

УДК 658.011.56

DOI 10.24412/2413-7383-2025-4-39-125-136

Н. В. Водолазская¹, М.К. Вотинцев¹, Е. В. Копытова¹, А.И. Хиценко²¹ МИРЭА-Российский технологический университет,
119454, г. Москва, проспект Вернадского д.78² Государственный университет просвещения
105005, г. Москва, ул. Радио, 10А, стр. 2

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

N. V. Vodolazskaya¹, M. K. Votintsev¹, E. V. Kopytova¹, A. I. Khitsenko²¹ MIREA-Russian Technological University,
119454 Moscow, Vernadsky Avenue, 78² State University of Education,
105005 Moscow, Radio str., 10A, Bldg 2

INFORMATION AND CONTROL SYSTEM FOR MONITORING THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF MANUFACTURING COMPLEX MINERAL FERTILIZERS

Предлагается информационно-управляющая система для контроля процесса производства комплексных минеральных удобрений с созданием специального SCADA-интерфейса. Анализируются требования к нему, включая необходимость отображения динамических параметров процесса, состояния технологического оборудования и аварийных сигналов. Этот интерфейс обеспечивает отображение текущего состояния оборудования, дозирование компонентов, гранулирование, сушку продукции в реальном времени, и предоставляет оператору инструменты для управления технологическим процессом.

Ключевые слова: SCADA, автоматизация производства, комплексные минеральные удобрения, информационно-управляющая система, технологический контроль.

An information management system is proposed for monitoring the production process of complex mineral fertilizers with the creation of a special SCADA interface. The requirements for it are analyzed, including the need to display dynamic process parameters, the status of technological equipment and emergency signals. This interface provides a display of the current equipment status, component dosing, granulation, product drying in real time, and offers the operator tools for managing the technological process.

Key words: SCADA, production automation, complex mineral fertilizers, information management system, technological control.

Введение

В условиях стремительной цифровизации и глобализации экономики применение современных информационных технологий представляет собой важный аспект развития предприятия [1-5]. Эти технологии включают в себя как программное обеспечение для проектирования, так и разработку соответствующих инструментов для моделирования производственных процессов, что позволяет предприятиям существенно повысить эффективность своей работы, снизить затраты и улучшить качество продукции [6-9]. В связи с этим, актуальным направлением является исследование, разработка и применение инновационных решений, в частности информационно-управляющих систем анализа технологических процессов, например, изготовления комплексных минеральных удобрений, производство которых основано на переработке природного сырья [10-15]. Они компенсируют дефицит микро- и макроэлементов в почве, что особенно важно в условиях интенсивного земледелия [16-19].

Целью работы является повышение эффективности технологического процесса изготовления комплексных минеральных удобрений.

Материалы и методы

Для реализации задач мониторинга и управления технологическим процессом изготовления комплексных минеральных удобрений предложена информационно-управляющая система (ИУС), построенная на принципах системности, отказоустойчивости и адаптивности к изменяющимся производственным условиям. Ключевым элементом такой системы является **SCADA-система**, выполняющая функции верхнего уровня управления. Выбор обусловлен не только стандартными функциями сбора и визуализации данных, но и возможностью реализации сложных алгоритмов адаптивного управления, основанных на математических моделях процессов гранулирования и сушки. Для обеспечения надежной и безопасной связи между уровнем управления (SCADA) и уровнем контроллеров (PLC) и датчиков применяется современный промышленный стандарт – **протокол OPC UA**. Он позволяет интегрировать в единое информационное пространство оборудование различных вендоров, что критически важно для модернизируемых производств, где парк аппаратуры неоднороден, а встроенные механизмы шифрования, аутентификации и контроля целостности данных делают его пригодным для использования в ответственных производствах, каким является химико-технологический комплекс.

Предложенное авторское решение представляет собой новую целостную систему, в которой аппаратная часть, коммуникационные протоколы и программное обеспечение подобраны и спроектированы исходя из единой цели – повышения управляемости, предсказуемости и экономической эффективности технологического процесса производства комплексных минеральных удобрений

Основная часть

Производство азотных удобрений начинается с синтеза аммиака (NH_3) из азота воздуха и водорода под высоким давлением и температурой в присутствии катализатора (процесс Габера-Боша) [20-25]. Показана схема производства NP/NPS/NPK - удобрений по типу аммонизатор-гранулятор (АГ) - сушильный барабан (СБ) в соответствии с рисунком 1. Есть три типа производства комплексных минеральных удобрений: распылительно-кипящая сушилка-гранулятор (аппарат РКСТГ), барабан гранулятор-сушилка, аммонизатор-гранулятор (АГ) - сушильный барабан (СБ) [18-20].

