

Д.А. Гринюк, Н.М. Олиферович, И.Г. Сухорукова,  
И.О. Оробей

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОДНОКРАТНОГО И ДВУХКРАТНОГО НЕЛИНЕЙНОГО СГЛАЖИВАНИЯ

Увеличение производительности вычислительных систем позволяет применять более широкие возможности по обработке данных. Одним из таких направлений является обработка измерительных трендов. Как было показано ранее в [1–2], хорошие результаты дает использование квадратичного или линейного сглаживания измерительной информации. Один из вариантов улучшения качества работы фильтра является его многократное сглаживание, в простейшем варианте двукратное.

Основным параметром настройки метода является выбор окна усреднения  $N$ . Для определения эффективности данного подхода было проведено моделирование и анализ двух сигналов с разными параметрами шумов и помех. Один сигнал ( $MS_1$ ) представлял собой гармонику с наложением псевдослучайного шума, другой – сигнал ( $MS_2$ ) сложной формы с 5 гармониками характерными для первичного преобразователя и высокочастотной помехой с некратной основной гармоникой. Модельные сигналы сглаживались выбранным алгоритмом дважды в разных комбинациях первичного  $N_1$  и вторичного  $N_2$  тактов. Значения  $N_1$  и  $N_2$  принимали значения: 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.

Результаты работы фильтров можно видеть на рис. 1–2. Увеличение параметров  $N_1$  и  $N_2$ , демонстрирует, что увеличение окна способствует асимптотическому схождению отношения сигнал/шум между однократным и двукратным сглаживанием (рис. 1.).

Анализ для  $MS_1$  показал, что после значения  $N_2$  1000–1200 происходит изменение амплитуды полезного сигнала. Первичное сглаживание в диапазоне до 300 незначительно влияет на амплитуду.

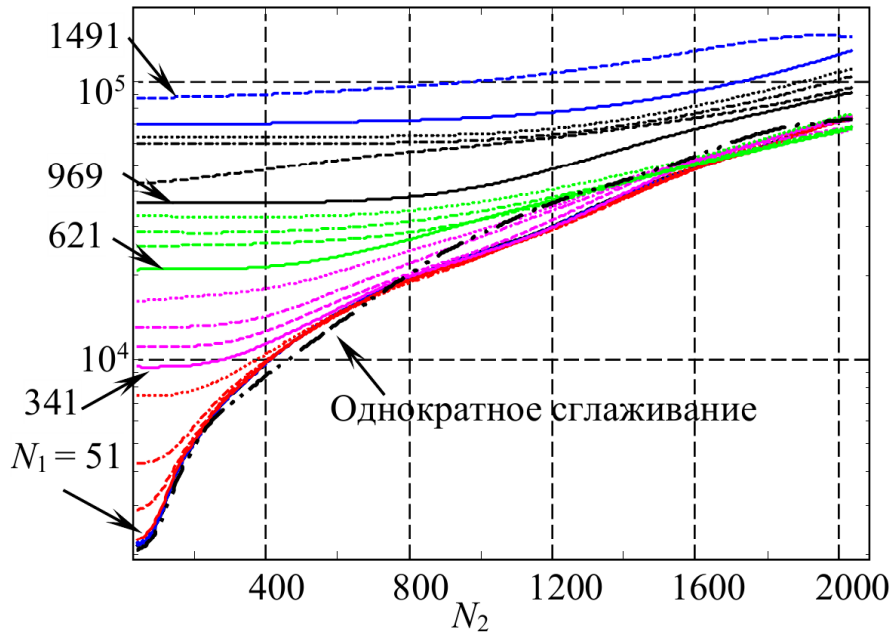


Рис. 1. Отношение исходный сигнал/шум после сглаживания для  $MS_1$

Оптимальным выбором здесь будет двукратное первичное  $N_1 = 250\text{--}300$  и вторичное  $N_2 = 1200\text{--}1800$  сглаживание. Даже при  $N_1 = 621$  и  $N_2 = 1200\text{--}1400$  результаты работы фильтра лучше, чем при однократном сглаживании.

