

ЛИТЕРАТУРА

1. Гришин Б.С. Материалы резиновой промышленности: информационно-аналитическая база данных: Справочник в 2-х т. – Казань: КГТУ, 2010. – Т1. – 506 с.
2. Synthesis and Characterization of Epoxidized Styrene–Butadiene Rubber/Silicon Dioxide Hybrid Materials / M.A. de Luca, T.E. Machado, R.B. Notti, M.M. Jacobi // Journal of Applied Polymer Science. – 2004. – № 92.– p. 798–803.
3. Эпоксидирование жидких каучуков и резиновой крошки перекислотами in situ /Л.В. Ермольчук, В.П. Бойко, В.К. Грищенко, Е.В. Лебедев // Вопросы химии и химической технологии. – 2008. – №5.– С. 53-58.
4. Chemical Modification of Polydienes in Latex Medium: Study of Epoxidation and Ring Opening of Oxiranes / D. Derouet, S.Mulder-Houdayer, J.C. Brosse // Journal of Applied Polymer Science. – 2005. – № 95.– P. 39–52.
5. Епоксидування натурального каучуку в середовищі вода – ксилол / Д.О. Шаповалов, В.В. Ведь, С.М. Зибайло, В.Л. Юшко // Вопросы химии и химической технологии. – 2014. – №3.– С. 89-93.
6. Совмещенный реакционно-разделительный процесс эпоксидирования отходов производства натурального каучука / Д.О. Шаповалов, С.Н. Зыбайло, В.Л. Юшко // Международная научно-техническая конференция «Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2014» (Днепропетровск 14 февр.-28 марта. 2014 г.). – Днепропетровск: НГУ, 2014. – С.324.
7. Ниашавили, Г.А. Адгезивы и клеевые композиции для крепления эластомеров к металлам в процессе вулканизации [Текст] /Г.А. Ниашавили, О.В. Лакиза – М.: ЦНИИТ-Энефтехим, 1991. – 76 с.
8. Эбич, Ю.Р. Физико-химические аспекты формирования адгезионных металлополимерных систем [Текст] / Эбич, Ю.В. Емельянов, С.Н. Зыбайло //Геотехническая механика: Сб. научн. тр. – 2002. – Вып. 31. – С.193-200.

УДК 681.51

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫМИ
ФАБРИКАМИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ¹****К.А. Ивушкин¹, М.В. Шипунов², В.В. Грачев³**

¹кандидат экономических наук, заместитель генерального директора, ООО «Объединенная компания «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Россия, [e-mail: info@oksshs.ru](mailto:info@oksshs.ru)

²начальник отдела систем управления производством, ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», г. Новокузнецк, Россия, e-mail: mihail.shipunov@gmail.com

³кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации и информационных систем, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия, e-mail: vitaly.v.grachev@gmail.com

¹ Работа поддержана грантом РФФИ по проекту №15-07-01972

Аннотация. Рассмотрены вопросы проектирования современных систем автоматизации управления (САУ) углеобогащительными фабриками на примере фабрики «Калтанская-Энергетическая» (г. Калтан Кемеровской обл., Россия). Приводится описание функциональной и технической структуры САУ. Описано используемое базовое программное обеспечение, разработанное информационное обеспечение, а так же режимы функционирования САУ.

Ключевые слова: система автоматизации управления (САУ), функциональная структура САУ, техническая структура САУ, сервер предыстории, контроллер, программное обеспечение, информационное обеспечение, SCADA-система, мнемосхема.

AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF NEW GENERATION COAL-PREPARATION PLANTS

Konstantine Ivushkin¹, Michael Shipunov², Vitaly Grachev³

¹Ph.D. in Economic Sciences, Deputy general director, United Company "Sibshakhtostroi" Ltd., City of Novokuznetsk, Russia, [e-mail: info@oksshs.ru](mailto:info@oksshs.ru)

²Head of Department of production control systems, Research Center of control systems Ltd., City of Novokuznetsk, Russia, e-mail: mihail.shipunov@gmail.com

³Ph.D. in Technical Sciences, Associate professor of automation and information systems Department, Siberian State Industrial University, City of Novokuznetsk, Russia, e-mail: vitaly.v.grachev@gmail.com

Abstract. The problems of design of modern automated control systems (ACS) of coal-preparation plants by the example of the factory "Kaltanskaya-Energeticheskaya" (City of Kal-tan, Kemerovo region, Russia) have been offered. The description of the functional and technical structures of the ACS have been identified. Used basic software, developed dataware, as well as the ACS operation modes have been described.

Keywords: automated control system (ACS), functional structure of the ACS, technical structure of the ACS, historical server, controller, software, dataware, SCADA-system, mnemonic scheme.

