

УДК 621-039-542  
<https://www.doi.org/10.47813/nto.5.2024.1010>

EDN [AEXNLZ](#)

## Особенности автоматизации управления процессом сушки флотоконцентрата в барабанной сушильной печи

Н.Т. Кулмуродова<sup>1</sup>, И.В. Ковалев<sup>1,2,3\*</sup>, З.С. Кулмуродов<sup>4</sup>, Ё.Б. Кадиров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан

<sup>2</sup>Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

<sup>3</sup>Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

<sup>4</sup>Навоийский горно-металлургический комбинат, Навои, Узбекистан

\*E-mail: kovalev.fsu@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрение особенностей автоматизации управления процессом сушки флотоконцентрата в барабанной сушильной печи актуально в связи с тем, что в настоящее время при переработке полезных ископаемых обезвоживание и сушка являются критически важными аспектами с технической и экономической точек зрения. Автоматизация такого типа технологических процессов направлена, в первую очередь, на обеспечение оптимального удаления воды (влаги) с минимальным потреблением энергии. В данной статье методы и материалы базируются на выполненной разработке рабочего проекта по строительству опытно-промышленной установки фильтрации, сушки и обжига продукта на горнометаллургическом заводе. Отметим, что в составе рассматриваемой системы используются современные технологии и высокопроизводительное оборудование, которое полностью соответствует всем необходимым функциональным требованиям. В частности, для сбора и обработки информации и передачи её через управляемый коммутатор EDS-518A-SS-SC-T в систему АСОДУ завода используется контроллер фирмы Siemens SIMATIC S7-300 CPU 315-2 PN/DP. Даны характеристики контроллеров, модулей и интерфейсов системы, а также отмечается возможность резервирования в интерфейсных компонентах системы, что обеспечивает повышение надежности ее функционирования и минимизацию потенциальных потерь данных или сигналов управления и обратной связи.

**Ключевые слова:** автоматизация, управление, флотоконцентрат, технологический процесс, барабанная сушильная печь, опытно-промышленная установка, горнометаллургический завод.

## Specifics of automation and control of the process of drying flotation concentrate in a drum drying furnace

N.T. Kulmurodova<sup>1</sup>, I.V. Kovalev<sup>1,2,3\*</sup>, Z.S. Kulmurodov<sup>4</sup>, Y.B. Kadirov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Navoi State University of Mining and Technologies, Navoi, Uzbekistan

<sup>2</sup>Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>3</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>4</sup>Navoi Mining Metallurgical Combine, Navoi, Uzbekistan

\*E-mail: kovalev.fsu@mail.ru

**Abstract.** Consideration of the features of automation of control of the process of drying of flotation concentrate in a drum drying furnace is relevant in connection with the fact that at present, when processing minerals, dewatering and drying are critically important aspects from the technical and economic points of view. Automation of this type of technological processes is aimed, first of all, at ensuring optimal removal of water (moisture) with minimal energy consumption. In this article, the methods and materials are based on the completed development of a working project for the construction of a pilot plant for filtration, drying and roasting of the product at a mining and metallurgical plant. It should be noted that the system under consideration uses modern technologies and high-performance equipment that fully meets all the necessary functional requirements. In particular, the Siemens SIMATIC S7-300 CPU 315-2 PN/DP controller is used to collect and process information and transmit it through the EDS-518A-SS-SC-T controlled switch to the plant's ASODU system. The characteristics of the controllers, modules and interfaces of the system are given, and the possibility of redundancy in the interface components of the system is noted, which ensures increased reliability of its operation and minimization of potential losses of data or control and feedback signals.

**Keywords:** automation, control, flotation concentrate, technological process, drum drying furnace, pilot plant, mining and metallurgical plant.

## 1. Введение

В настоящее время при переработке полезных ископаемых обезвоживание и сушка являются критически важными аспектами с технической и экономической точек зрения [1]. Автоматизация и управление этими операциями направлены на обеспечение оптимального удаления воды/влаги с минимальным потреблением энергии [2]. Эффективность автоматизации во многом зависит от используемых технологий обезвоживания и сушки сырья, поэтому ряд авторов исследовал как операции технологических процессов (ТП), так и характеристики используемого сырья и оборудования [3-5]. Следует отметить, что существующие установки для обезвоживания и сушки, как правило, проектировались эмпирически на основе традиционных технологий и опыта реализации таких технологических процессов. Между тем, информация о последних разработках и прикладные аспекты и принципы эффективного и устойчивого проектирования установок для обезвоживания и сушки имеют широкий отраслевой разброс, что создает трудности для интегрированного использования новых знаний [6-8]. Таким образом, обсуждение особенностей автоматизации и управления процессом сушки флотоконцентрата в барабанной сушильной печи учитывает текущие и будущие исследовательские потребности и возможностей, которые обеспечиваются рассмотрением данных процессов с промышленной точки зрения [9, 10].