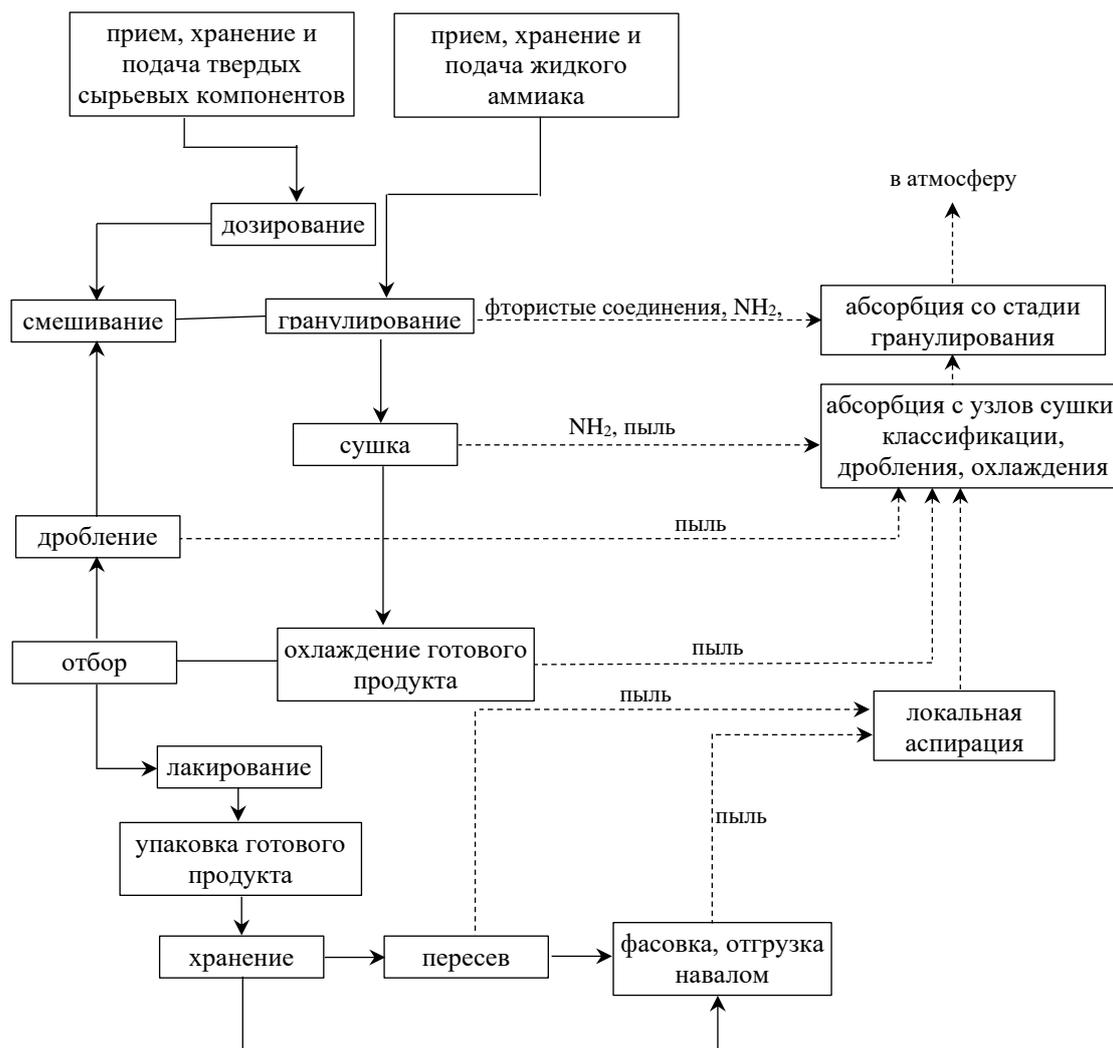


Рисунок 1 – Схема производства NP/NPS/NPK-удобрений по типу АГ-СБ

При использовании аппарата типа РКСТ возникает ряд сложностей из-за особенностей типа производства, т.е., он подходит не для всех типов удобрений, так как некоторые составы могут слипаться или разрушаться в условиях кипящего слоя и по сравнению с барабанными или тарельчатыми грануляторами аппараты РКСТ уступают в объеме выпускаемой продукции. Производство гранулированных удобрений в барабанном грануляторе-сушилке также требует значительного количества электроэнергии, при этом возможен разброс размеров гранул из-за неравномерного распределения материала в барабане, что приводит к необходимости дополнительной сортировки и, в целом, может привести к ухудшению качества продукта.

Использование системы аммонизатор-гранулятор (АГ) - сушильный барабан (СБ) позволяет эффективно вводить азот в состав удобрений за счет равномерного распределения жидкого аммиака в гранулируемой массе, обеспечивает стабильный размер и форму частиц, что улучшает сыпучесть и удобство внесения удобрений и объединяет стадии аммонизации, гранулирования и частичной сушки в одном аппарате, сокращая технологическую цепочку. По сравнению с барабанными и другими типами грануляторов это оборудование требует меньших энергозатрат, а получаемые

гранулы обладают хорошей механической устойчивостью, что снижает их разрушение при транспортировке и хранении. Использование аммонизаторов-грануляторов позволяет оптимизировать технологический процесс и получать продукцию, соответствующую требованиям современного сельского хозяйства. Недостатками данного способа являются затруднения в производстве уравновешенных марок удобрений, вызванное неполным растворением хлорид калия (ХК) и необходимость проведения отдельной нейтрализации азотной кислоты (АК) аммиаком с последующей упаркой пульпы до плава, что не только усложняет технологическую схему процесса, но и повышает ее пожаро- и взрывоопасность. Одним из способов, устранения этих недостатков является моделирование этапов технологического процесса изготовления комплексных минеральных удобрений и разработка информационно-управляющей системы контроля.

Современные производства минеральных удобрений представляют собой сложные технологические комплексы с множеством взаимосвязанных процессов (дозирование, смешивание, гранулирование, сушка и т.д.). Ручное управление такими процессами неэффективно и повышает риск аварийных ситуаций. SCADA обеспечивает централизованный контроль всех технологических параметров в реальном времени [26-29]. Чтобы разработать интерфейс для SACDA системы, надо определить параметры технологического процесса. Представлены значения технологических параметров процесса гранулирования в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Значения технологических параметров процесса гранулирования

№	Место нахождения	Измеряемые параметры	Единицы измерения	Номинальные значения	Контроль	Регулирование
1	Барабан	влажность	%	1,5	+	-
2	Барабан	температура	°С	89,85-99,85	+	+
3	Бак	давление	Бар	5	+	+
4	Барабан	частота вращения	об/с	8-12	+	+
5	Бак	жидкость	%	0	+	-

Контроль каждого параметра этапа гранулирования выполняется определенными устройствами:

- контроль влажности гранул в резервуаре на выходе — датчик влажности;
- контроль температуры в барабане — датчик температуры, термопара; регулирование температуры в барабане — подача ретур;
- контроль давления — датчик давления; регулирование давления аммиака — насос;
- контроль частоты вращения барабана — датчик скорости, тахометр;
- регулирование частоты вращения барабана — частотный преобразователь;
- контроль утечки аммиака — датчик аммиака.

Приведены значения технологических параметров процесса сушки в соответствии с таблицей 2. На этапе сушки используются такие устройства для контроля параметров: контроль частоты вращения цилиндра — датчик скорости, тахометр; регулирование частоты вращения цилиндра — частотный преобразователь; контроль влажности материала на выходе — датчик влажности; контроль подачи теплоносителя — датчик давления.

