

6. Шипунов М.В. Информационное обеспечение систем управления углебогатыми фабриками/ М.В. Шипунов, К.А. Ивушкин, В.В. Грачев, А.В. Циряпкина // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Труды IX Всероссийской научно-практической конференции. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2013. – С. 135-141.

УДК 519.281:622.341.11

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ АДАПТИВНОГО СГЛАЖИВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ

Н.И. Твердоступ

кандидат технических наук, доцент кафедры электронных вычислительных машин, Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, г. Днепропетровск, Украина, e-mail: tnik72@mail.ru

Аннотация. Исследовано влияние экспоненциального сглаживания на погрешность результата измерения индуктивности параметрического датчика, расположенного на поверхности железорудного штуфа. Установлено, что сглаживание почти на порядок уменьшает погрешность результата измерения при мешающем влиянии неоднородности магнитного поля датчика.

Ключевые слова: экспоненциальное сглаживание, результат измерения, погрешность, индуктивный датчик, квазиосевая симметрия, железорудный штуф, неоднородность поля.

THE EFFECTIVENESS OF ADAPTIVE SMOOTHING TO IMPROVE THE ACCURACY QUALITY CONTROL IRON ORE

Nikolay Tverdostup

Ph.D. in engineering science, Associate Professor of Electronic Calculable Machines Department, Dnepropetrovsk National University of the name Olesya Gonchara, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: tnik72@mail.ru

Abstract. Influence of exponential smoothing on an error of result of measurement of inductance of the parametrical sensor located on a surface iron ore piece is investigated. It is established that smoothing almost much reduces an error of result of measurement at stirring influence of heterogeneity of a magnetic field of the sensor.

Keywords: exponential smoothing, the result of measurement, error, inductive sensor, quasi axial symmetry, iron ore, field inhomogeneity.

Введение. Железорудное сырье, как объект электромагнитного контроля, представляет собой среду с сильной анизотропией свойств, что суще-

ственно снижает точность определения содержания массовой доли магнетита индуктивными датчиками [1,2]. Для повышения точности актуальным является создание средств контроля качества железорудного сырья, в которых минимизация погрешности достигается предварительной обработкой значений отдельных измерений. Определяющим при этом является выбор оптимального алгоритма обработки, так как от него, в большинстве случаев, зависит качество полученного результата.

Анализ исследований. Из множества алгоритмов обработки измерительной информации выделяются методы линейного и нелинейного сглаживания, основанные на замене эмпирических данных расчетными, имеющими значительно меньшую колеблемость, чем исходные данные, что позволяет уменьшить погрешность результата измерения [3]. В настоящее время для обработки временных рядов используют адаптивный алгоритм экспоненциального сглаживания, суть которого сводится к преобразованию текущих значений переменной X_i согласно рекуррентной формуле Брауна[4]

$$\tilde{X}_i = \alpha X_i + (1 - \alpha) \tilde{X}_{i-1}, \quad (1)$$

где $\tilde{X}_i, \tilde{X}_{i-1}$ – экспоненциальные средние (сглаженные значения уровней временного ряда) на моменты времени i и $i-1$ соответственно; α – параметр сглаживания ($0 < \alpha \leq 1$). Экспоненциальное сглаживание широко используют для решения задач социально-экономического прогнозирования [3]. Представляет интерес определение эффективности этого алгоритма при обработке числовых рядов в виде последовательностей значений отдельных измерений магнитной проницаемости железорудного штуфа, полученных в условиях влияния мешающих факторов, которые способствуют уменьшению надежности результата измерения и его точности.

Цель работы. Целью настоящей работы является определение степени влияния экспоненциального сглаживания на погрешность результата измерения в зависимости от количества эмпирических данных, величины параметра сглаживания и влияния отдельных мешающих факторов.

Материалы и результат исследований. Для исследования влияния экспоненциального сглаживания на погрешность ΔX результата измерения в качестве числовых рядов были использованы значения X_i индуктивности параметрического датчика, располагаемого на поверхности железорудного штуфа, представляющего собой слабомагнитное вещество с сильной анизотропией, с целью определения действительной величины индуктивности в виде среднего арифметического X_{cp} . Влияние на результат измерения мешающих факторов было обеспечено использованием в качестве па-

раметрических датчиков катушек с полной осевой или квазиосевой симметрией, существенно отличающихся величиной градиента магнитного поля в зоне взаимодействия с поверхностью штуфа, при этом датчики располагали или на гладкой поверхности штуфа или на шероховатой со случайным характером распределения кривизны. Эти мешающие факторы влияют на величину неоднородности магнитного поля датчика, которая является основным источником погрешности при контроле магнитной проницаемости железорудных штуфов.

