

УДК 66.012-52

<https://doi.org/10.31854/2307-1303-2025-13-3-26-38>

EDN: WBAGVR

## Концепция развития холдинга химической промышленности на основе использования интеллектуальных цифровых технологий

Вивчарь Р. М.<sup>1</sup>, Лазутин А. В.<sup>2</sup>, Смирнов А. И.<sup>3</sup>, Черкасов С. А.<sup>3</sup>,  
Зайцев А. И.<sup>1</sup>, Киричек Р. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

<sup>2</sup>ООО «Цифра»,  
Москва, 119311, Российская Федерация

<sup>3</sup>АО «Апатит»,  
Череповец, 162622, Российская Федерация

**Постановка задачи:** разработка концепции развития предприятий по производству минеральных удобрений, направленной на совершенствование интегрированных автоматизированных систем информационно-аналитического обеспечения процесса принятия решений по управлению всеми стадиями производства. **Целью** работы является представление разработанной концепции развития АО «Апатит», направленной на совершенствование информационно-аналитического сопровождения производства минеральных удобрений для повышения эффективности этого процесса. **Новизна** разработанной концепции заключается в обеспечении инновационного характера управления производством за счет создания возможности полного информационно-аналитического обеспечения процессов выработки и принятия решений на всех стадиях производства. **Результат:** разработана концепция развития АО «Апатит», в рамках которой предлагается совершенствование информационно-аналитического сопровождения производства, которое позволит обеспечить его инновационный характер за счет использования интеллектуальных цифровых технологий. Приведены первичные результаты реализации концепции, представляющие собой платформу промышленного интернета вещей IIOT, базовые компоненты цифровизации MES ZIAK, а также распределенную систему управления EXTERNUM. В рамках концепции развития для достижения ее целей разработана сквозная процедура информационно-аналитического сопровождения производства на базе цифровой платформы Zyfra IIOT Platform, конструктора Zyfra Industrial Automation Kit и интеллектуальных технологий. **Практическая значимость:** реализация концепции позволит повысить оперативность и обоснованность решений по управлению производством минеральных удобрений, снизить затраты и потери, улучшить взаимодействие между всеми подразделениями производства, а также повысить эффективность деятельности персонала.

**Ключевые слова:** автоматизированная система управления производством, производство, Zyfra, управление производством

### Библиографическая ссылка на статью:

Вивчарь Р. М., Лазутин А. В., Смирнов А. И., Черкасов С. А., Зайцев А. И., Киричек Р. В. Концепция развития холдинга химической промышленности на основе использования интеллектуальных цифровых технологий // Информационные технологии и телекоммуникации. 2025. Т. 13. № 3. С. 26–38. DOI: 10.31854/2307-1303-2025-13-3-26-38. EDN: WBAGVR

### Reference for citation:

Vivchar R., Lazutin A., Smirnov A., Cherkasov S., Zaycev A., Kirichek R. Concept for the Development of a Chemical Industry Holding Company Based on the Use of Intelligent Digital Technologies // Telecom IT. 2025. Vol. 13. Iss. 3. PP. 26–38. (in Russian). DOI: 10.31854/2307-1303-2025-13-3-26-38. EDN: WBAGVR

## Введение

Производство минеральных удобрений вносит существенный вклад в обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации. Это обусловлено тем, что урожайность основных сельскохозяйственных культур напрямую зависит от объема вносимых минеральных удобрений. Кроме того, использование минеральных удобрений является важным фактором возврата значимых элементов питания, например таких, как азот, фосфор и калий в биологический круговорот веществ. Таким образом, отрасль по производству минеральных удобрений является одной из ключевых и стратегически важных для нашей страны. Это обуславливает необходимость постоянного развития отечественных холдингов химической промышленности с целью повышения их эффективности. В качестве путей развития в настоящее время особенно выделяется внедрение интегрированных автоматизированных систем (АС) информационно-аналитического обеспечения процесса принятия решений по управлению всеми стадиями производства продукции.