Таблица 2 – Значения технологических параметров процесса сушки

№	Место нахождения	Измеряемые параметры	Единицы измерения	Номинальные значения	Контроль	Регулирование
1	Барабан	частота вращения	об/с	1,8	+	+
2	Барабан	влажность	%	1	+	-
3	Топка	температура	°С	144,85 - 174,85	+	-
4	Барабан	температура	°С	99,85 - 109,85	+	+
5	Топка	Газ	%	0	+	-
6	Топка	давление	Бар	3	+	+
7	Барабан	температура	°С	94,85 - 99,85	+	-

А также задействованы: контроль температуры теплоносителя в сушилке — термopара; регулирование температуры в сушилке — подача кислоты; контроль температуры теплоносителя до выхода — термopара; контроль утечки газа — датчик газа; контроль температуры гранул после сушки — датчик температуры; контроль влажность пара в барабане — датчик влажности.

Обработка и анализ результатов

С учетом проведенного анализа процесса изготовления комплексных минеральных удобрений и технологических параметров был разработан интерфейс на SCADA системе для этапов гранулирования и сушки для информационно – управляющей системы. Были предложены уникальные схемы мониторинга ключевых параметров процесса гранулирования, включая такие показатели как температура массы, влажность гранул, частота вращения барабана. Аналогичный интерфейс контроля с соответствующими технологическими параметрами реализован для других критически важных узлов производства: для бака с аммиаком (уровень заполнения, давление, температура хранения), сушильного барабана (температура сушки, скорость вращения, влажность отходящих газов), топки (температура горения, расход топлива, состав выхлопных газов), насосного оборудования (давление на выходе, производительность, вибрационные характеристики) и шлюзовых затворов (частота срабатывания, герметичность, состояние уплотнений). Для примера представлены конвейер, который подает гранулы на этап сушки после этапа гранулирования, сушильный барабан с параметрами, кнопка для открытия/закрытия шлюза и конвейер для отправки готового продукта на следующий технологический этап в соответствии с рисунком 2. Подобные новые разработки выполнены для аммонизатора – гранулятора и бака с ретуром, бака с аммиаком и бака, предназначенного для хранения кислоты, с подключенным к нему насосом. Рядом с каждым баком расположены кнопка управления, позволяющие вручную включать и выключать насос при необходимости. Причем автоматическая работа насоса активируется, когда температура в процессе сушки удобрений выходит за установленные границы допустимых значений. Такая система обеспечивает контроль за технологическим процессом, предотвращая перегрев или недостаточную сушку удобрений.

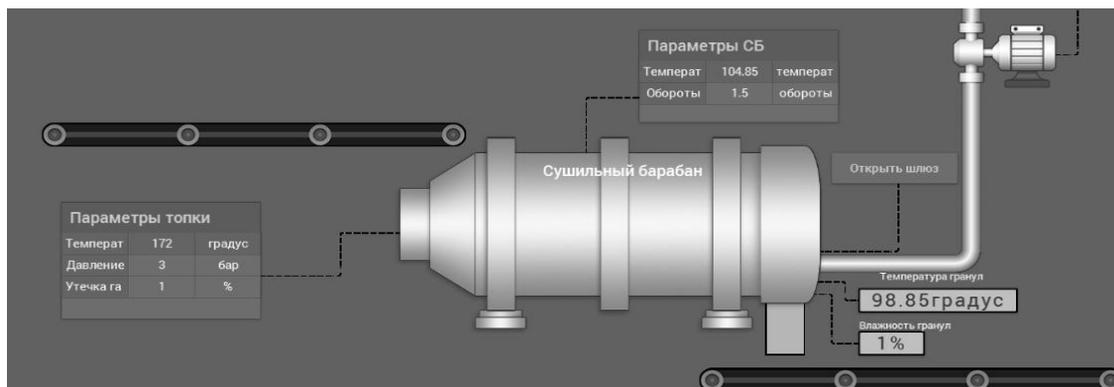


Рисунок 2 – Сушильный барабан с параметрами

В соответствии с рисунком 3 для настройки системных переменных разработан скрипт для изменения параметров.

```

1 begin
2     Datchik_Chastoty_Vrashenia_AG.Value := 7 + Random(6);
3     Datchik_Temperaturey_AG.Value := 88 + Random(13);
4     Datchik_Vlajnosty_AG.Value := 1.5 + Random(2);
5     Datchik_Davleniy.Value := 4 + Random(2);
6     Datchik_Ammiaka.Value := Random(2);
7     Datchik_Davleniy_Topka.Value := 2 + Random(2);
8     Datchik_Gaza.Value := Random(2);
9     Datchik_Temperaturey_Topka.Value := 143 + Random(33);
10    Datchik_Chastoty_Vrasheniy_SB.Value := 1.5 + Random(2);
11    Datchik_Temperaturey_SB.Value := 99.85 + Random(15);
12    Datchik_Vlajnosty_SB.Value := 1 + Random(2);
13    Datchik_Temperaturey_Granul.Value := 94.85 + Random(7);
14 end.

```

Рисунок 3 – Скрипт с параметрами

Скрипт написан на языке Python и включает в себя несколько ключевых функций, а также реализована проверка вводимых данных, чтобы избежать ошибок при выполнении. После запуска скрипта происходит автоматическое обновление конфигурации системы в соответствии с заданными значениями. Следовательно, представленный код позволяет гибко настраивать параметры, экономя время пользователя. Создание соответствующих трендов представлено блоком интерфейса в соответствии с рисунком 4. Обозначаются параметры, которые будут меняться и изображаться на графиках для отслеживания на этапе гранулирования. Выбраны параметры частоты вращения АГ и температуры гранулирования. Также для бака АГ указаны параметры давления, топки СБ параметры давления и температуры, процесса сушки параметры частоты вращения и температуры.