Для оценки динамики поведения X_{cp} и ΔX в зависимости от количества измерений N среднее значение определяли как кумулятивное скользящее

$$X_{cp}(N) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i,$$

при $1 \leq N \leq 100$, а погрешность среднего как доверительный интервал ΔX с вероятностью 0,95

$$\Delta X(N) = t_N \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - X_{cp})^2}}{\sqrt{N(N-1)}},$$

где t_N – коэффициент Стьюдента. Величины $X_{cp}(N)$ и $\Delta X(N)$ вычисляли для исходного и сглаженного согласно (1) числовых рядов. В качестве действительной величины индуктивности датчика были приняты значения X_{cp} при $N = 100$ для исходного числового ряда.

Оптимизация параметра сглаживания α проведена при наиболее сильном влиянии неоднородности магнитного поля датчика. Этому условию соответствует числовой ряд значений индуктивности датчика с квазиосевой симметрией, расположенного на шероховатой поверхности штуфа при выбранных значениях α : 0,01, 0,1 и 0,5. На рис. 1, 2, 3 представлены наиболее характерные результаты сглаживания при $\alpha = 0,1$. Видно, что сглаживание существенно уменьшает диапазон колебаний значений исходного ряда X_i и кумулятивного скользящего среднего X_{cp} , уменьшает погрешность среднего ΔX . Количественные результаты оптимизации параметра сглаживания показаны в таблице 1 (здесь и далее величина индуктивности приведена в мГн).

Из таблицы 1 следует, что значение параметра $\alpha = 0,1$ является наиболее близким к оптимальному, так как разность результатов измерений X_{cp} до и после сглаживания составляет только 0,001 по сравнению с 0,014 при $\alpha = 0,01$, также погрешность ΔX равна $\pm 0,002$, что меньше погрешности \pm

0,009 при $\alpha = 0,5$. При значении $\alpha = 0,1$ получена погрешность результата измерения в восемь раз меньше погрешности для исходного (несглаженного) ряда. Полученный результат оптимизации α совпадает с утверждением о том, что оптимальный диапазон параметра α находится в пределах 0,1 – 0,3 [3,4] (утверждение относится к сглаживанию временных рядов).

Таблица 1 – Влияние параметра сглаживания α на результат измерения и его погрешность

Действительная величина	Исходный ряд	Сглаженный ряд		
		$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,5$
Результат измерения, $X_{\text{ср}}$	5,789	5,775	5,788	5,790
Погрешность, ΔX	$\pm 0,016$	$\pm 0,001$	$\pm 0,002$	$\pm 0,009$