Введение. Начиная с конца 90-х годов XX века, при создании углеобогащительных фабрик Кузбасса стали разрабатываться и реализовываться принципиально новые решения, позволяющие говорить о начале создания фабрик нового поколения [1-3]. Среди основных проектных и технологических решений можно выделить:

- применение новых методов обогащения углей, дающих низкую энергоёмкость производства;
- рациональное сочетание отечественного и импортного оборудования с его объединением в эффективную и высоконадёжную структуру;
- гибкость технологической схемы, обеспечивающая возможность изменения структуры объекта, выбора и реализации рациональных схем и

режимов процесса обогащения;

- экологичность и безопасность всего производства, достигаемые применением закрытых складов рядовых углей и концентратов, замкнутого цикла оборота воды, исключением традиционных процессов сушки концентрата;
- высокий уровень автоматизации агрегатов, технологических процессов и в целом всего производства с применением современных программно-технических средств.

Одной из первой современной системой автоматизации управления (САУ) углеобогатительной фабрикой (ОФ) была система, внедренная в 2001 году на ОФ «Антоновская» (г. Новокузнецк), которая послужила прототипом практически для всех последующих новых и реконструированных отечественных ОФ. САУ ОФ «Антоновская» была разработана Научно-исследовательским центром систем управления с участием Объединенной компании «Сибшахтострой» и Сибирского государственного индустриального университета. Система автоматизации управления ОФ «Антоновская» была спроектирована как многоуровневая система, предназначенная для автоматизации управления производственным комплексом обогатительной фабрики, включая задачи:

- анализа и управления производством;
- оптимизации технологических режимов обогащения;
- контроля и управления технологическим комплексом обогатительной фабрики;
- локального и многосвязного регулирования технологических процессов подготовки и обогащения рядовых углей, складирования и погрузки концентрата;
- идентификации объектов управления и исследования, настройки алгоритмов управления технологическими и производственными процессами;
- инструментальной поддержки проектирования информационного и рабочего программного обеспечения в процессе модернизации и развития системы автоматизации.

Изменения в системах автоматизации управления ОФ до настоящего времени касались, как правило, технических средств и базового программного обеспечения при практически одном и том же методическом, функциональном, информационном и алгоритмическом обеспечении.

Цель и задачи. Основная цель создания САУ ОФ – это повышение эффективности управления технологическим комплексом и, вследствие этого, улучшение технико-экономических показателей его функционирования:

- снижение удельных затрат на производство и увеличения выхода годного;

- повышение качества товарной продукции.

Система автоматизации управления решает следующие задачи [4]:

- оперативного формирования и анализа информации об изменениях режимов функционирования и состояний технологических процессов, агрегатов и оборудования, потреблении электрической и тепловой энергии;
- оперативной согласованной коррекции заданий на режимные параметры технологических процессов;
- оперативной реализации управляющих решений и регулирования технологических параметров;
- контроля, учета и анализа нарушений технологической и производственной дисциплины, эффективности управления;
- комплексного и детального отображения информации о состоянии оборудования и агрегатов, изменениях технологических параметров, о действиях оперативного персонала в системе.

Материал и результаты. Примером современной САУ может служить одна из последних созданных систем – САУ ОФ «Калтанская-Энергетическая» (г. Калтан Кемеровской области), внедренная в начале 2015 года.

Обогатительная фабрика «Калтанская-Энергетическая» состоит из следующих комплексов:

- комплекс приема, складирования и подготовки рядовых углей;
- комплекс обогащения рядового угля;
- комплекс складирования товарной продукции со зданием классификации, включающий укрытый склад товарной продукции, открытый склад товарной продукции, а также здание классификации;
- комплекс погрузки готовой продукции в ж/д вагоны.

В функциональной структуре САУ ОФ «Калтанская-Энергетическая», представленной на рисунке 1, выделяются четыре основные системы

- система централизованного сбора, обработки и хранения информации;
- система автоматизации управления производственными процессами обогатительной фабрики (САУП);
- система инженерного сопровождения;
- система автоматизации управления технологическим комплексом (САУ ТК), состоящей в свою очередь также из четырех систем
 - автоматизации оперативно-диспетчерского контроля и управления технологическим комплексом фабрики;
 - автоматизации управления технологическим комплексом углеподготовки;
 - автоматизации управления технологическим комплексом обогащения рядового угля;

- автоматизации управления технологическим комплексом погрузки.

Техническая структура САУ ОФ (рисунок 2) реализована как двухуровневая система, построенная на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК), серверов, персональных компьютеров, HMI-терминалов и разнообразного коммуникационного оборудования.

Особенность обогатительной фабрики «Калтанская-Энергетическая» заключается в том, что технологический комплекс главного корпуса полностью укомплектован импортным оборудованием, а в качестве программно-аппаратных средств САУ использована продукция корпорации Schneider Electric (Франция) [5].