Анализ показал, что как отечественные, так и зарубежные образцы АС, решающих задачи информационно-аналитического обеспечения процесса принятия решений по управлению всеми стадиями производства в полном объеме, в настоящее время отсутствуют (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительные характеристики интегрированных АС информационно-аналитического обеспечения процесса принятия решений по управлению всеми стадиями производства

Характеристики	Разработчик. Наименование образцов АС					
	Аскон. (Лоцман- PLM)	Solid Works- Russia. (SWR-PDM)	Лоция- Софт	IBM. PLM Solution	Team Center Engineering	ZWCAD 2018 Professional
Страна-разработчик	Россия	Россия	Россия	США	ФРГ	Китай
Защищенное единое информационное пространство	–	–	–	+	+	–
Поддержка принятия решений	–	+	+	+	+	–
Охват всех этапов жизненного цикла	+	–	–	+	–	–
Решение информационно-аналитических задач	–	–	–	–	–	+
Решение задач поддержки жизненного цикла	+	–	–	+	+	–
Функционирование в реальном времени	–	–	–	–	–	–

Существующие и разрабатываемые аналоги таких систем предназначены для автоматизации только отдельных задач информационно-аналитической поддержки

принятия решений. Достоверное и полное информационно-аналитическое обеспечение поддержки принятия решений при управлении всеми стадиями производства в полном объеме ими не обеспечивается.

Необходимо отметить, что как существующие, так и создаваемые аналоги интегрированных АС информационно-аналитического обеспечения процесса принятия решений по управлению всеми стадиями производства обладают рядом существенных общесистемных недостатков, основными из которых являются:

- отсутствие интеграции и информационного взаимодействия между эксплуатируемыми АС;
- дублирование информации в разнородных базах данных и знаний;
- узкая специализация;
- отсутствие единой политики обеспечения первичной информацией;
- жесткая привязка к соответствующим объектам управления (информационным ресурсам, информационной инфраструктуре и пр.);
- разнородность и несовместимость АС, выполненных на различных платформах разными разработчиками;
- отсутствие интеграции и систематизации больших объемов разнородной информации, единых баз данных обо всех стадиях производства продукции;
- отсутствие единого информационного пространства, единых форматов и технологий обработки информации, единой сети передачи данных, единых корпоративных хранилищ данных;
- отсутствие единых механизмов контроля за полнотой, достоверностью, целостностью информации, стандартизованных регламентов информационного взаимодействия;
- слабый уровень автоматизации аналитической обработки, ограничение оперативного доступа к информации о состоянии производства.

В этой связи актуальна задача совершенствования информационно-аналитического сопровождения производства. Данная статья посвящена представлению разработанной авторами концепции развития одного из ключевых производителей минеральных удобрений в РФ – АО «Апатит», входящего в группу компаний «ФосАгро». В рамках концепции предлагается совершенствование информационно-аналитического сопровождения производства, которое позволит обеспечить его инновационной характер за счет использования интеллектуальных цифровых технологий.

### **Характеристика концепции и результаты ее реализации**

Концепция развития АО «Апатит», разработанная с целью повышения эффективности производства, предполагает следующие шаги:

- создание и реализацию единого защищенного информационного пространства: интегрированных информационных ресурсов, инфраструктуры доступа и обмена полной, непротиворечивой, достоверной и актуальной информацией;
- построение единой информационной модели производства и средств, обеспечивающих единые принципы интерпретации, обработки, анализа и представления информации;

- обеспечение предметно-ориентированных интерфейсов доступа и автоматизированного информационного взаимодействия между структурными подразделениями и внешними поставщиками;
- преодоление фрагментарности автоматизации, поэтапный переход к сквозным технологиям цифровизации производства;
- поддержку процессов формирования цифровых двойников производства;
- внедрение интеллектуальных технологий аналитической обработки и анализа распределенных данных и знаний, интеллектуальных систем поддержки принятия решений;
- введение единой системы и политики нормативного регулирования автоматизированного информационного взаимодействия.