Процесс сушки флотоконцентрата в барабанной сушильной печи и особенности его автоматизации рассматриваются в контексте повышения качества флотоконцентрата без потерь в извлечении ценного компонента из золотосодержащих руд [11]. В работе [12] представлена принципиальная технологическая схема переработки золотосодержащих руд флотационным способом, на которой указаны точки подачи реагентов по технологическим операциям. В работе [3] представлена технология сушки флотационного концентрата цинка и свинца, медного шлама и промытого каолина. Авторами отмечаются относительно лучшие тепловые характеристики с более высокой тепловой эффективностью около 30-60%. В работе [13] при автоматизации ТП использовался принцип самовосстанавливающегося управления на основе данных для решения проблемы нестабильности процесса флотации, которая приводит к колебаниям расхода процесса сгущения-обезвоживания подаваемого сырья. Было обнаружено, что предлагаемое управление способно обеспечить безопасное рабочее состояние оборудования, оптимизируя потребление энергии и обеспечивая требуемый комфорт

оператора. Помимо управления, проектирование контуров обезвоживания (комбинация системы обезвоживания на заводе) также имеет решающее значение для определения общей производительности системы [14].

## 2. Материалы и методы

Методы и материалы базируются на выполненной разработке рабочего проекта по строительству опытно-промышленной установки (ОПУ) фильтрации, сушки и обжига продукта на горнометаллургическом заводе (ГМЗ). Данный рабочий проект выполнен в соответствии с ГОСТ 21.208-2013 и КМК 3.05.07-97.

Для сбора и обработки информации и передачи её через управляемый коммутатор EDS-518A-SS-SC-T в систему АСОДУ завода используется контроллер фирмы Siemens SIMATIC S7-300 CPU 315-2 PN/DP. Для связи предусмотрен коммуникационный процессор CP1, который также используется для визуализации на панели оператора.

Также в составе контроллера имеется комплект модулей для приёма и передачи аналоговых и дискретных сигналов:

- AI для контроля входных аналоговых параметров технологического процесса;
- DI для контроля дискретных сигналов состояния оборудования;
- AO, DO для управления технологическим оборудованием.

Для защиты системы по питанию для шкафа управления и контроля используются блоки бесперебойного питания (UPS) и блоки питания (UZ).

Для создания человеко-машинного интерфейса используется программный пакет SIMATIC WinCC Professional установленный на АРМах оператора.

Используемые контроллеры программируются в среде разработки TIAPortal, позволяющей проводить конфигурацию модулей в составе контроллера и интерфейсного модуля, разработку программного обеспечения для контроллера, разработку системы визуализации технологического процесса для оператора.

Таким образом, в составе рассматриваемой системы используются современные технологии, высокопроизводительное оборудование, которое полностью соответствует всем необходимым функциональным требованиям [15].

## 3. Результаты и обсуждение

Результаты разработки системы автоматизации и обсуждение особенностей автоматизации и управления процессом сушки флотоконцентрата в барабанной

сушильной печи учитывает, как отмечалось выше, текущие и будущие исследовательские потребности и возможности, которые обеспечиваются рассмотрением данных процессов с промышленной точки зрения при задействовании в системе АСУ ТП оборудования SIMATIC S7-300, а также компактного CPU 6ES7315-2EN14-0AB0 [16-18].

Как отмечают разработчики «Промэнерго Автоматика» (<https://www.siemens-pro.ru/>), данное устройство относится к новому семейству микроконтроллеров Siemens для решения самых разных задач автоматизации малого уровня. Эти контроллеры имеют модульную конструкцию и универсальное назначение. Они способны работать в реальном масштабе времени, могут использоваться для построения относительно простых узлов локальной автоматизации или узлов комплексных систем автоматического управления, поддерживающих интенсивный коммуникационный обмен данными через сети Industrial Ethernet/PROFINET, а также PtP (Point-to-Point) соединения [19].

Программируемые контроллеры (ПК) S7-300 имеют компактные пластиковые корпуса со степенью защиты IP20, могут монтироваться на стандартную 35 мм профильную шину DIN или на монтажную плату и работают в диапазоне температур от 0 до +50 °С. Они способны обслуживать от 10 до 284 дискретных и от 2 до 51 аналогового канала ввода-вывода. К центральному процессору (CPU) программируемого контроллера S7-300 могут быть подключены коммуникационные модули (CM); сигнальные модули (SM) и сигнальные платы (SB) ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов.