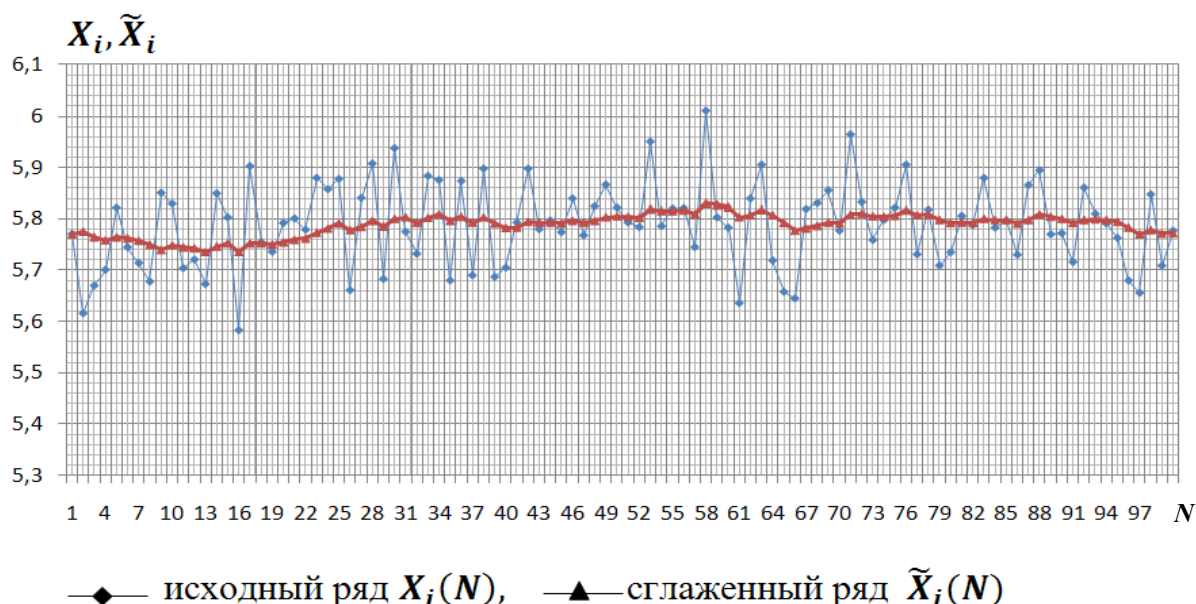


Рисунок 1 – Исходные X_i и сглаженные \tilde{X}_i значения в зависимости от количества измерений N (параметр $\alpha = 0,1$)

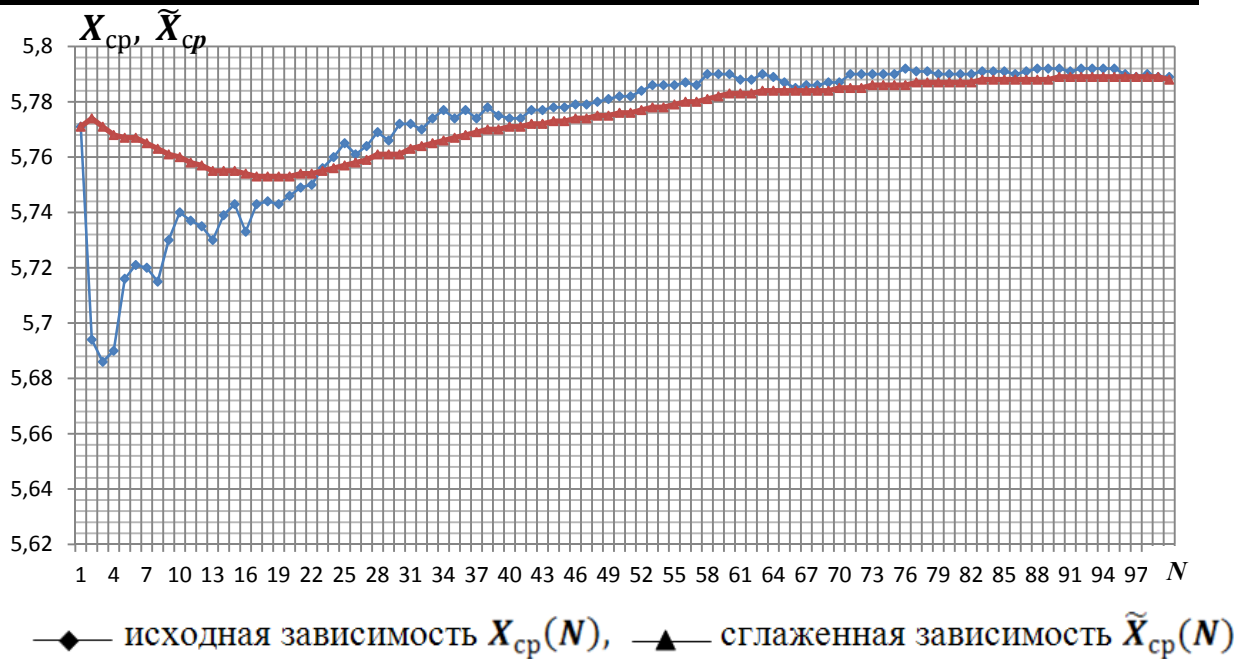


Рисунок 2 – Кумулятивное скользящее среднее исходных X_{cp} и сглаженных \tilde{X}_{cp} значений ($\alpha = 0,1$)