Научная новизна представленной концепции заключается в том, что она основана на инновационном управлении производством, отличающемся от известных возможностью полного информационно-аналитического обеспечения процессов выработки и принятия решений на всех стадиях производства. Внедрение концепции позволит создать преимущество перед предприятиями, оснащенными АС, не имеющими подобной информационной поддержки, и тем самым повысить конкурентоспособность АО «Апатит» в отрасли производства минеральных удобрений, а также внести весомый вклад в обеспечение продовольственной безопасности РФ.

Для реализации этой концепции и в рамках программы импортозамещения Министерства цифрового развития РФ АО «Апатит» совместно с ООО «Цифра» и ООО «Реглаб» были внедрены системы управления 1) производством и 2) технологическим процессом для крупного холдинга химической промышленности. В рамках первого проекта ООО «Цифра» были разработаны платформа промышленного интернета вещей (Zyfra IIOT Platform) и базовые компоненты цифровизации к ней (Zyfra Industrial Automation Kit).

Zyfra IIOT Platform предназначена для решения следующих задач:

- сбор данных с большой группы источников, хранение глубокой истории технологических данных с возможностью сжатия и архивирования, описание технологических данных;
- отслеживание, создание производственных событий, а также информирование пользователя об их появлении, создание и отображение бизнес-графики с целью контроля производственных процессов в режиме реального времени.

В состав платформы входят следующие модули (рисунок 1):

- сервисы сбора данных;
- сервисы хранения данных;
- базовые сервисы платформы;
- сервисы расчетов;
- сервис рабочих процессов;
- сервисы представления данных;
- сервис автоматизированного формирования витрин данных;
- сервисы администрирования.

