином третьей степени в некоторых случаях аппроксимирует огибающую переднего фронта эхо-импульса с большей точностью,

По такому же принципу можно аппроксимировать форму переднего фронта импульса кривой, описываемой полиномом третьей степени:

что даёт лучший результат. Для нахождения коэффициентов  $a, b, c, d$  составляется система из четырёх уравнений:

$$\begin{cases} s_1 = a \cdot t_1^3 + b \cdot t_1^2 + c \cdot t_1 + d; \\ s_2 = a \cdot t_2^3 + b \cdot t_2^2 + c \cdot t_2 + d; \\ s_3 = a \cdot t_3^3 + b \cdot t_3^2 + c \cdot t_3 + d; \\ s_4 = a \cdot t_4^3 + b \cdot t_4^2 + c \cdot t_4 + d. \end{cases} \quad (3)$$

Решения систем уравнений (2) и (3) находятся с помощью метода Крамера [2]. Огибающие могут не пересекаться, поэтому в качестве начала эхо-импульса принимается точка наименьшего расстояния между огибающими.

В отличие от метода определения момента прихода эхо-импульса с помощью компаратора с фиксированным порогом срабатывания, погрешность методов огибающих второго и третьего порядков не зависит от амплитуды эхо-импульса, но зависит от его формы.

В реальных условиях на форму эхо-импульса существенно влияют помехи и шумы, которые приводят к ошибкам при расчёте урав-

нений огибающих. Чтобы уменьшить влияние помех и шумов на расчёт, для нахождения коэффициентов уравнения кривых был использован метод наименьших квадратов. Этот метод отличается тем, что в расчёт берётся количество точек, превышающее количество неизвестных переменных, и строится усреднённая огибающая по этим точкам. В общем случае метод наименьших квадратов используется для оценки неизвестных величин по результатам измерений, содержащим случайные ошибки [3].

Коэффициенты аппроксимации находятся путём решения следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n t_i^2 \cdot s_i = a \cdot \sum_{i=1}^n t_i^4 + b \cdot \sum_{i=1}^n t_i^3 + c \cdot \sum_{i=1}^n t_i^2; \\ \sum_{i=1}^n t \cdot s_i = a \cdot \sum_{i=1}^n t_i^3 + b \cdot \sum_{i=1}^n t_i^2 + c \cdot \sum_{i=1}^n t_i; \\ \sum_{i=1}^n s_i = a \cdot \sum_{i=1}^n t_i^2 + b \cdot \sum_{i=1}^n t_i + c \cdot n. \end{cases}$$

где  $n$  – количество точек экстремумов, выбранных для полиномиальной аппроксимации, индекс  $i$  – текущий номер экспериментальной точки.

В отличие от метода фиксации момента прихода сигнала с помощью компаратора с фиксированным порогом срабатывания, предлагаемый метод обеспечивает нулевую ошибку при любых линейных вариациях амплитуды сигнала. Это объясняется тем, что общий множитель всех элементов одного столбца (столбец значе-

ний, в которые входят величины  $s_i$ ) может быть вынесен за знак определителя. Подстановка таких коэффициентов в выражения (2) и (3) не меняет результат его вычисления.

Анализ проведенных расчетов позволяет сделать вывод, что использование полинома третьей степени позволяет более точно описать огибающую эхо-импульса, особенно нарастающую его часть. Поэтому погрешность метода аппроксимации огибающей эхо-импульса

полиномом третьего порядка составила 1/10 часть периода, а погрешность метода аппроксимации огибающей эхо-импульса полиномом второго порядка составила 1/2 часть периода.

Определим минимальную частоту дискретизации входного сигнала, обеспечивающую однозначное определение экстремумов в одном периоде входного сигнала. Для упрощения расчетов будем считать, что сигнал, поступающий на приемник, имеет синусоидальный вид с со-

хранением фазы, частоты и амплитуды в пределах одного периода. Максимальная ошибка в определении амплитудного значения напряжения будет в том случае, если два соседних отсчета АЦП с координатами  $(U_1, \omega \cdot t_1)$  и  $(U_1, \omega \cdot t_2)$  будут сделаны симметрично относительно экстремума, имеющего координаты  $(U_m, \pi/2)$ .

В этом случае фаза сигнала, при которой был сделан отсчет с координатами  $(U_1, \omega \cdot t_1)$  будет определяться из выражения:

$$\varphi = \omega \cdot t_1 = \frac{\pi}{2} - \frac{\omega \cdot t_2 - \omega \cdot t_1}{2} = \frac{\pi}{2} - \frac{2 \cdot \pi}{2 \cdot N},$$

где  $N$  – количество отсчетов АЦП за период.