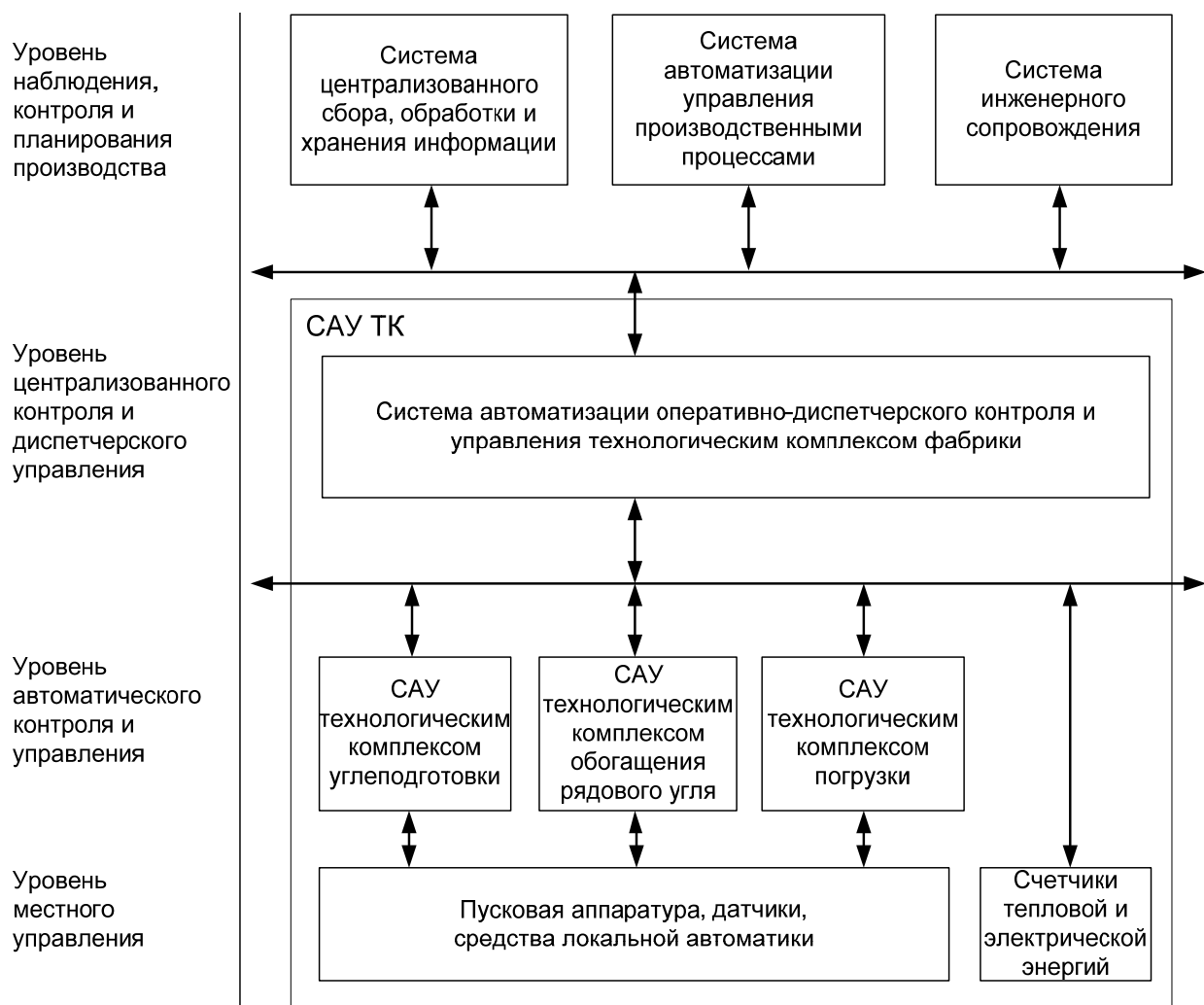


Рисунок 1 – Схема функциональной структуры САУ ТК ОФ «Калтанская-Энергетическая»

Для построения системы «нижнего» уровня САУ ОФ «Калтанская-Энергетическая» использовались ПЛК Modicon Quantum от Schneider Electric. Контроллеры Quantum, предлагая большой выбор процессоров, отлично подходят для сложных процессов, и их производительность обеспечивает:

