

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО СГЛАЖИВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ

Гринюк Д. А., Олиферович Н. М., Сухорукова И. Г., Карпович М. Д., Михновец А. С.
Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники,
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь
E-mail: hryniukda@gmail.com

Рассмотрены варианты обработки данных с первичных измерительных преобразователей. Повышение чувствительности современных преобразователей сопряжено с высоким уровнем помех. Одновременно существенно растет вычислительная мощность микропроцессоров для использования более сложных алгоритмов фильтрации. В качестве объекта рассмотрен сигнал с датчика геометрических перемещений при измерении нелинейной деформации. Для задачи был выбран вариант кусочной аппроксимации квадратичной функцией. Оптимизация алгоритма сглаживания проводилась путем использования модельного сигнала подобного измеренному. Для повышения соотношения сигнал/шум предложено использовать двойное сглаживание.

I. ВВЕДЕНИЕ

При обработке трендов с первичных преобразователей всегда встает вопрос о рациональном уменьшении шумов. Этот вопрос решается достаточно просто для измерительных преобразователей с несущей первой гармоникой. Фильтры способны увеличить динамическую ошибку, но искажение информации происходит минимально. Однако при анализе трендов в научных или научно-производственных лабораториях нужно сохранить форму сигнала. Например, такие задачи стоят при обработке сигналов в тамографии.

Для линейных фильтров характерно внесение искажений за счет различного влияния на амплитуду и фазу гармоник полезного сигнала. Разнообразие методов, используемых в задачах анализа и моделирования временных рядов, велико [1]. При обработке данных используют методы математической статистики: критерий согласия Колмогорова, теорема Вальда, теорема Гюфдинга и т.д. Сейчас широко используются различные нечеткие, нейронные, вейвлет-преобразования и другие методы. В научных лабораториях могут различаться задачи по выделению полезной информации из измерительных трендов, поэтому происходит развитие методов обработки временных рядов. В литературе можно встретить варианты использования фильтров, основанные на скользящем взвешенном среднем; скользящем среднем арифметическом; методе Савицкого – Голея; сглаживании гауссианой и т.д.

Вариант многократного сглаживания обсуждается в ряде источников. Однако, согласно центральной предельной теореме теории вероятностей [2], выигрыш маловероятен. Это явление не зависит от метода сглаживания. При увеличении числа повторов n результат будет приближаться к однократному сглаживанию скользящим взвешенным средним с весами, распреде-

ленными по закону Гаусса. Однако многократное сглаживание имеет смысл при комбинации методов с различным принципом и при необходимости оптимизации вычислительной нагрузки на устройства.

II. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В процессе оптимизации обработки измерительных трендов механических деформаций композитных структур была выявлена проблема сильной зашумленности (рис. 1). Стояла задача выбора метода и настроек для максимального сохранения формы сигнала. Для обработки данных был выбран алгоритм с использованием метода наименьших квадратов [3, 4].

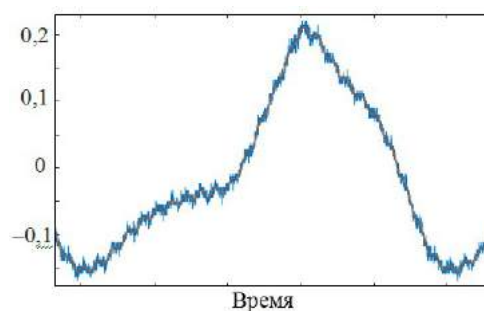


Рис. 1 – Зашумленный измерительный сигнал

Параметром настройки метода является ширина окна усреднения N и возможность использования многократного сглаживания. Для оценки их влияния на качество сглаживания произведено моделирование и последующий анализ двух сигналов с наложением шумов и помех, которые характерны для исходной задачи. Первый сигнал MS_1 является гармоническим сигналом. Другой сигнал является суммой пяти гармоник, которые были получены из сигнала на рис.1. Каждый из модельных сигналов имел эквивалентное количество точек на период (8022), как и у экспериментального сигнала.

Модельные сигналы сглаживались алгоритмом дважды в разных комбинациях окон первичного и вторичного сглаживания N_1 и N_2 . Значения окон выбирались из ряда: 5, 9, 13, 17, 23, 29, 35, 43, 51, 105, 151, 281, 341, 381, 421, 521, 621, 721, 821, 921, 969, 1017, 1065, 1111, 1301, 1491. Для оценки качества, определялось значение мощности шумов и полезных сигналов с использованием спектрального анализа и теоремы Парсеваля.

III. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Эффективность подавления помех путем однократного и двукратного сглаживания можно видеть на рис.2–3.