Зная фазу можно найти амплитуду:

$$U_1 = U_m \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{N}\right) = U_m \cdot \cos\left(\frac{\pi}{N}\right).$$

Абсолютная ошибка в определении амплитуды составит:

$$U_m - U_1 = U_m \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\pi}{N}\right)\right).$$

Отсюда находим относительную ошибку:

$$\delta = \frac{U_m - U_1}{U_m} = 1 - \cos\left(\frac{\pi}{N}\right).$$

Если ошибка в определении максимальной амплитуды должна быть менее  $\delta$ , то

количество отсчетов определится из выражения:

$$N = \frac{\pi}{\arccos(1 - \delta)}. \quad (4)$$

Анализ выражения (4) позволяет сделать вывод, что при ошибке в определении амплитуды в 5% количество отсчетов за период должно быть не менее 10, при 20 отсчетах – ошибка уменьшается до 1,5%.

Для оценки точности рассматриваемого метода была получена экспериментальная зависимость погрешности измерения уровня от расстояния  $L$  между излучателем и приёмником. В эксперименте использовался круглый металлический волновод диаметром 52 мм. В качестве излучателя и приёмника использовались ультразвуковые преобразователи МА40В диаметром 16 мм. Они располагались по центру волновода. Частота ультразвуковых

колебаний равна 40 кГц. По этим результатам можно сделать следующие выводы. Аппроксимация фронта эхо-импульса огибающей третьего порядка не даёт преимущества по сравнению с методом огибающей второго порядка, однако трудоёмкость вычислений значительно выше. Поэтому, целесообразно применять метод огибающей второго порядка. Погрешность этого метода в основном определяется амплитудой эхо-импульса и правильным выбором расчётных точек. Применение метода аппроксимации нарастающей части эхо-импульса полиномом второй степени для определения времени прихода эхо-импульса позволяет в три раза повысить точность из-

мерения ультразвуковых приборов, использующих время-импульсный метод. Однако для получения высоких метрологических характеристик необходимо обеспечить не менее 10 отсчетов за период. Поэтому область применения метода ограничивается частотами до 10 МГц.

Применение новых методов обработки эхо-импульсов позволяет существенно снизить погрешность измерения ультразвуковых приборов, использующих время-импульсный метод.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солдатов А.И., Цехановский С.А. Способ компенсации погрешности измерения ультразвукового уровнемера. Патент РФ №2358243, от 10.06.2009
2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М., 1974. – 832 с.
3. Андре Анго. Математика для электро- и радиоинженеров. – М.: Наука, 1965. – 779 с.

## Философия

### **БИФУРКАЦИИ В ПРИРОДЕ И ОБЩЕСТВЕ: ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ И СОЦИОСИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ**

**Музыка О.А.**

*ГОУ ВПО «Таганрогский государственный педагогический институт»*

В социально-философском знании в условиях кризисного, переходного периода развития общества происходит трансформация смысла многих научных категорий с использованием языка синергетики адекватного времени неопределенности и хаотичности. Это приводит либо к формальному переносу понятий из естественнонаучной области в гуманитарную, либо к подмене смыслов вообще. Особой популярностью сегодня пользуется понятие «бифуркация», свободно используемое и интерпретируемое в разных контекстах.

Термин происходит от лат. bifurcus – раздвоенный и употребляется в широком смысле для обозначения всевозможных качественных перестроек или метаморфоз различных объектов при изменении параметров, от которых они зависят. Если эволюционирующая система зависит от параметра, то при его изменении поведение системы, в общем случае, может изменяться плавно. Однако при переходе параметра через некоторое критическое значение динамика системы может претерпеть качественную перестройку. Значения параметров, при которых происходит перестройка установившихся режимов движения в системе, называются бифуркационными значениями параметра (или точкой бифуркации), а сама перестройка – бифуркацией. При непрерывном изменении параметров могут возникать каскады бифуркаций.

В результате последовательности бифуркаций в динамической эволюционирующей системе возможно установление хаотического режима. Каскад бифуркаций – один из типичных сценариев перехода от порядка к хаосу, от простого периодического режима к сложному аperiodическому, при бесконечном удвоении периода. Модель развития сложной системы через последовательность бифуркаций и представление о хаосе, как о чрезвычайно сложной и развитой структуре, применима к явлениям самой различной природы: физической, биологической, социальной, экономической, т.е. к любым системам, где есть последовательность бифуркаций удвоения периода.

В «естественнонаучной» синергетике бифуркация представлена как критическое состояние системы, точка перехода от хаоса к порядку, момент оформления, возникновения нового порядка, завершающий период развития системы в режиме с обострением, выбор одной из целого веера бурно расширявших свою активность тенденций – как доминирующей и определяющей новый порядок в постбифуркационный период.

Теория бифуркаций динамических систем впервые была разработана математиками А. Пуанкаре и А.А. Андроном. Теория катастроф разработана математиком Рене Томом в 1972 году, в которой были изложены основные философские и методологические идеи ранее разработанной теории хаоса. Теория катастроф занимается математическим описанием резких качественных перестроек (переход в состояние детерминированного хаоса, фазовые переходы, самоорганизация), т.е. скачков в поведении нелинейных динамических систем, эволюционирующих во времени. Без теории катастроф понимание синергетических процессов будет