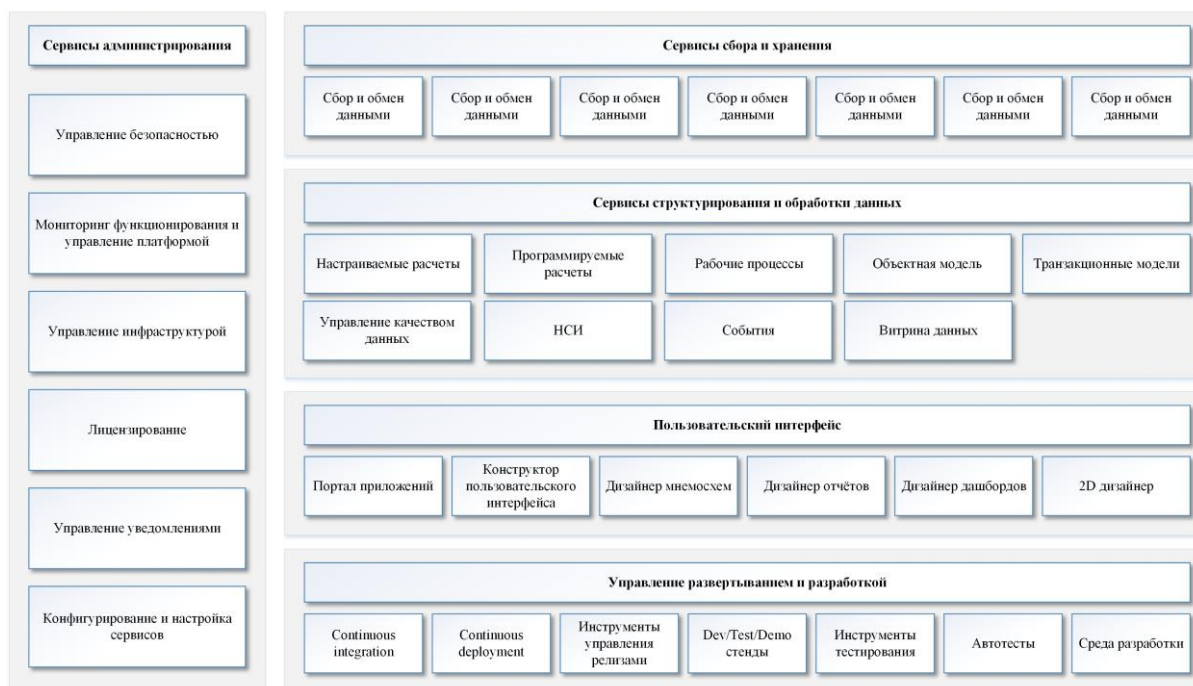


Рис. 1. Модули платформы Zyfra IIOT Platform

На рисунке 2 представлен графический интерфейс Zyfra IIOT Platform, которая является интеграционным хабом и предоставляет Zyfra Industrial Automation Kit данные о технологии, информационную модель предприятия, возможности по визуализации данных, сформированных в прикладных модулях последней.

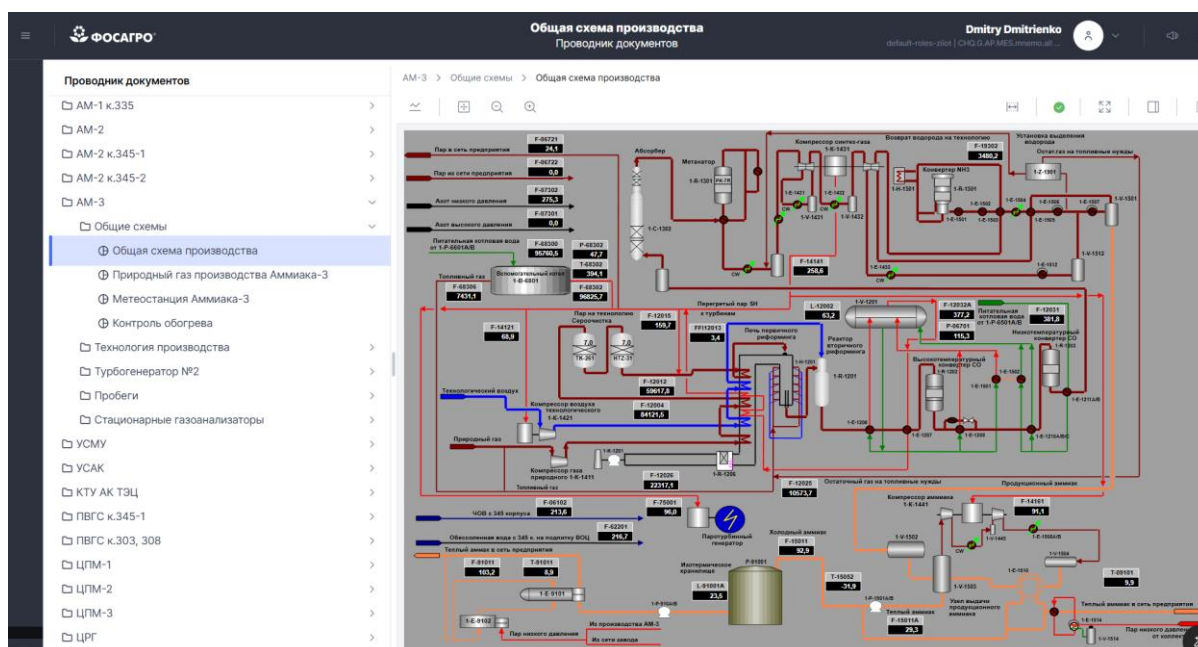


Рис. 2. Графический интерфейс Zyfra IIOT Platform

Главными преимуществами Zyfra Industrial Automation Kit является то, что компоненты управления производством создаются на цифровой платформе с использованием микросервисной архитектуры и позволяюткратно ускорить внед-

рение классических и инновационных цифровых сценариев на производстве, миную традиционную разработку и улучшая показатель скорости выпуска продукции. На рисунке 3 представлен графический интерфейс Zyfra Industrial Automation Kit.