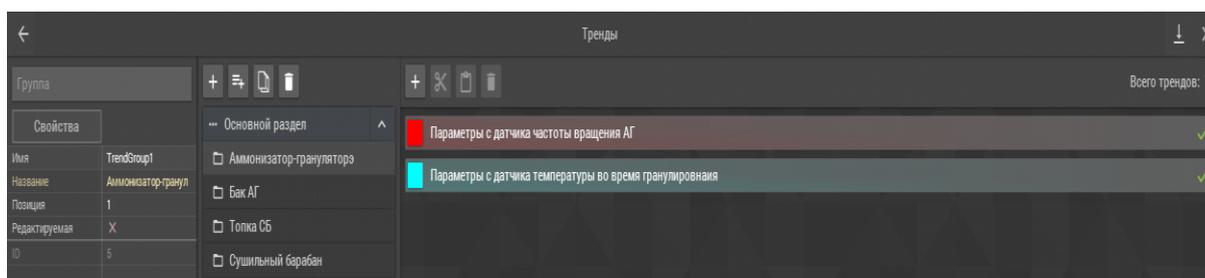
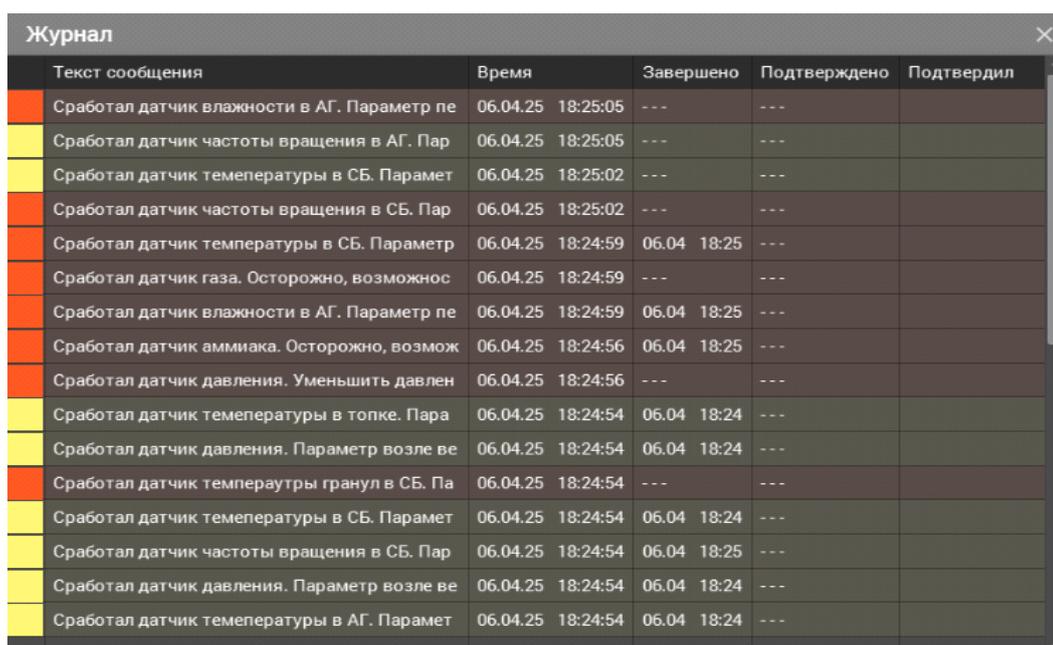


Рисунок 4 – Параметры для процесса гранулирования

Сформирован редактор сообщений о процессе производства комплексных минеральных удобрений для аммонизатора-гранулятора, в этом окне можно редактировать сообщения для бака с ретуром, процесса сушки и топки. На рисунке 5 представлен системный журнал, в который автоматически записываются все сообщения, формируемые в ходе процессов гранулирования и сушки. Данный журнал служит для фиксации ключевых параметров работы оборудования, включая температуру, давление и время выполнения операций. Все события, такие как запуск или остановка аппаратуры, ошибки и предупреждения, также отображаются в этом журнале для последующего анализа. Записи в журнале помогают операторам контролировать ход технологического процесса и своевременно реагировать на отклонения от нормы.



Текст сообщения	Время	Завершено	Подтверждено	Подтвердил
Сработал датчик влажности в АГ. Параметр пе	06.04.25 18:25:05	---	---	
Сработал датчик частоты вращения в АГ. Пар	06.04.25 18:25:05	---	---	
Сработал датчик температуры в СБ. Парамет	06.04.25 18:25:02	---	---	
Сработал датчик частоты вращения в СБ. Пар	06.04.25 18:25:02	---	---	
Сработал датчик температуры в СБ. Параметр	06.04.25 18:24:59	06.04 18:25	---	
Сработал датчик газа. Осторожно, возможнос	06.04.25 18:24:59	---	---	
Сработал датчик влажности в АГ. Параметр пе	06.04.25 18:24:59	06.04 18:25	---	
Сработал датчик аммиака. Осторожно, возмож	06.04.25 18:24:56	06.04 18:25	---	
Сработал датчик давления. Уменьшить давлен	06.04.25 18:24:56	---	---	
Сработал датчик температуры в толке. Пара	06.04.25 18:24:54	06.04 18:24	---	
Сработал датчик давления. Параметр возле ве	06.04.25 18:24:54	06.04 18:24	---	
Сработал датчик температура гранул в СБ. Па	06.04.25 18:24:54	---	---	
Сработал датчик температуры в СБ. Парамет	06.04.25 18:24:54	06.04 18:24	---	
Сработал датчик частоты вращения в СБ. Пар	06.04.25 18:24:54	06.04 18:25	---	
Сработал датчик давления. Параметр возле ве	06.04.25 18:24:54	06.04 18:24	---	
Сработал датчик температуры в АГ. Парамет	06.04.25 18:24:54	06.04 18:24	---	

Рисунок 5 – Журнал сообщений

Далее строится тренд параметров в аммонизаторе-грануляторе, отражающий изменение ключевых показателей за определенный период. Анализ тренда позволяет сделать вывод о стабильности работы аммонизатора-гранулятора в заданном режиме. Сравнение с предыдущими данными показывает, что текущие значения находятся в пределах нормы. Таким образом, разработанный тренд помогает операторам контролировать процесс и своевременно вносить корректировки.