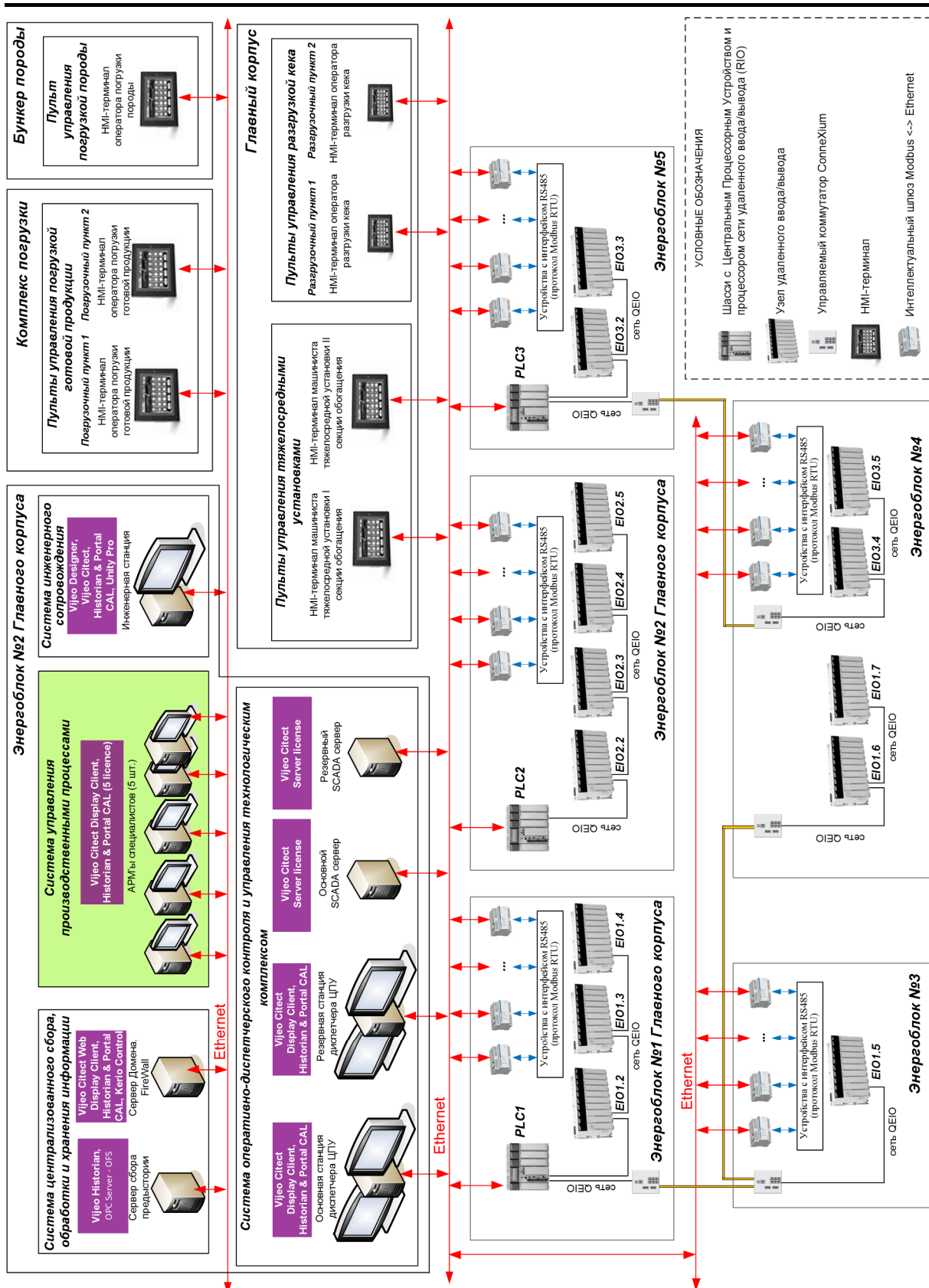


Рисунок 2 – У крупная техническая структура САУ ОФ «Калганская-Энергетическая»

- оптимальное время циклов, объединяя еще больше возможностей обмена данными и диагностики, гибкость памяти и хранение данных;
- максимальную производительность при работе с логическими инструкциями и инструкциями с плавающей запятой [5].

– для построения системы «верхнего» уровня САУ ОФ «Калтанская-Энергетическая» был использован пакет прикладных программ Vijeo [6] Schneider Electric, в частности, следующие компоненты.

1. Серверы ввода-вывода (OPC Server – OFS), посредством которых собирается производственная информация из подсистемы «нижнего» уровня.

2. Сервер сбора предыстории Vijeo Historian. В нем аккумулируется информация о работе оборудования САУ ОФ, произошедших событиях, повлекших простой оборудования или создание аварийной ситуации, а также о действиях персонала. Информация, накопленная на сервере Vijeo Historian, обрабатывается и публикуется на портале в любом требуемом и удобном для восприятия виде: графиков, таблиц, диаграмм, текста. Доступ к такой информации возможен с рабочего места диспетчера, либо с рабочей станции АРМ специалиста.