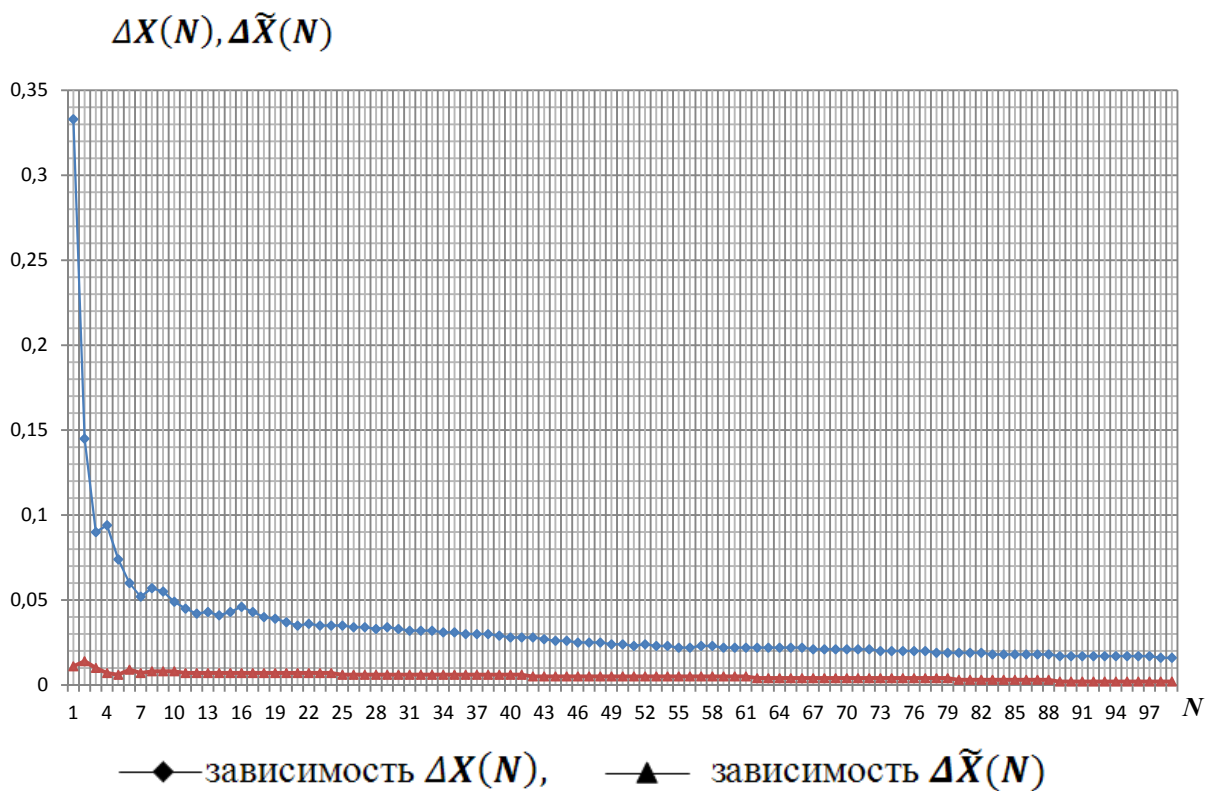


Рисунок 3 – Погрешности скользящего среднего исходных ΔX и сглаженных $\Delta \tilde{X}$ значений как функции количества N измерений ($\alpha = 0,1$)

Эффективность экспоненциального сглаживания в зависимости от степени неоднородности магнитного поля датчика была определена путем обработки числовых рядов, полученных от датчиков с заведомо малой неоднородностью поля (полная осевая симметрия) и с большой (квазиосевая симметрия), расположенных на шероховатой поверхности штуфа. Сглаживание проводилось при $\alpha = 0,1$ с последующим сравнением относительных погрешностей $\delta = \Delta X / X_{\text{cp}}$ из-за отличающихся собственных значений индуктивностей датчиков (см. таблицу 2).

Таблица 2 – Погрешности датчиков с осевой и квазиосевой симметрией

Параметр результата измерения	Исходный ряд		Сглаженный ряд	
	Квазиосевая симметрия	Осевая симметрия	Квазиосевая симметрия	Осевая симметрия
Действительное значение, X_{cp}	5,789	26,380	5,788	26,388
Абсолютная погрешность, ΔX	$\pm 0,016$	$\pm 0,006$	$\pm 0,002$	$\pm 0,002$
Относительная погрешность, δ	0,276%	0,0227%	0,035%	0,008%

Из сравнения данных таблицы 2 следует:

- для исходного ряда относительная погрешность от неоднородности поля у датчика квазиосевой симметрией на порядок больше погрешности датчика с полной осевой симметрией;
- отношение относительных погрешностей δ для датчиков с квазиосевой и осевой симметрией до сглаживания равно 12, после сглаживания – 4,4, следовательно, сглаживание уменьшает различие погрешностей по величине;
- для датчика с квазиосевой симметрией после сглаживания погрешность δ уменьшилась в 7,89 раза, а для датчика с осевой симметрией – в 2,84 раза, следовательно, сглаживание оказывает большее влияние на большую погрешность чем на меньшую.

Количественные результаты влияния мешающего воздействия шероховатости поверхности железорудного штуфа до и после сглаживания для датчика с осевой симметрией показаны в таблице 3.