Выводы

Выполненная новая унификация интерфейсов мониторинга позволяет оператору быстро ориентироваться в системе управления, обеспечивая оперативный контроль за всеми технологическими процессами. Каждый элемент системы оснащен датчиками, передающими данные в централизованную SCADA-систему в режиме реального времени. Это обеспечивает возможность оперативного реагирования на любые отклонения от заданных технологических параметров, поддерживая стабильность производственного процесса. Единый принцип визуализации данных значительно сокращает время на обучение персонала и снижает вероятность ошибок при управлении оборудованием.

Кроме того, подобная стандартизация интерфейсов упрощает интеграцию новых модулей в случае модернизации производства, а также позволяет проводить сравнительный анализ работы различных узлов технологической линии. Все параметры архивируются в единой базе данных, что обеспечивает возможность последующего детального анализа эффективности работы оборудования и оптимизации производственных процессов.

Следовательно, применение SCADA-системы в производстве комплексных минеральных удобрений является технологически и экономически обоснованным решением, обладающим новизной. Система позволяет существенно повысить эффективность производства, обеспечить стабильное качество продукции, улучшить показатели безопасности и создать основу для цифровой трансформации предприятия. Внедрение SCADA соответствует современным тенденциям Industry 4.0 и обеспечивает конкурентные преимущества на рынке.

Список литературы

1. Анцыферов С. С. Интеллектуальные системы управления технологическими процессами / С. С. Анцыферов, К. Н. Фазилова, К. Е. Русанов // Проблемы искусственного интеллекта. 2024. №2(33). С. 37-44. DOI 10.24412/2413-7383-2024-2-37-44. EDN: WLSZIT
2. Vodolazskaya N. Process Modeling of Increasing Reliability of Assembly Responsible Connections// Advanced Engineering Letters. 2024. №3(3). P. 91-99. DOI:10.46793/adeletters.2024.3.3.1. EDN: DBBCYW.
3. Нейросетевая оценка эффективности использования фульвокислот в сочетании с минеральными удобрениями на продуктивность и качество листового салата сорта Афицион, выращенного в условиях вертикальной гидропоники/ Н.И. Воробьев, Я.В. Пухальский, С.И. Лоскутов [и др.] // Аграрная наука. 2025. №(8). С. 104-114. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-104-114>. EDN: HUQMUH.
4. Кривоудубский О. А. Методология, определяющая правила разработки моделей и алгоритмов систем управления в условиях информационной и технологической трансформации / О. А. Кривоудубский // Проблемы искусственного интеллекта. 2020. № 1 (16). С. 47-50. EDN: FHGGXJ .
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025618197 РФ. Разработка программного обеспечения для автоматизированного расчёта теплообменных процессов в биореакторе: заявл. 19.03.2025; опубл. 02.04.2025 / Н. В. Водолазская, Д. Н. Клесов, А. А. Ореховская, В. Э. Ващилин; заявитель ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет». EDN: VDCGZB.
6. Enhancing food security in central asia and the caucasus: a SWOT analysis of agro-industrial potential/ D. Zhilyakov, O. Petrushina, K. Meshcheryakov, [et al.] International Journal of Safety and Security Engineering. 2025. Т. 15. № 7. 1461-1470 p. DOI 10.18280/ijss.150713. EDN: NOGODG.
7. Фам К.Б. Нечеткая модель диагностики технологических процессов / Фам К.Б., Мурашев П.М., Богатилов В.Н. // Проблемы искусственного интеллекта. 2023. №3 (30). С. 76-86. DOI 10.34757/2413-7383.2023.30.3.007. EDN: ANQJVJ.
8. Математическое моделирование и алгоритмизация функций мониторинга технологических процессов на основе многоточечных измерительных систем / И.В. Ковалев, Д.И. Ковалев, В.В. Лосев, [и др.] // Современные наукоемкие технологии. 2021 № 6-1. С. 29-38. DOI:10.17513/snt.38693. EDN: ERYLYC.
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023685439 РФ. Калькулятор общей численности почвенных микроорганизмов: № 2023684091; заявл. 14.11.2023; опубл. 27.11.2023 / В.Э.Ващилин, А.А.Ореховская, Д.Н.Клесов, Н.В.Водолазская; заявитель ФГБОУ ВО «Белгородский ГАУ». EDN: MLGJEC.
10. Влияние степени нейтрализации фосфорной кислоты на свойства нитратсодержащих азотно-фосфорно-калийных удобрений / В. М. Колпаков, А. М. Норов, Д. А. Пагалешкин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2021. Т. 64, № 3. С. 52-58. DOI 10.6060/ivkkt.20216403.6289. EDN JBMFQX.
11. The Importance of State Support and Regulation in the Agro-Industrial Complex / D. I. Zhilyakov, D. I. Ryakhovskiy, N. G. Bondarenko [et al.] // Res Militaris. 2022. Vol. 12, No. 2. P. 2549-2560. EDN BGCRRS.
12. Водолазская Н.В. Модели повышения надежности некоторых технических систем // Совершенствование инженерно-технического обеспечения производственных процессов и технологических систем: Материалы нац. научно-практ. конф. с международным участием. Оренбург: ООО "Агентство "Пресса". 2022. С.304-308. EDN: BQWADD.
13. Antsyferov S.S. Intelligent Quality Control Systems for High-Tech Manufacturing Processes and Equipment // S.S. Antsyferov, K.N. Fazilova, D.S. Muravyov // Problems of Artificial Intelligence. 2025. №2(37). P. 60-65. DOI: 10.24412/2413-7383-2025-2-37-60-65. EDN: CWZEJN.

