

ху, представляющую собой гауссовский шум. Как показали, проведенные исследования такой подход не соответствует действительности. Процессы, протекающие в реально функционирующих системах управления, являются нестационарными, а связь полезного сигнала и помехи может быть аддитивной, мультипликативной, аддитивно-мультипликативной либо иметь более сложную зависимость. Для многих нестационарных случайных процессов эргодичность не установлена, что снижает объективность используемой для контроля и управления информации, полученной при обработке одной реализации.

Предлагается подход к построению информационной системы анализа случайных процессов, основанный на методах и алгоритмах обработки моделей адекватных наблюдаемым случайным процессам.

В отличие от существующей практики предлагается процедура обработки случайных процессов, включающая пять этапов. Целью первого этапа является определение класса случайного процесса: стационарный или нестационарный. Задача второго этапа заключается в определении вида процесса: аддитивный, мультипликативный, аддитивно-мультипликативный. На третьем этапе процедуры обработки выявляется тип детерминированной составляющей случайного процесса.

В реальных ситуациях наиболее часто встречаются случайные процессы, которые можно представить в виде следующих моделей: аддитивная модель $X(t) = j_1(t) + z(t)$; мультипликативная модель $X(t) = j_2(t) \cdot z(t)$; аддитивно - мультипликативная модель $X(t) = j_1(t) + j_2(t) \cdot z(t)$, где $j_1(t), j_2(t)$ – детерминированные функции времени, $z(t)$ – стационарный случайный процесс. Возможны и другие композиции случайных и детерминированных функций, но все они могут быть сведены к вышеуказанным моделям. Математическое ожидание аддитивного и аддитивно-мультипликативного процессов определяется детерминированной аддитивной составляющей $j_1(t)$. Дисперсия и корреляционная функция мультипликативного и аддитивно-мультипликативного процессов зависят от $j_2(t)$.

Для классификации случайного процесса предлагается совместное использование критерия инверсий или критериев, основанных на ранговой корреляции, критерия рекордных точек, теста Бокса-Пирса. Исследования показали, что не следует слишком доверять числовым характеристикам степени достоверности выводов по непараметрическим критериям, поэтому дополнительно предлагается вычислять показатель Херста H . Процессы, для которых $0 < H < 0,5$, характеризуются знакопеременной тенденцией в сочетании с относительно высоким уровнем зашумленности. Для процессов с $0,5 < H < 1$ характерно сохранение наблюдаемой тенденции в сочетании с относительно низким уровнем зашумленности. При $H = 0,5$ имеют место процессы, в которых тренд

отсутствует. В структуру информационной системы анализа включены блок расчета числовых характеристик непараметрических критериев и блок вычисления показателя Херста.

Аддитивная модель характеризует процессы нестационарные по математическому ожиданию, которые при центрировании могут быть преобразованы к стационарным. Следующим этапом обработки случайного процесса является операция центрирования, которая реализована с использованием алгоритма скользящего среднего. Точность выполнения операции центрирования зависит от параметров наблюдаемого процесса, интервала дискретизации и окна сглаживания. На этом этапе выполняется адаптивная процедура по выбору окна сглаживания.

В зависимости от вероятностных характеристик $z(t)$ мультипликативный и аддитивно - мультипликативный процессы могут быть нестационарными по математическому ожиданию, дисперсии и корреляционной функции, что предполагает центрирование и нормирование процессов. Предложенная структура информационной системы позволяет решать задачи оценки вероятностных параметров нестационарных случайных процессов, протекающих как в моделируемых, так и реальных объектах управления различных технологических процессов.

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОЦЕНКИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА

Прохоренков А.М., Качала Н.М., Сабуров Е.И.
Мурманский государственный
технический университет,
Мурманск

Задача определения математического ожидания случайного нестационарного процесса, решаемая при обработке данных в современных информационно-измерительных комплексах, идентична задаче сглаживания случайной составляющей, которая предполагается стационарной. При выборе того или иного метода обработки данных необходимо исходить из возможности получения несмещенных, эффективных и простых аппаратурной реализации алгоритма обработки и возможности проведения анализа в реальном масштабе времени. В наибольшей степени перечисленным требованиям отвечает оператор скользящего среднего. Кроме того, данный оператор одновременно с вычислением оценок математического ожидания допускает выполнение операции центрирования.

Оценка математического ожидания, полученная с помощью оператора скользящего среднего, в общем случае, является смещенной. В качестве меры погрешности оценки математического ожидания можно использовать среднеквадратическую ошибку (СКО):

$d = \sqrt{D + \Delta^2}$. Первое слагаемое равно дисперсии оценки математического ожидания и характеризует долю случайной составляющей в значении ошибки. Систематическая составляющая ошибки Δ^2 зависит

от аддитивной детерминированной составляющей исследуемого случайного процесса $X(t)$.