3. Два SCADA-сервера Vijeo Citect Server (основной и резервный). Они осуществляют сбор и передачу данных реального времени на станции диспетчера и АРМы специалистов.

4. Средства визуализации данных Vijeo Citect Display Client.

5. Программное обеспечение для анализа данных и подготовки отчетности Vijeo Citect Historian & Portal CAL.

6. Программное обеспечение инженерной станции: Vijeo Citect, Vijeo Historian, Vijeo Designer и Unity Pro. Инженерная станция обеспечивает инструментальную поддержку изменений информационного и прикладного программного обеспечения САУ ОФ, а также решение задач производственно-исследовательского характера.

Информационное обеспечение СУ ОФ «Калтанская-Энергетическая» разработано с помощью SCADA-системы Vijeo Citect. На мониторе диспетчера ОФ средствами SCADA-системы представлена мнемосхема (рисунок 3), состоящей из верхней, основной и нижней областей. Верхняя область (фрагмент 1 рисунка 3) содержит панель инструментов для навигации, меню вызова дополнительных видеокадров и всплывающих окон, а также элементы авторизации пользователей и диагностики связи с контроллерами. В нижней области (фрагмент 3 рисунка 3) расположена панель тревог для отображения в реальном масштабе времени всех тревог и событий, сконфигурированных в системе.

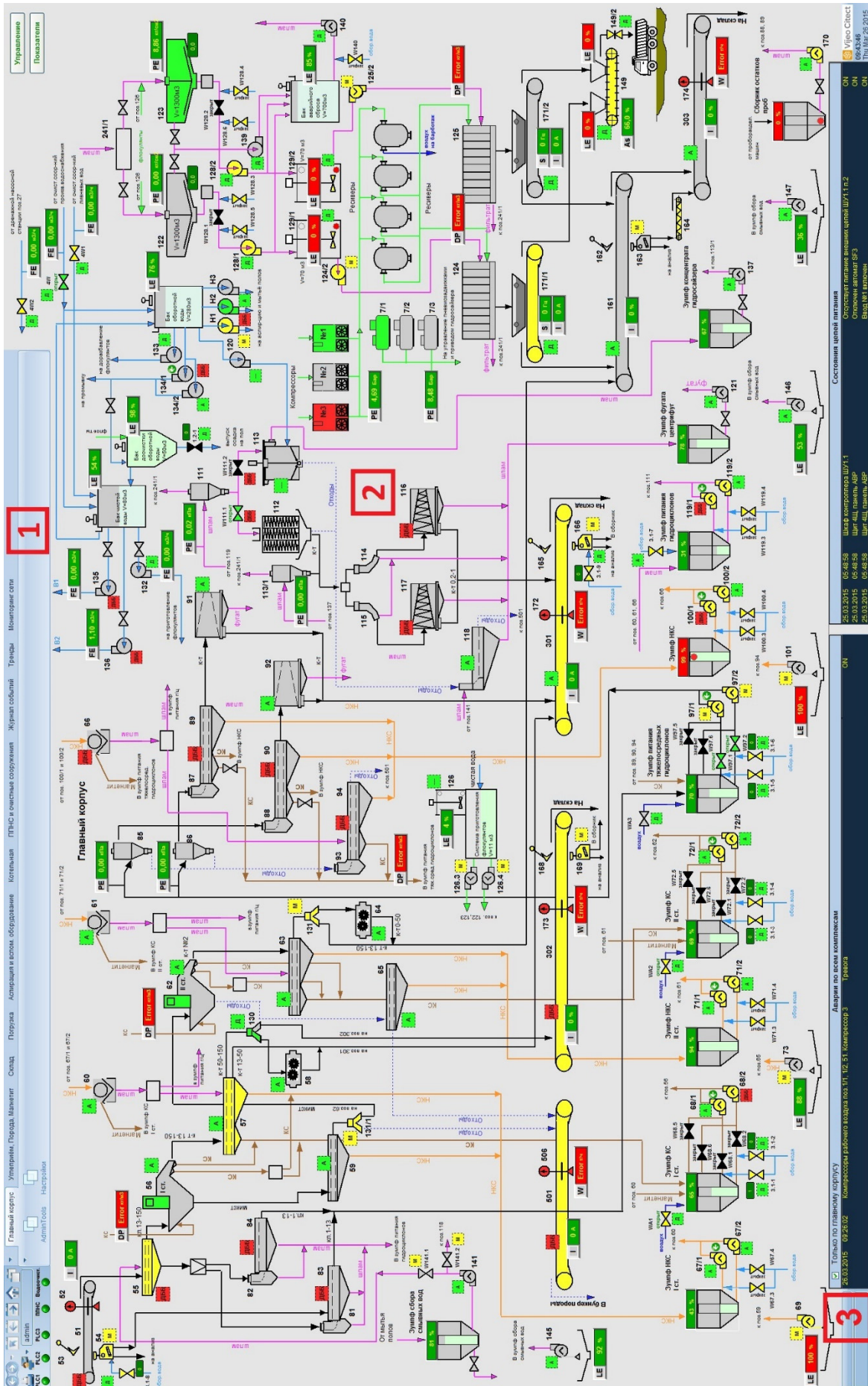


Рисунок 3 – Мнемосхема монитора диспетчера ОФ «Калганская-Энергетическая»