14. Перинская Е. В. Математическое моделирование процессов функционирования специализированных аппаратов конвективного типа / Е. В. Перинская // Проблемы искусственного интеллекта. - Донецк: ГУ ИПИИ. 2022. № 2(25). С. 55-63. EDN: CDLKER
15. Математическое моделирование процесса измельчения материалов / Э.М. Кольцова, М.А. Бабкин, Н.А. Попова, А.В. Женса // Теоретические основы химической технологии. 2024. Т 58. № 1. С. 115-121. DOI:10.31857/S0040357124010141. EDN: YVTKPL.
16. Pittman W. Lessons to be learned from an analysis of ammonium nitrate disasters in the last 100 years / W. Pittman // Journal of Hazardous Materials. 2014. Vol. 280. P. 472-477. DOI:10.1016/j.jhazmat.2014.08.037
17. Жилияков Д.И. Сравнительная оценка экономической эффективности использования двухбарабанного разбрасывателя гранулированных удобрений/ Д.И. Жилияков, В.Н. Трубников, И.В. Коротков // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 9. С. 244-250. EDN: JXWVFJ.
18. Интенсивная технология NPK-удобрений на основе мытого сушёного концентрата центральных Кызылкумов // Р.М. Назирова, С.М. Таджиев, С.Р. Мирсалимова, Д. Худаярова // Проблемы Науки. 2019. №2, С. 6-11. DOI 10.20861/2304-2338-2019-135-001. EDN: YXSHJR.
19. Бабкин В.В. Фосфорные удобрения России / В.В. Бабкин, А.А. Бродский М.: ТОО «Агрохим-принт». 1995. 464 с.
20. Исследование кинетики термического разложения NPK-удобрений на основе нитрата аммония / К. Г. Горбовский, А. И. Казаков, А. М. Норов [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. – 2019. Т. 10, № 1-3. С. 64-71. DOI 10.25702/KSC.2307-5252.2019.10.1.64-71. EDN NRFNAY.
21. Vyazovkin S. ICTAC Kinetics Committee recommendations for collecting experimental thermal analysis data for kinetic computations / S. Vyazovkin // Thermochimica Acta. 2014. Vol. 590. P. 1-23. DOI 10.1016/j.tca.2014.05.036. EDN UWKEXP.
22. The reliability analysis of combined harvesters in the usual conditions of operation / R. V. Pavlyuk, A. T. Lebedev, Y. I. Zhevorga, E. V. Zubenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Stavropol, 21–22 октября 2019 года. Vol. 488. Stavropol, 2020. P. 012033. DOI 10.1088/1755-1315/488/1/012033. EDN: WEPOXL.
23. Izato, Y. I. Thermal decomposition mechanism of ammonium nitrate and potassium chloride mixtures / Y. I. Izato, A. Miyake // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2015. Vol. 121, No. 1. P. 287-294. DOI 10.1007/s10973-015-4739-1. EDN: USVFUP.
24. Сорокин К.Н. Математическая модель для разработки технологической линии по производству гуминовых удобрений на основе модульного оборудования / К.Н. Сорокин // Агроинженерия. 2022. Т 24. № 3. С. 19-26. DOI: 10.26897/2687-1 149-2022-3-19-26. EDN: XSFYTX.
25. Кошелева М.К. Математическое моделирование тепло- и массопереноса при сушке гранул носителя для никелевого катализатора / М.К. Кошелева, В.П. Мешалкин, О.Р. Дорняк // Теоретические основы химической технологии. 2021. Т 55. № 3. С. 339-346. DOI: 10.31857/S0040357121030258. EDN: VBFPMU.
26. Мозаидзе Е.С. Тематическое моделирование в потоке коротких сообщений на русском языке/ Е.С. Мозаидзе // Russian Technological Journal. 2025. №13(1) С. 38-48. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2025-13-1-38-48>. EDN: HJHQTR.
27. Водолазская Н. В. Информационная система контроля доступа и отслеживания этапов производственного процесса / Н. В. Водолазская, Е. В. Копытова, К. В. Лаврентьева, В. Д. Черненко // Проблемы искусственного интеллекта. 2025. Т. 37. №.2. С. 116-128. doi:10.24412/2413-7383-2025-2-37-116-128.
28. Information monitoring system design for industrial enterprises / Т. О. Bochkareva, I. E. Kirillov, V. N. Bogatkov [et al.] // Software Journal: Theory and Applications. 2020. No. 2. P. 20-28. DOI 10.15827/2311-6749.20.2.3. EDN QZRRMP.
29. Мосияш А.Э. Моделирование процессов разработки и внедрения информационных систем в организации / А.Э. Мосияш, А.В. Каширский // Петербургский экономический журнал. 2022. № 1-2. С. 167-177. DOI: 10.24412/2307-5368-2022-1-2-167-177. EDN: GNRBCB.

References

1. Antsyferov S. S., Fazilova K. N., Rusanov K. E. Intelligent control systems for technological processes // Problems of Artificial Intelligence, №2(33). – 2024. – P. 37-44. DOI 10.24412 / 2413-7383-2024-2-37-44. EDN: WLSZIT.
2. Vodolazskaya N. Process Modeling of Increasing Reliability of Assembly Responsible Connections // Advanced Engineering Letters, №3(3). – 2024. – P. 91-99. DOI: 10.46793/adeletters.2024.3.3.1. EDN: DBBCYW.
3. Vorobyov N.I., Pukhalsky Y.V., Loskutov S.I., [et al.]. Neural network assessment of the effectiveness of using fulvic acids in combination with mineral fertilizers on the productivity and quality of Athenian lettuce grown under vertical hydroponic conditions //Agrarian Science, №(8). – 2025. – P. 104-114. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-104-114>. EDN: HUQMUH.
4. Krivodubsky, O. A. Methodology that Defines the Rules for Developing Models and Algorithms for Control Systems in the Context of Information and Technological Transformation // Problems of Artificial Intelligence, №1(16). – 2020. – P. 47-50. EDN: FHGGXJ.
5. Certificate of state registration of computer program № 2025618197 of the Russian Federation.