На основе анализа документации на компоненты производителя, в частности, компании «Промэнерго Автоматика» для ПК SIMATIC S7-300 в таблице 1 представлены выбранные варианты для модулей аналогового / дискретного ввода / вывода SM, которые используются в АСУ ТП ОПУ фильтрации, сушки и обжига продукта на горнометаллургическом заводе.

Рассмотрим особенности системы распределённого ввода-вывода SIMATIC ET 200M при ее применении в АСУ ТП. Отметим интерфейсный модуль с улучшенными характеристиками IM 153-2 HIGH FEATURE для ET 200M (максимально 12 модулей S7-300, поддержка резервирования, временные метки для изохронного режима), а также специальные функции:

- 12 модулей на станцию;

- активный SLAVE для выключателей и приводов;
- расширенные данные для вторичных переменных HART;
- работа с 64-х канальными модулями;
- расширенные метки времени с 32 сигналами на слот.

**Таблица 1.** Сигнальные модули (SM) и особенности их использования в АСУ ТП.

Модули ввода / вывода	Особенности использования в АСУ ТП
SM331 - модуль ввода аналоговых сигналов для ПК SIMATIC S7-300.	Быстрое время преобразований. Возможность подключения аналоговых датчиков без использования промежуточных усилителей. Высокий потенциал для решения сложных задач управления.
SM321 - модуль дискретного ввода для ПК SIMATIC S7-300.	Сигнальные модули для увеличения каналов ввода дискретных сигналов, обслуживаемых одним центральным процессором. Ориентирован на гибкую адаптацию контроллера к требованиям решаемой задачи. Высокий потенциал для последующего увеличения каналов ввода дискретных сигналов в действующих АСУ ТП.
SM322 - модуль дискретного вывода для ПК SIMATIC S7-300.	Сигнальные модули для увеличения количества дискретных выходов, обслуживаемых одним контроллером. Обеспечивает гибкую адаптацию контроллера к требованиям решаемой задачи. Предусматривает последующее расширение существующих систем автоматизации за счет дополнительного набор каналов вывода дискретных сигналов.

Поддержка резервирования в интерфейсных компонентах системы обеспечивает возможность повышения надежности ее функционирования и минимизирует потенциальные потери данных или сигналов управления и обратной связи. Особенности интерфейсного модуля для подключения станции ET 200M к сети PROFIBUS DP с электрическими (RS 485) каналами связи и выполнения функций стандартного ведомого устройства заключаются в следующем. Компоненты IM 153-2 могут быть использованы для подключения станций ET 200M к резервированным сетям PROFIBUS DP, что обеспечит построение систем распределенного ввода-вывода резервированных контроллеров SIMATIC S7-400H или SIMATIC S7-400FH. Также отметим поддержку

функций синхронизации и снабжения телеграмм отметками даты и времени и поддержку функций тактовой синхронизации.

#### 4. Заключение

В заключение, касаясь рассмотренных в статье особенностей автоматизации управления процессом сушки флотоконцентрата в барабанной сушильной печи, отметим, что состав используемых аппаратно-программных средств АСУ ТП базируется на современных технологиях и высокопроизводительном оборудовании. Это полностью соответствует всем необходимым функциональным требованиям, предъявляемым к системе, и также обеспечивает полную поддержку требований концепции Totally Integrated Automation (ТИА). Отметим, что реализация данной концепции при автоматизации управления процессами позволит достичь целей, важных для всего жизненного цикла АСУ ТП, направленных как на повышение производительности, так и на снижение инженерных затрат при проектировании и эксплуатации.

В системе обеспечивается наглядная визуализация процесса с использованием полей ввода-вывода, графики, кривых, бар-графиков, текстовой информации и растровых изображений. При этом важным является наличие библиотек графических объектов, позволяющих упростить разработку проекта. Обеспечивается централизованное управление работой панелей для реализации алгоритмов энергосбережения на основе протокола PROFINET.

Для заказчика системы важными аспектами являются: низкие затраты на выполнение пуско-наладочных работ и обслуживание; сохранение/восстановление данных проекта через интерфейсы PROFINET, USB, MPI, PROFIBUS DP или с помощью SIMATIC HMI SD карты; дистанционная загрузка/считывание параметров конфигурации и операционной системы с автоматической идентификацией процесса; сохранение архивов и рецептов в формате CSV файлов, позволяющее использовать для их обработки стандартные компьютерные приложения.