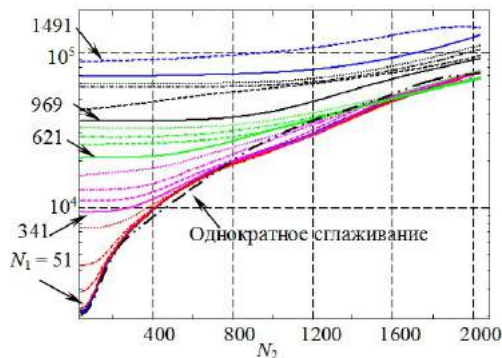


Рис. 2 – Отношение "исходный сигнал/шум" после сглаживания для MS_1

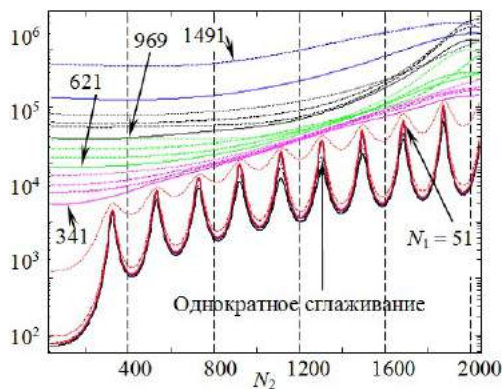


Рис. 3 – Отношение "исходный сигнал/шум" после сглаживания для MS_2

Анализ результатов моделирования показывает, что после значения N_2 1000–1200 для модельного сигнала MS_1 намечается устойчивая тенденция изменения амплитуды основного сигнала. При этом, если первичное сглаживание происходило в диапазоне до 300, то амплитуда полезного сигнала незначительно изменяется. Оптимальным выбором здесь будет двукратное первичное $N_1 = 250$ –300 и вторичное $N_2 = 1200$ –1800 сглаживание. Даже при $N_1 = 621$ и $N_2 = 1200$ –1400 позиция более выигрышная, чем при однократном сглаживании.

В сглаживании модельного сигнала MS_2 происходят практически такие же изменения отношения сигнал/шум в зависимости от N_1 и N_2 .

Однако наличие гармонической помехи показывает существенное влияние на результат сглаживания правильный выбор значения величины N_1 и N_2 как при однократном, так и при двукратном сглаживании.

В случае двукратного сглаживания при значениях N_1 выше 341, гармоническая помеха не проявляется, что соответствует трем её периодам.

Нелинейный характер работы фильтра не всегда позволяет прогнозировать его работу. Современные цифровые системы преобразования редко формируют тренды с нормальным распределением шумов и помех. Кроме полезной информации, очень часто в измерительном тренде наблюдаются помехи от сети питания и выпрямителей, особенностей работы аналогово-цифровых преобразователей (рис. 1).

Полученные результаты оптимизации параметров двукратного сглаживания были использованы для обработки измерительных данных в эксперименте, что отмечалось в начале. После моделирования и были определены компромиссные значения N_1 и N_2 , при которых наблюдаются небольшие изменения мощности полезных гармоник и наибольшее подавление шумовых составляющих. Для измерительного тренда было характерно плавание частоты полезного сигнала. Точная частота сигнала определялась путем вариации частоты при разложении в ряд Фурье и нахождения момента максимума амплитуды первой гармоники. После оптимизации процесса сглаживания флуктуации частоты не оказывали влияние на качество обработки измерительной информации.

IV. ВЫВОДЫ

Использование метода локальной аппроксимации по средствам наименьших квадратов предоставляет гибкие возможности по сглаживанию измерительной информации. Нелинейный характер преобразования позволяет получить эффект от многократного сглаживания на практике, несмотря на отсутствие теоретических предпосылок. Имитационное моделирование измерительных трендов позволяет оптимизировать параметры сглаживания.

1. Hangos, K. M. Process modelling and model analysis. /K. M. Hangos, I. T. Cameron – San Diego : Academic Press, 2001. – 543 p.
2. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. – М.: Высшая школа, 1999. – 576 с.
3. Гринюк, Д. А. Использование алгоритмов аппроксимации для сглаживания трендов измерительных преобразователей / Гринюк Д. А., Сухорукова И. Г., Олиферович Н. М. // Труды ВГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. 2017. – № 2 (200). – С. 82–87.
4. Hryniuk, D. Adaptive smoothing and filtering in transducers / D. Hryniuk, I. Suhorukova, M. Olyferovich // 2016 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream 2016), Vilnius, Lithuania, 21 April 2016. 2016. p. 1–4.