- Development of software for automated calculation of heat exchange processes in a bioreactor / N.V. Vodolazskaya, D.N. Klesov, A.A. Orekhovskaya, V.E. Vashchilin: declared. 19.03.2025: published. 02.04.2025 declared. RTU-MIREA. EDN: VDCGZB.
6. Zhilyakov D., Petrushina O., Meshcheryakov K., [et al.] Enhancing food security in central asia and the caucasus: a swot analysis of agro-industrial potential // *International Journal of Safety and Security Engineering*, №7, T. 15. – 2025. – 1461-1470 p.
 7. Fam K.B., Murashev P.M., Bogatikov V.N. Fuzzy model for diagnostics of technological processes // *Problems of Artificial Intelligence*, №3(30). – 2023.– P. 76-86. EDN: AHQJVJ.
 8. Kovalev I.V., Kovalev D.I., Losev V.V., [et al.] Mathematical modeling and algorithmization of monitoring functions of technological processes based on multi-point measuring systems // *Modern science-intensive technologies*, №6-1. – 2021 – P. 29-38. DOI: 10.17513/snt.38693. EDN: ERYLYC
 9. Certificate of state registration of the computer program № 2023685439 of the Russian Federation. Calculator of the total number of soil microorganisms: № 2023684091: declared. 14.11.2023: published. 27.11.2023 / V.E. Vashchilin, A.A. Orekhovskaya, D.N. Klesov, N.V. Vodolazskaya; applicant Belgorod State Agrarian University. EDN: MLGJEC
 10. Kolpakov V.M., Norov A.M., Pagaleshkin D.A., [et al.] Influence of the degree of neutralization of phosphoric acid on the properties of nitrate-containing nitrogen-phosphorus-potassium fertilizers – *News of higher educational institutions. Series "Chemistry and chemical technology"*, №3, T. 64. – 2021. – P. 52-58. – DOI 10.6060/ivkkt.20216403.6289. EDN JBMFQX.
 11. Zhilyakov D.I., Ryakhovsky D.I., Bondarenko N.G., [et al.] The importance of state support and regulation in the agro-industrial complex // *Res Militaris*, №2, T. 12 – 2022. – P. 2549-2560. EDN BGCRRS
 12. Vodolazskaya N.V. Models for improving the reliability of some technical systems // *Improving the engineering and technical support of production processes and technological systems: Proceedings of the national scientific and practical conference with international participation.* – Orenburg: House of Press Agency LLC. – 2022. – P. 304-308. EDN BQWADD.
 13. Antsyferov S.S., Fazilova K.N., Muravyov D.S. Intelligent Quality Control Systems for High-Tech Manufacturing Processes and Equipment // *Problems of Artificial Intelligence*, №2(37). – 2025. – P. 60-65. DOI: 10.24412/2413-7383-2025-2-37-60-65. EDN: CWZEJN.
 14. Perinskaya, E. V. Mathematical Modeling of the Processes of Functioning of Specialized Convective-Type Devices // *Problems of Artificial Intelligence*, № 2(25). – 2022. – P. 55-63. EDN: CDLKER
 15. Koltsova E.M., Babkin M.A., Popova N.A., Zhensa A.V. Mathematical modeling of the process of grinding materials // *Theoretical Foundations of Chemical Technology*, №1, T 58. – 2024. – P. 115-121. DOI: 10.31857/S0040357124010141. EDN: YVTKPL.
 16. Pittman W. Lessons to be learned from an analysis of ammonium nitrate disasters in the last 100 years – *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 280. – 2014. – P. 472-477. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2014.08.037
 17. Zhilyakov D.I., Trubnikov V.N., Korotkov I.V. Comparative assessment of the economic efficiency of using a two-drum spreader of granular fertilizers // *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, №9. 2022. P. 244-250. EDN: JXWVFJ.
 18. Nazirova R.M., Tadzhiyev S.M., Mirsalimova S.R., Khudayarova D. Intensive technology of NPK fertilizers based on washed dried concentrate of the central Kyzylkum // *Problems of Science*, №2. – 2019. – P. 6-11. – DOI 10.20861/2304-2338-2019-135-001. EDN: YXSHJR.
 19. Babkin V.V., Brodsky A.A. Phosphorus fertilizers in Russia – M.: Agrokhim-print LLP. – 1995. – 464 p.
 20. Gorbovsky K. G., Kazakov A. I., Norov A. I. [et al.] Investigation of the kinetics of thermal decomposition of NPK fertilizers based on ammonium nitrate // *Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. №1-3, T. 10. – 2019. – P. 64-71. DOI 10.25702/KSC.2307-5252.2019.10.1.64-71. EDN NRFNAY.
 21. Vyazovkin S. ICTAC Kinetics Committee recommendations for collecting experimental thermal analysis data for kinetic computations // *Thermochimica Acta*, Vol. 590. – 2014. – P. 1-23. DOI 10.1016/j.tca.2014.05.036. EDN UWKEXP.
 22. Pavlyuk R. V., Lebedev A. T., Zhevora Y. I., Zubenko E. V. The reliability analysis of combined harvesters in the usual conditions of operation // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 488. – 2020. – P. 012033. DOI 10.1088/1755-1315/488/1/012033. EDN: WEPOXL.
 23. Izato, Y. I. Miyake A. Thermal decomposition mechanism of ammonium nitrate and potassium chloride mixtures // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, №1. Vol. 121. – 2015. – P. 287-294. DOI 10.1007/s10973-015-4739-1. EDN: USVFUP.
 24. Sorokin, K.N. Mathematical model for developing a technological line for the production of humic fertilizers based on modular equipment // *Agroengineering*, №3, T. 24. – 2022. – P. 19-26. DOI: 10.26897/2687-1149-2022-3-19-26. EDN: XSFYTX.
 25. Kosheleva M.K., Meshalkin V.P., Dorniyak O.R. Mathematical Modeling of Heat and Mass Transfer during Drying of Carrier Granules for Nickel Catalyst // *Theoretical Foundations of Chemical Technology*, №3, T 55. – 2021. – P. 339-346. DOI: 10.31857/S0040357121030258. EDN: VBFPMU.
 26. Mozaidze E.S. Thematic Modeling in the Flow of Short Messages in Russian // *Russian Technological Journal*, №13(1). – 2025. – P. 38-48. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2025-13-1-38-48>. EDN: HJHQTR