#### Список литературы

1. Chaedir Benitta. Advances in dewatering and drying in mineral processing / Benitta Chaedir, Jundika Kurnia, A.P. Sasmito, Arun Mujumdar // *Drying Technology*. – 2021. – Vol. 39. – P. 1-18. <https://www.doi.org/10.1080/07373937.2021.1907754>

2. Пупкова Е. В. Анализ данных мониторинга электропотребления и выявление сверхпотребления электроэнергии на основе предлагаемого алгоритма / Е.В. Пупкова, А.С. Дулесов, Н.В. Дулесова // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2024. – № 4(2). – P. 0280–0290. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2024-4-2-0280-0290>
3. Wu Z.H. Dewatering and Drying in Mineral Processing Industry: Potential for Innovation / Z.H. Wu, Y.J. Hu, D.J. Lee, A.S. Mujumdar, Z.Y. Li // Dry. Technol. – 2010. – Vol. 28(7). – P. 834-842. <https://www.doi.org/10.1080/07373937.2010.490485>
4. Сайфуллаев С. Эффективная и энергосберегающая технология переработки волокнистых отходов / С. Сайфуллаев, Ш. Хакимов, С. Фатуллаева // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – Vol. 1(4). – P. 40-46. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-4-40-46>
5. da Silva J.T.T. Hydrocyclone Applied in the Physical Processing of Phosphate Concentrate Containing Rare Earth Elements / J.T.T. da Silva, I.C. Bicalho, G.P. Ribeiro; C.H. Ataíde // Miner. Eng. – 2020. – Vol. 155. – P. 106402. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106402>
6. Хуррамов Ш.П. Скорости фильтрации в области отжима материалов / Ш.П Хуррамов // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2022. – № 2(4). – С. 0312-0323. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0312-0323>
7. Zhang H. A Two-Step Coordinated Optimization Model for a Dewatering Process / H. Zhang, F. Wang, D. He, L. Zhao // Can. J. Chem. Eng. – 2021. – Vol. 99(3). – P. 742-754. <https://www.doi.org/10.1002/cjce.23886>.
8. Хуррамов Ш. Гидравлическое давление при валковом отжиме / Ш. Хуррамов, А. Салиев // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2023. – № 3(1). – С 0301–0310. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2023-3-1-0301-0310>
9. Ковалев И. Обзор III Международной конференции MIST: Aerospace-III-2020: Передовые технологии в аэрокосмической отрасли, машиностроении и автоматизации / И. Ковалев, Н. Тестоедов, А. Ворошилова // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – № 1(1). – С. 1–9. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-1-1-9>

10. Ковалев И.В. Вычислительные комплексы обеспечения научных исследований / И.В. Ковалев, В.В. Лосев, А.О. Калинин // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2023. – № 3(3). – С. 0225–0243. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2023-3-3-0225-0243>
11. Мырзалиев Б.М. Целесообразность флотационного обогащения руды месторождения Ширальджин / Б.М. Мырзалиев, К.А. Ногаева, М.С. Молмакова // Вестник ЮУрГУ. Серия: Metallurgy. – 2019. – №1. – С. 5-17.
12. Карчанова А.П. Направление повышения качества флотоконцентрата золотосодержащих руд на майском месторождении / А.П. Карчанова, И.И. Асанова, В.П. Мязин // Вестник ЗабГУ. – 2015. – № 10(125). – С. 4-12.
13. Jia R. Data-Driven-Based Self-Healing Control of Abnormal Feeding Conditions in Thickening–Dewatering Process / R. Jia, B. Zhang, D. He, Z. Mao, F. Chu // Miner. Eng. – 2020. – Vol. 146. – P. 106141. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.106141>
14. Ковалев Д.И. Обзор подходов и методов к оценке сравнительной эффективности технологических процессов и производств / Д.И. Ковалев, М. Козлова, О. Ольшевская, Т. Мансурова // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – № 1(3). – С. 1-21. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-3-1-21>
15. Туев Е.В. Реализация мониторинга эффективности предприятий с помощью специальной подсистемы АСУП / Е.В. Туев, М. Козлова, О. Ольшевская // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – № 1(2). – С. 34-45. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-2-34-45>
16. Реймген Ю.Э. Автоматизированные системы управления технологическими процессами / Ю.Э. Реймген // Scada система. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 8. – С. 386-393.
17. Баранов И. Обзор и сравнительный анализ ВРМН-систем для роботизации бизнес-процессов / И. Баранов // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2022. – № 2(3). – С. 0139-0149. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-3-0139-0149>

18. Mamo F.T. Legacy to Industry 4.0: A Profibus Sniffer / F.T. Mamo, A. Sikora, Ch. Rathfelder // Journal of Physics: Conf. Series. – 2017. – Vol. 870. – P. 012002. <https://www.doi.org/10.1088/1742-6596/870/1/012002>
19. Saranya J. A Study on point-to-point protocol in Data Communication and Networking / J. Saranya // International Journal of Computer Sciences and Engineering. – 2019. – Vol. 7. – P. 574-576. <https://www.doi.org/10.26438/ijcse/v7i1.574576>