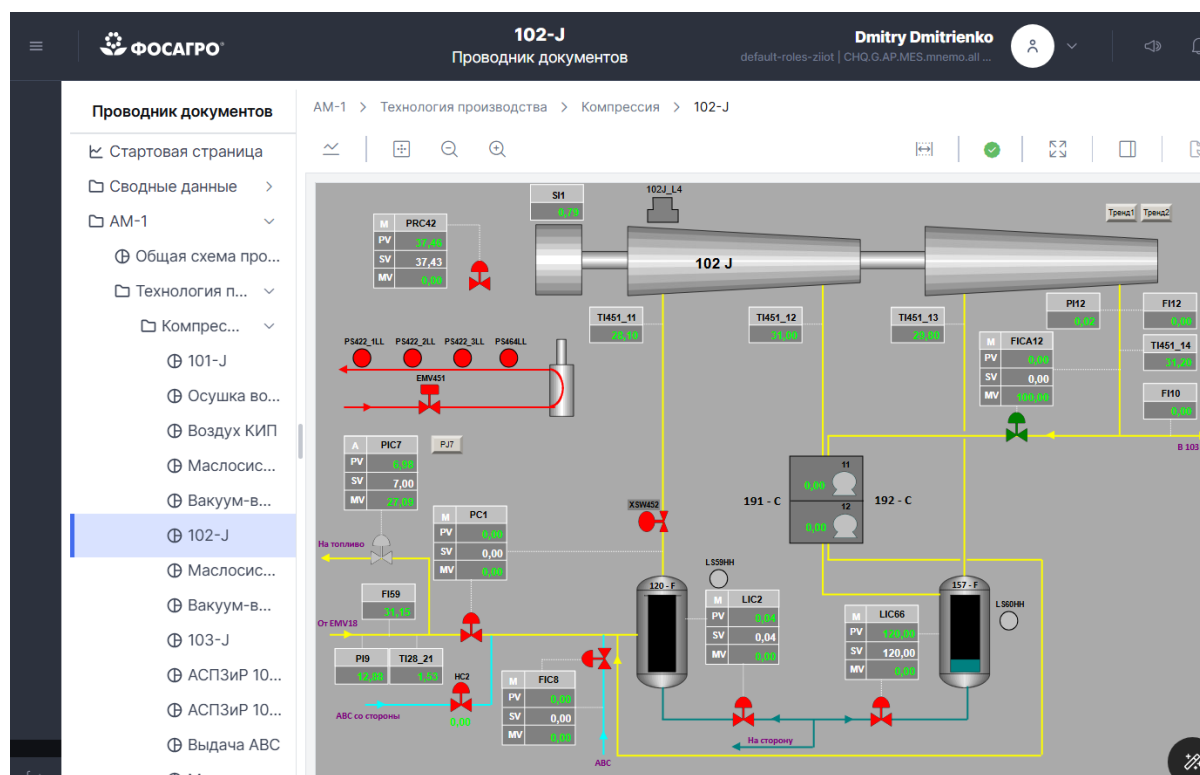


Рис. 3. Графический интерфейс Zyfra Industrial Automation Kit

Zyfra IIOT Platform совместно с компонентами Zyfra Industrial Automation Kit представляет собой АС управления производством, данные для которой собираются с АС управления технологическим процессом различных классов, разработанных ООО «Реглаб» с помощью специализированного программного обеспечения – распределенной системы управления (PCY) EXTERNUM (рисунок 4).