Сравнивая соответствующие параметры из таблицы 3 следует:

- на действительное значение результата измерения X_{cp} шероховатость поверхности железорудного штуфа оказывает влияние, превосходящее абсолютную погрешность ΔX , после сглаживания влияние шероховатости на X_{cp} практически не изменяется; следовательно, сглаживание не уменьшает разницу в значениях X_{cp} , вызванную влиянием шероховатости;

– сглаживание исходного ряда в три раза уменьшает погрешность результата ΔX без ощутимого влияния на ее величину шероховатости поверхности штуфа.

Таблица 3 – Погрешности для датчика с осевой симметрией на шероховатой и гладкой поверхностях

Параметр результата измерения	Исходный ряд		Сглаженный ряд	
	Шероховатая	Гладкая	Шероховатая	Гладкая
Действительное значение, X_{cp}	26,380	26,370	26,388	26,372
Абсолютная погрешность, ΔX	$\pm 0,006$	$\pm 0,006$	$\pm 0,002$	$\pm 0,002$
Относительная погрешность, δ	0,0227%	0,0228%	0,0076%	0,0076%

Вывод. Проведенные исследования эффективности экспоненциального сглаживания показали следующее:

- экспоненциальное сглаживание числовых рядов измерительных данных позволяет почти на порядок уменьшить погрешность результата измерений;
- в условиях влияния мешающих факторов сглаживание оказывает более сильное влияние на большую погрешность, чем на меньшую;
- сглаживание эффективно подавляет мешающее влияние неоднородности магнитного поля датчика в зоне контроля; влияние шероховатости контролируемой поверхности железорудного штуфа сглаживанием не уменьшается;
- алгоритм экспоненциального сглаживания может быть использован для предварительной обработки измерительной информации с целью повышения точности результата измерения;
- дальнейшее повышение эффективности сглаживания требует решения задачи нахождения критерия оптимизации параметра сглаживания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марюта, А.Н. Контроль качества железорудного сырья [Текст] / А.Н. Марюта, И.К. Младецкий, П.А. Новицкий. – К. : Техніка, 1976. – 220 с.
2. Твердоступ, Н.И. Индуктивные датчики для технологического контроля содержания магнетита в железорудном сырье [Текст] / Н.И. Твердоступ // Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления: Всероссийская науч.-техн. конф., 15 – 20 мая 1994 г. : тез. докл. / Гос. ком. РФ по высш. обр. – М., 1994. – С. 127 – 128.

3. Лукашин, Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов [Текст] / Ю.П. Лукашин. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
4. Четыркин, Е.М. Статистические методы прогнозирования [Текст] / Е.М. Четыркин. – М.: Статистика, 1977. – 200 с.

УДК 621.382.08(035.5)

ИЗМЕРЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ ИНДУКТИВНОГО ИМПЕДАНСА МЕТОДОМ ТРЁХ ВОЛЬТМЕТРОВ

Н.И. Твердоступ

кандидат технических наук, доцент кафедры электронных вычислительных машин, Днепрпетровский национальный университет имени Олеся Гончара, г. Днепрпетровск, Украина, e-mail: tnik72@mail.ru

Аннотация. Исследованы возможности метода трех вольтметров для измерения индуктивности, активного сопротивления, а также их частотных характеристик. Установлено, что в диапазоне частот до 100 кГц погрешность измерения индуктивности составляет не более 0,3%, активного сопротивления – 8,65%.

Ключевые слова: индуктивность, сопротивление, импеданс, метод трёх вольтметров, измерение, частотная характеристика, добротность, погрешность, образцовая мера.

MEASURING OF CONSTITUENTS OF INDUCTIVE IMPEDANCE BY THE METHOD OF THREE VOLTMETERS

Nikolay Tverdostup

Ph.D. in engineering sciences, Associate Professor of Electronic Calculable Machines Department, Dnepropetrovsk National University of the name Olesya Gonchara, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: tnik72@mail.ru

Abstract. Possibilities of method of three voltmeters are investigational for measuring of inductance of pure resistance, and also their frequency descriptions. It is set that in the range of frequencies to 100 kHz the error of measuring of inductance makes no more than 0,3%, pure resistance - 8,65%.

Keywords: inductance, resistance, impedance, method of three voltmeters, measuring, frequency description, good quality, error, exemplary measure.

Введение. Среди методов измерения индуктивного импеданса [1] выделяется метод трех вольтметров [2], который используют на промышленных частотах (50, 400 Гц) для определения мощности, потребляемой приемником электрической энергии, его активного сопротивления, реактанса