27. Vodolazskaya N. V., Kopytova E. V., Lavrentyeva K. V., Chernenko V. D. Information System for Access Control and Tracking of Production Process Stages // Problems of Artificial Intelligence, №2, Т. 37 – 2025. P. 116-128. doi:10.24412/2413-7383-2025-2-37-116-128.
28. Information monitoring system design for industrial enterprises / T. O. Bochkareva, I. E. Kirillov, V. N. Bogatikov [et al.] // Software Journal: Theory and Applications. – 2020. – No. 2. – P. 20-28. – DOI 10.15827/2311-6749.20.2.3. – EDN QZRRMP.
29. Mosiyash A.E., Kashirskiy A.V. Modeling the Processes of Developing and Implementing Information Systems in an Organization // Petersburg Economic Journal, №1-2. – 2022. – P. 167-177. DOI: 10.24412/2307-5368-2022-1-2-167-177. EDN: GNRBCB.

RESUME

*N. V. Vodolazskaya, M.K. Votintsev, E. V. Kopytova, A.I.Khitsenko
Information And Control System For Monitoring The Technological Process
Of Manufacturing Complex Mineral Fertilizers*

This work is aimed at improving the technology for the production of complex mineral fertilizers. Fertilizers such as nitrogen, phosphorus and potash are vital for modern farming, as they provide plants with nutrients and prevent soil depletion. Improving the efficiency of their manufacture will optimize this complex but critical process.

An adaptive information management system was proposed to monitor and control the fertilizer production process. The key element is the SCADA system, which implements complex control algorithms and integrates with the equipment through the OPC UA standard. This end-to-end solution improves the manageability, predictability and cost-effectiveness of the entire process.

The technological process of manufacturing complex mineral fertilizers includes dosing, mixing of raw materials and subsequent granulation in an ammoniator-granulator, where, due to ammonization and optimal moistening, a fertilizer balanced in composition with high agronomic value is formed. The necessary process parameters for developing the interface for the SCADA system are highlighted.

Based on the analysis of the technological process and key parameters of the production of complex mineral fertilizers, a specialized interface was developed in the SCADA system. This interface covers the critical stages of granulation and drying, ensuring their monitoring and control. Thus, a central element of the information and control system has been created, which allows the operator to control the production cycle in real time.

A single visualization and monitoring standard speeds up the work of the operator and simplifies the integration of new equipment. The real-time data collection and archiving implemented in the SCADA system allows both operational control of the process and deep analysis to optimize it. Thus, the implementation of the system is technologically and economically justified, increasing the efficiency, safety and competitiveness of production.

РЕЗЮМЕ

*Н. В. Водолазская, М.К. Вотинцев, Е. В. Копытова, А.И. Хиценко
Информационно-управляющая система контроля технологического
процесса изготовления комплексных минеральных удобрений*

Данная работа направлена на совершенствование технологии производства комплексных минеральных удобрений. Удобрения, такие как азотные, фосфорные и калийные, жизненно необходимы для современного земледелия, так как обеспечивают растения питательными элементами и предотвращают истощение почв. Повышение эффективности их изготовления позволит оптимизировать этот сложный, но критически важный процесс.

Для мониторинга и управления процессом производства удобрений была предложена адаптивная информационно-управляющая система. Ключевой элемент — SCADA-

система, которая реализует сложные алгоритмы управления и интегрируется с оборудованием через стандарт OPC UA. Данное комплексное решение повышает управляемость, предсказуемость и экономическую эффективность всего технологического процесса.

Рассмотрен технологический процесс изготовления комплексных минеральных удобрений, который включает дозировку, перемешивание сырья и последующее гранулирование в аммонизаторе-грануляторе, где за счет аммонизации и оптимального увлажнения формируется сбалансированное по составу удобрение с высокой агрономической ценностью. Выделены необходимые параметры технологического процесса для разработки интерфейса для SCADA системы.

На основе проведенного анализа технологического процесса и ключевых параметров изготовления комплексных минеральных удобрений был разработан специализированный интерфейс в SCADA-системе. Данный интерфейс охватывает критические этапы гранулирования и сушки, обеспечивая их мониторинг и управление. Таким образом, создан центральный элемент информационно-управляющей системы, позволяющий оператору контролировать производственный цикл в реальном времени.

Единый стандарт визуализации и мониторинга ускоряет работу оператора и упрощает интеграцию нового оборудования. Реализованный в SCADA-системе сбор данных в реальном времени, и их архивация позволяют как оперативно управлять процессом, так и проводить глубокий анализ для его оптимизации. Таким образом, внедрение системы является технологически и экономически обоснованным, повышая эффективность, безопасность и конкурентоспособность производства.

Водолазская Н. В. – к.т.н., доцент, МИРЭА — Российский технологический университет, институт искусственного интеллекта, кафедра промышленной информатики, 119454, Россия, ЦФО, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78, +7-909-202-51-27, vpv26@bk.ru. *Область научных интересов:* цифровые технологии для автоматизации производственных процессов, моделирование технических систем, обеспечение надежности и безопасности технических систем.

Вотинцев М. К. – инженер, МИРЭА — Российский технологический университет, институт искусственного интеллекта, кафедра промышленной информатики, 119454, Россия, ЦФО, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78, votintsev.mikhail.k@mail.ru. *Область научных интересов:* интеграция информационной системы с MES- и SCADA-платформами.

Копытова Е. В. – ст. преподаватель, МИРЭА — Российский технологический университет, институт искусственного интеллекта, кафедра промышленной информатики, 119454, Россия, ЦФО, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78, +7 916 473 5973, kopytova@mirea.ru. *Область научных интересов:* комплексные системы управления производством.

Хиценко А. И. – к.т.н., доцент, Государственный университет просвещения, кафедра профессионального и технологического образования, 105005, Россия, г. Москва, [ул. Радио, 10А, стр. 2](#), +7 926 780-58-00, ganna_x@mail.ru. *Область научных интересов:* вопросы анализа конструкторских параметров деталей различного оборудования.

Статья поступила в редакцию 22.09.2025.