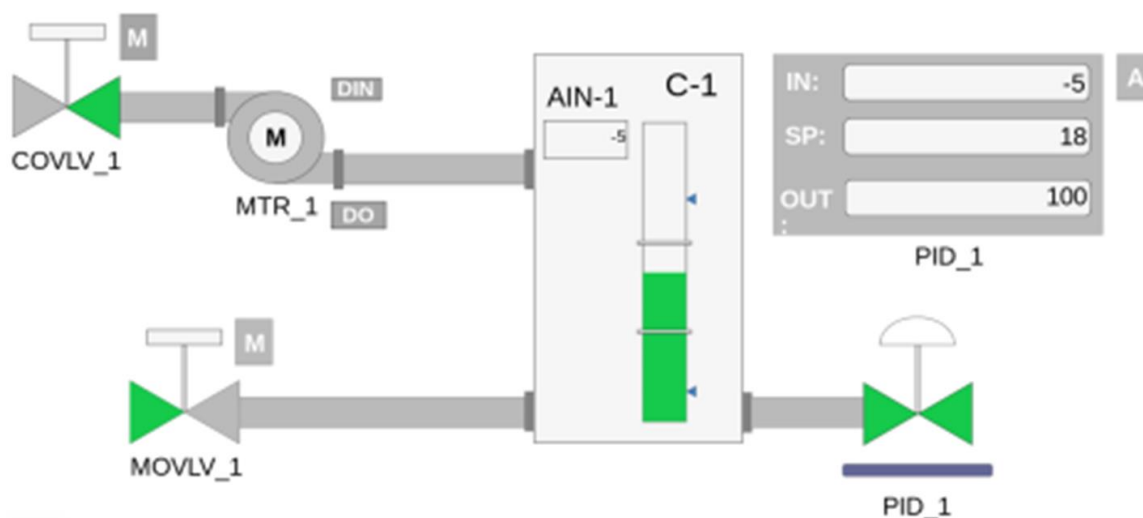


Рис. 4. Пример технологического процесса, разработанного с помощью программного обеспечения PCY EXTERNUM

В состав программного обеспечения PCY EXTERNUM входят:

- комплект проектной документации;
- среда разработки АС управления технологическим процессом;
- среда исполнения распределения АС управления технологическим процессом на всех уровнях – для серверов, рабочих и инженерных станций;
- библиотека функциональных блоков АС управления технологическим процессом.

Для корректной работы АС управления производством и технологическим процессом был создан цифровой двойник производства, позволяющий получать в режиме реального времени основные сведения о процессе функционирования производства (таблица 2).

Таблица 2 – Состав данных цифрового двойника производства АО «Апатит»

Вид данных	Содержание
Показатели эффективности производства	Сведения о: <ul style="list-style-type: none"><li>– производительности изготовления продукции</li><li>– уровне готовой продукции в емкостях и на складах, а также расходе на выходе (отпуске)</li><li>– потреблении электрической энергии</li><li>– суммарных затратах на производство и т. д.</li></ul>
Состояние и распределение ресурсов	Сведения о: <ul style="list-style-type: none"><li>– фактическом наличии и движении сырья, материалов, полуфабрикатов, продукции в местах хранения</li><li>– нормах времени и расхода материалов</li><li>– рецептуре и спецификациях на выполнение работ и т. д.</li></ul>
Производимая продукция	Сведения о: <ul style="list-style-type: none"><li>– качестве продукции</li><li>– степени соответствия продукции заданным техническим требованиям, техническим условиям, требованиям стандартов и других нормативно-технических документов</li><li>– допусках на производимую продукцию и т. д.</li></ul>
Технологические процессы	Сведения о: <ul style="list-style-type: none"><li>– состоянии используемого оборудования</li><li>– показателях технологических процессов</li><li>– факторах, влияющих на качество продукции</li><li>– отклонениях технологических параметров</li><li>– документах производственного цикла и т. д.</li></ul>
Состояние системы обеспечения безопасности производства	Сведения о: <ul style="list-style-type: none"><li>– состоянии систем жизнеобеспечения</li><li>– значениях контролируемых параметров (концентрация газов, скорость и направление воздуха и т. д.)</li><li>– авариях и инцидентах на производстве и т. д.</li></ul>
Персонал	Сведения о: <ul style="list-style-type: none"><li>– наличии персонала</li><li>– квалификации персонала</li><li>– состоянии персонала</li><li>– составе и продолжительности рабочих смен и т. д.</li></ul>

Для повышения эффективности производства в рамках концепции развития была разработана сквозная процедура информационно-аналитического сопровождения производства на базе цифровой платформы Zyfra IIOT Platform, конструктора Zyfra Industrial Automation Kit и интеллектуальных технологий (таблица 3). Процедура обеспечивает поэтапную трансформацию данных о состоянии производства в конкретные прикладные решения и, по сути, позволяет получить на выходе вариант системы поддержки принятия решений на всех стадиях производства.