В основную область (фрагмент 2 рисунка 3) первоначально (при загрузке системы) помещается основной видеокадр, отображающий технологическое оборудование, схему материальных потоков главного корпуса, а также кнопки «Управление» и «Показатели». При необходимости в основную область могут быть помещены следующие дополнительные видеокадры:

– «Углеприем, Порода, Магнетит», отображающий технологическое оборудование и схему материальных потоков комплексов углеприема и углеподготовки, бункера породы, склада магнетита;

– «Склад товарной продукции», отображающий технологическое оборудование и схему материальных потоков комплексов открытого и закрытого складов концентрата;

– «ППНС и очистные сооружения», отображающий технологическое оборудование и схему материальных потоков комплексов противопожарной насосной станции и очистных сооружений;

– «Тренды» для отображения в виде графиков изменение наиболее важных технологических переменных и данных сигналов тревог;

– «Журнал событий» для работы с текущими и архивными событиями и тревогами, зафиксированными в системе.

Обобщенное отображение информации о текущем состоянии любого агрегата комплекса осуществляется в соответствии с признаками, формируемыми в системе управления технологическим комплексом по результатам контроля, во-первых, посредством цветовой индикации мнемонического изображения этого агрегата, во-вторых, текстом в поле информационного табло всплывающего окна.

Детальная информация о текущем состоянии агрегата, причинах его неготовности или аварии дается в виде текстовых сообщений на всплывающих диагностических окнах. Текстовые сообщения (аварийные или предупреждающие признаки) выделяются черным цветом на фоне прочих сообщений, а пиктограмма слева от текста загорается красным для привлечения внимания диспетчера о нарушении работы оборудования.

В системе управления ОФ «Калтанская-Энергетическая» предусмотрены три режима управления технологической схемой:

– автоматическое управление (режим «Автомат» – основной режим, при котором автоматически реализуются все информационные и управляющие функции);

– дистанционное управление (режимы «Дистанция», «Локальный Дистанция»), при котором системой автоматически реализуются все информационные функции, но управление каждым агрегатом (включение/выключение) выполняется диспетчером;

– местное управление (режимы «Местный», «Локальный Местный» – вспомогательные, наладочные), при котором автоматически реализуются все информационные функции, а управление каждой отдельной позицией оборудования осуществляется по командам с местных постов управления.

Выбор режима управления технологическим комплексом «Автомат», «Дистанция», «Местный» осуществляется с помощью пульта управления, расположенного возле рабочего места диспетчера.

ОФ «Калтанская-Энергетическая» отвечает самым современным экологическим требованиям. Для процесса обогащения угля вода берется не из реки или специальной скважины, а с разреза, где она образуется в процессе работ. Эта технологическая вода очищается и идет на производственные нужды. При этом на фабрике создан замкнутый цикл использования воды, то есть после обогащения угля она не выливается в шламонакопители, а снова возвращается в технологический процесс.

ОФ «Калтанская-Энергетическая» была построена за очень короткий срок – 14 месяцев, при стандартном сроке строительства в 3 года. Это стало возможным, за счет параллельного, одновременного выполнения таких работ как проектирование, заказ и поставка оборудования, строительство, монтаж оборудования, его пуско-наладка.

Вывод. САУ ОФ «Калтанская-Энергетическая» может служить прототипом для большинства проектируемых и реконструируемых углеобогачительных фабрик. Многие программно-технические решения с незначительными корректировками можно использовать для создания САУ предприятиями горной отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сазыкин Г.П. Проектирование и строительство углеобогачительных фабрик нового поколения / Г.П. Сазыкин, Б.А. Синеокий, Л.П. Мышляев. – Новокузнецк: СибГИУ. – 126 с.
2. Мышляев Л.П. Автоматизация управления углеобогачительными фабриками / Л.П. Мышляев, С.Ф. Киселев, А.А. Ивушкин и др. – Новокузнецк: СибГИУ, 2003. – 304 с.
3. Myshlyayev L.P. Algorithmization of Coal Dressing Process Control / L.P. Myshlyayev, A.A. Ivushkin, G.P. Sazykin, S.F. Kiselyov // XV International Coal Preparation Congress. – China, 2006.
4. Системы автоматизации на основе натурно-модельного подхода. Т.2. Системы автоматизации производственного назначения / Под. ред. Л.П. Мышляева. – Новокузнецк: Наука, 2006. – 483 с.
5. Руководство по решениям в автоматизации. Практические аспекты систем управления технологическими процессами / Под ред. Фролова Ю.А., Хохловского В.Н. – Москва: ЗАО «Шнейдер Электрик», 2011. – 320 с.