На рисунке 1. приведены графики зависимости максимальной СКО оценки математического ожидания от интервала усреднения для аддитивно - мультипликативной модели $X(t) = j_1(t) + j_2(t)z(t)$ при $j_1(t) = 1 + \sin(2\pi f t)$ и различных законах изменения мультипликативной составляющей $j_2(t)$, при этом $z(t)$ – стационарный случайный процесс с нулевым математическим ожиданием. Представленная модель рассматривалась на длине реализации, равной периоду составляющей $j_1(t)$, в каждой точке отсчета рассчитывалась СКО. Анализ полученных результатов показал, если математическое ожидание изменяется по периодическому закону, то

существует оптимальный интервал усреднения, при котором максимальная ошибка на всей длине реализации будет наименьшей. Оптимальный интервал усреднения зависит от скорости нарастания математического ожидания, определяемой значением f .

В таблице представлены экспериментально полученные зависимости оптимального интервала усреднения и соответствующие зависимости СКО от интервала дискретизации, который выбирался из условия $\Delta t < \frac{1}{2f_g}$.

Проведенные исследования показали, что законы изменения мультипликативной составляющей практически не влияют на выбор интервала усреднения, отмечено более заметное их влияние на величину СКО.

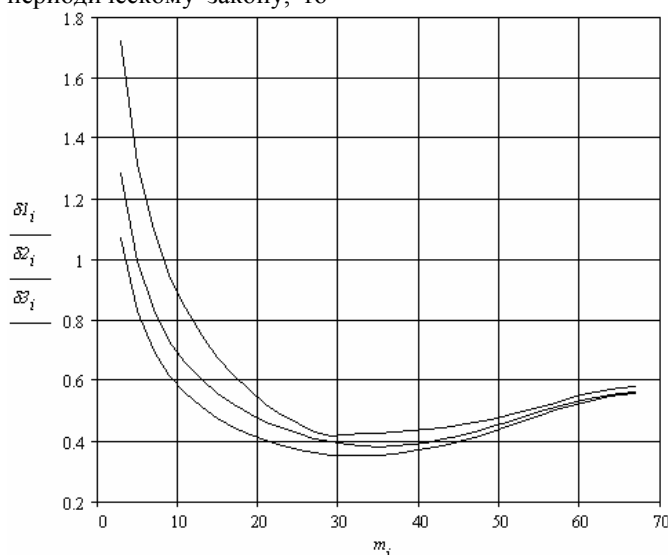


Рисунок 1. Зависимость максимальной СКО оценки математического ожидания от интервала усреднения ($\delta 1$: $j_2(t) = 2 - \exp(-8t)$; $\delta 2$: $j_2(t) = 2 - \cos(-28\pi t)$; $\delta 3$: $j_2(t) = 1 + 5t$)

Таблица 1. Зависимость интервала усреднения и СКО от интервала дискретизации

Значение f , Гц	Интервал усреднения m	СКО
1	$0,862188 * (\Delta t)^{-0,796739}$	$2,3874 * (\Delta t)^{0,395262}$
4	$0,29401 * (\Delta t)^{-0,785338}$	$3,7724 * (\Delta t)^{0,395565}$
14	$0,102316 * (\Delta t)^{-0,779936}$	$4,99992 * (\Delta t)^{0,396067}$
40	$0,0373379 * (\Delta t)^{-0,792728}$	$6,70392 * (\Delta t)^{0,397507}$

Для случая, когда аддитивная составляющая наблюдаемого процесса изменяется по нелинейному непериодическому закону, СКО уменьшается по мере увеличения интервала усреднения.

Операция центрирования нестационарного по математическому ожиданию процесса, представленного аддитивно-мультипликативной моделью, приводит его к процессу с отличным от нуля математическим ожиданием. Оценка математического ожидания центрированного процесса имеет синусоидальный характер, амплитуда зависит от интервала сглаживания, дисперсия оценки математического ожидания соизмерима с дисперсией исходного процесса, определяемой детерминированной составляющей $j_2(t)$ и случайной составляющей $z(t)$.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА

Сабуров И.В., Сабуров Е.И., Глухих В.Г.

Мурманский государственный
технический университет,

Государственное областное теплоэнергетическое
предприятие "ТЭКОС",
Мурманск

Современные системы централизованного теплоснабжения имеют двухлинейную сеть трубопроводов и являются системами с замкнутой циркуляцией. Свойство саморегулирования у потребителей, как правило, отсутствует, распределение теплоносителя производится предварительной установкой специально рассчитанных (на один из режимов) постоянных