Таблица 3 – Сквозная процедура информационно-аналитического сопровождения производства

Интеграция данных	Оперативное и долговременное хранение данных	Интеллектуальный анализ данных	Информационная поддержка принятия решений	Доступ и взаимодействие
Формирование спецификаций и унифицированных предметных посредников информационного взаимодействия между всеми структурными подразделениями	Управление оперативным и долговременным хранением данных	Извлечение, формализация и использование знаний из данных	Поддержка проактивного управления производством	Интерактивная визуализация (инфографика), таблицы, тренды, 2D- и 3D-мнемосхемы
	Поддержка единой информационной модели, управление метаданными	Управление базами знаний Извлечение, формализация и использование экспертных знаний		
Загрузка и консолидация данных из разнородных информационных ресурсов	Кластеризация и каталогизация данных	Оперативная аналитическая обработка	Поиск корневых причин нарушения нормального функционирования производства и других возможностей для повышения его эффективности	Пространственная визуализация
Формирование согласованных хронологических наборов данных	Поддержка гибридных и разнотипных моделей данных	Ретроспективный анализ данных и предиктивная аналитика	Формирование и вывод оптимальных/квазиоптимальных альтернатив решений	
Унификация интерфейсов и форматов данных	Классификация и оптимизация структур данных	Комплексное имитационно-аналитическое моделирование	Обоснование / объяснение сформированных выводов и решений	Документно- и объектно-ориентированные интерфейсы доступа
Реализация защищенного взаимодействия со смежными информационными системами	Управление базами данных	Автоматический синтез аналитических сервисов	Генерация аналитических отчетов	Интеллектуальный поиск и фильтрация по совокупности данных



Как видно из таблицы 3, в настоящее время уже достигнут существенный прогресс в области цифровизации процесса производства минеральных удобрений. Следующим шагом является наделение существующей АС управления производством интеллектуальными функциями, которые позволят на выходе формировать варианты решений по управлению производством. Достижение этого результата предполагается на основе синергетического использования методов искусственного интеллекта, исследования операций, а также теории автоматического управления, основу которых будут составлять экспертные системы и деревья принятия решений [1, 2], нейросетевое моделирование [3], интеллектуальный анализ данных [4, 5], методы анализа корневых причин [6–8], динамическое моделирование [9], методы оценивания устойчивости систем [10, 11] и др.

Реализация уже достигнутых планов развития производства по предварительным оценкам позволила АО «Апатит»:

- уменьшить время принятия решений на 50 %;
- исключить до 98 % ошибок при информационном обеспечении;
- сократить время на поиск и извлечение данных на 40 %;
- уменьшить время планирования на 70 %.

Осуществление оставшихся планов развития предприятия в области интеллектуализации процесса управления производством позволит АО «Апатит» обеспечить:

- снижение нормы потерь производства продукции;
- оптимизацию загрузки производственных мощностей;
- снижение затрат на закупку энергоресурсов, вспомогательных ресурсов за счет совершенствования переключения производственных режимов;
- рационализацию использования производственных ресурсов на ведение технологического процесса;
- своевременное выявление брака;
- снижение числа аварийных ситуаций за счет раннего выявления предпосылок, оперативного реагирования на них и повышения осведомленности персонала о действиях во внештатных ситуациях (сокращение внепланового простоя);
- повышение эффективности деятельности персонала.