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	$\pm 0,016$	$\pm 0,001$	$\pm 0,002$	$\pm 0,009$

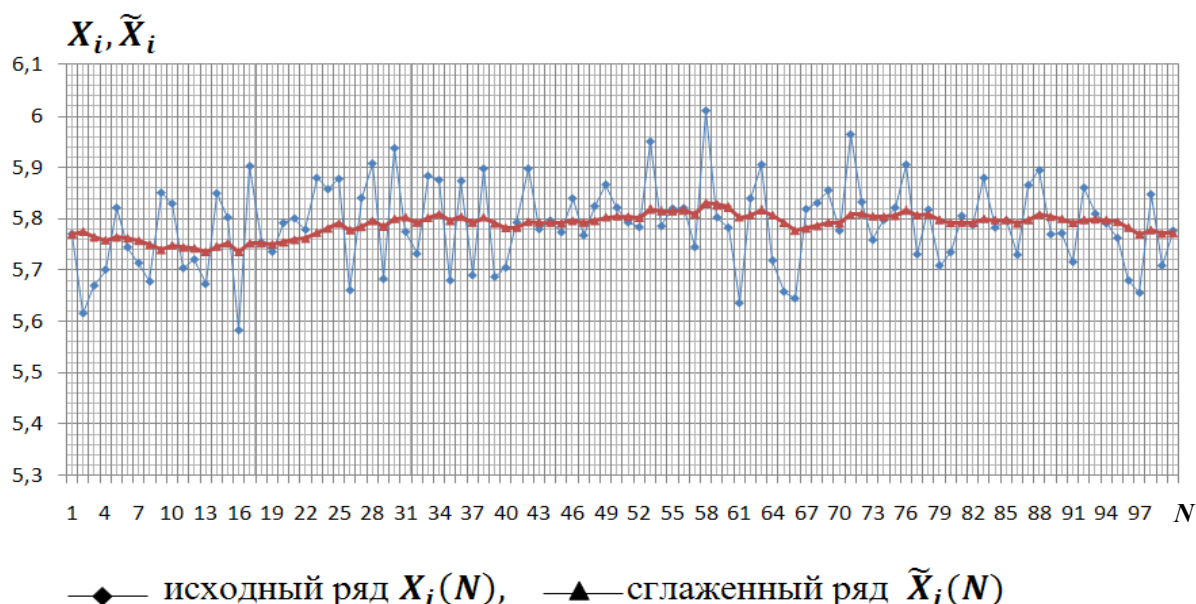


Рисунок 1 – Исходные X_i и сглаженные \tilde{X}_i значения в зависимости от количества измерений N (параметр $\alpha = 0,1$)