Для сигнала  $MS_2$  можно наблюдать схожую ситуацию (рис. 2). Наличие гармонической помехи показывает существенное влияние на результат обработки величины  $N_1$  и  $N_2$  как при однократном, так и при двукратном сглаживании. При двукратном сглаживании для значений  $N_1$  выше 341, гармоническая помеха не проявляется. В этом случае на окно усреднение получалось больше трех периодов гармонической помехи.

Результаты показывают, что настройка алгоритма сглаживания методом наименьших квадратов зависит от особенностей измерительного тренда. Выбор оптимальных значений параметров работы двукратного сглаживания, в первую очередь, определяется особенностями динамики полезной информации (помехи для  $MS_1$  и  $MS_2$  были одинаковы, а оптимальные параметры  $N_1$  и  $N_2$  разные). Нелинейные особенности фильтра затрудняют прогнозирование его работы. Измерительные тренды цифровых систем не обеспечивают нормальное распределение и помех.

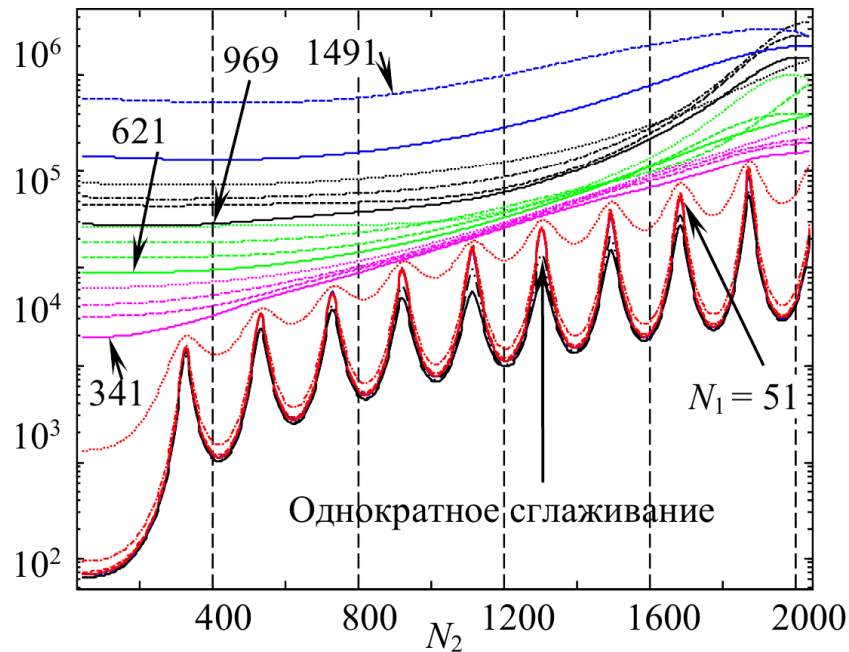


Рис. 2. Отношение исходный сигнал/шум после сглаживания для  $MS_2$

В целом, исследованный метод наименьших квадратов предоставляет хорошие возможности по обработке информации в условиях сильных помех. Несмотря на дискуссию в литературе, многократное сглаживание может быть более эффективным решением задачи обработки измерительной информации. Сохранение формы полезного сигнала наблюдается в большей степени, чем при использовании традиционных линейных фильтров.

### Литература

1. Гринюк, Д.А. Использование алгоритмов аппроксимации для сглаживания трендов измерительных преобразователей / Д.А. Гринюк, И.Г. Сухорукова, Н.М. Олиферович // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. – Минск: БГТУ, 2017. – № 2 (200). – С. 82–87

2. Hryniuk D., Suhorukova I. and Oliferovich N. Adaptive smoothing and filtering in transducers. 2016 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream), Vilnius, Lithuania, 2016, pp. 1–4, doi: 10.1109/eStream39242.2016.7485917.