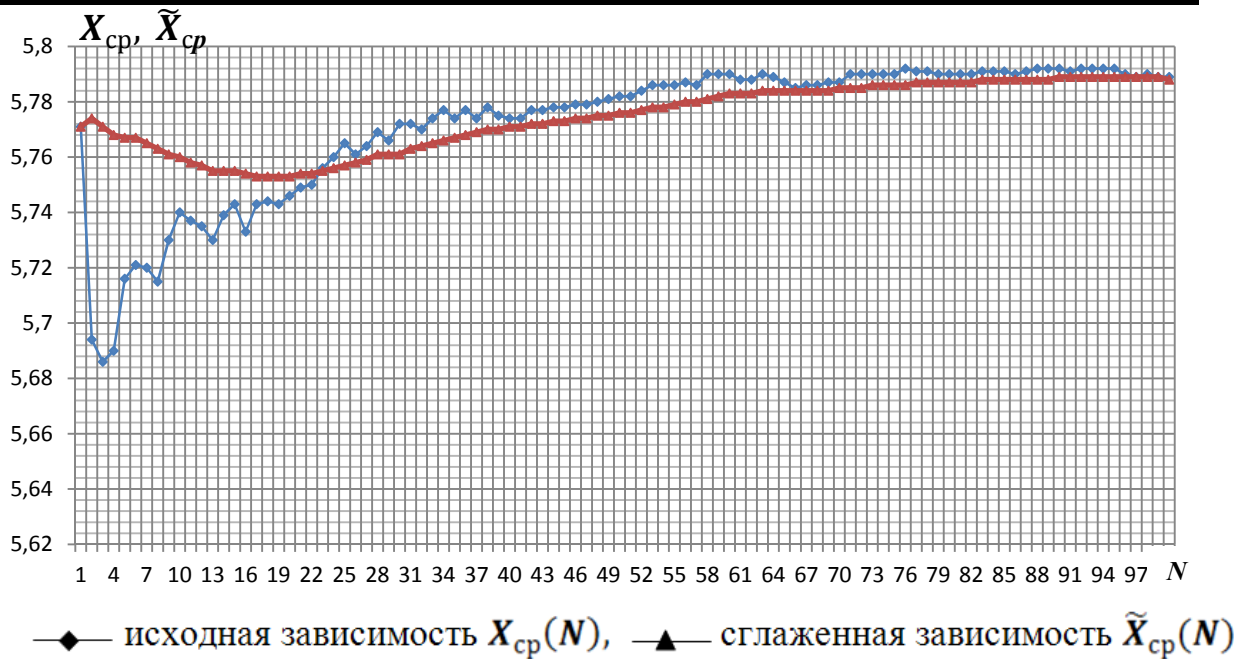


Рисунок 2 – Кумулятивное скользящее среднее исходных X_{cp} и сглаженных \tilde{X}_{cp} значений ($\alpha = 0,1$)

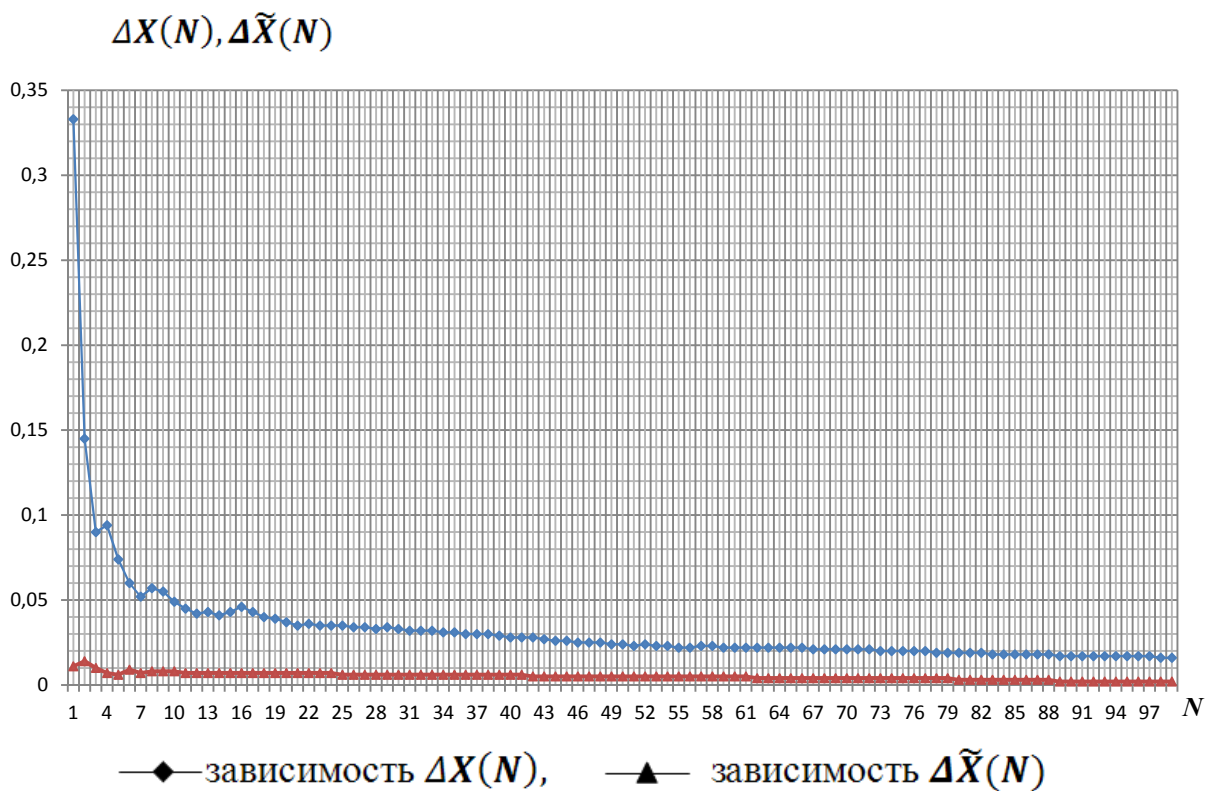


Рисунок 3 – Погрешности скользящего среднего исходных ΔX и сглаженных $\Delta \tilde{X}$ значений как функции количества N измерений ($\alpha = 0,1$)

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 $\delta = \Delta X / X_{cp}$ 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