Реализация концепции развития возможна за счет привлечения ведущих разработчиков в области цифровых интеллектуальных технологий, интеграции с высшими учебными заведениями с целью подготовки будущих сотрудников (создания профилированных учебных лабораторий, проведения тематических олимпиад, стажировки студентов на предприятии и т. д.), наращивания потенциала регионов (размещение основных площадок производства).

## Заключение

Обеспечение продовольственной безопасности является одной из стратегических задач РФ и напрямую зависит от постоянного развития ключевых предприятий отрасли. В данной статье представлена концепция развития АО «Апатит», являющегося одним из ведущих предприятий по выпуску минеральных удобрений. Основой концепции развития является совершенствование процесса

управления производства путем внедрения интеллектуальных цифровых технологий. Научная новизна концепции заключается в возможности полного информационно-аналитического обеспечения процессов выработки и принятия решений на всех стадиях производства, что позволит повысить конкурентоспособность АО «Апатит» в отрасли производства минеральных удобрений, а также внести весомый вклад в обеспечение продовольственной безопасности РФ.

### Литература

1. Смирнов А. В., Левашова Т. В., Пономарев А. В. Поддержка принятия решений на основе человеко-машинного коллективного интеллекта: современное состояние и коллективная модель // Информационно-управляющие системы. 2020. № 2 (105). С. 60–70. DOI: 10.31799/1684-8853-2020-2-60-70. EDN: IMLZXX
2. Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с. EDN: QMPREP
3. Брехт Э. А., Коншина В. Н. Применение нейронной сети YOLO для распознавания дефектов // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2022. № 2 (30). С. 41–47. DOI: 10.24412/2413-2527-2022-230-41-47. EDN: ZRAQDL
4. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвиль А. Глубокое обучение. М., 2018. 652 с.
5. Тихонов А. А. Большие данные и глубокое машинное обучение в искусственных нейронных сетях // Наука и образование сегодня. 2018. № 6 (29). С. 35–38. EDN: XRHGYX
6. Andersen B., Fagerhaug T. Root Cause Analysis: Simplified Tools and Techniques // Journal for Healthcare Quality. 2002. Vol. 24. Iss. 3. PP. 46–47.
7. Мельчакова А. И., Мажанов М. О., Иевкова Е. В. Методы анализа корневых причин несоответствий при производстве // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных трудов по итогам одиннадцатой международной научной конференции (Казань, 29–30 ноября 2020 г.). Ч. 3. М.: ООО «Конверт», 2020. С. 89–91. EDN: MBQQPW
8. Демидько Е. В. Теоретические подходы к анализу причин изменения прибыли предприятия // Управленческий учет. 2023. № 6. С. 164–169. DOI: 10.25806/uu62023164-169. EDN: VNUSCD
9. Михайлова К. Э., Петуховская В. Р., Сокольчик П. Ю. Моделирование подсистем АСУТП в среде динамического моделирования технических систем SIMINTECH // Химия. Экология. Урбанистика. 2020. Т. 4. С. 298–302. EDN: BNDVUA
10. Завгородняя А. С. Методика принятия решений в адаптивном управлении устойчивым развитием сельскохозяйственных предприятий // Фундаментальные исследования. 2020. № 9. С. 36–40. DOI: 10.17513/fr.42840. EDN: KDFCVI
11. Билятдинов К. З. Методика оценки устойчивости технических систем // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 10. С. 25–28. EDN: LVVDFM

**Статья поступила 17 ноября 2025 г.**  
**Одобрена после рецензирования 19 декабря 2025 г.**  
**Принята к публикации 20 декабря 2025 г.**

### Информация об авторах

*Вивчарь Роман Михайлович* – кандидат технических наук, доцент кафедры программной инженерии и вычислительной техники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: vivchar.rm@sut.ru

*Лазутин Александр Владимирович* – архитектор Бизнес Решений ООО «Цифра». E-mail: aleksandr.lazutin@zyfra.com

*Смирнов Александр Иванович* – кандидат экономических наук, доцент, директор Дирекции по экономической безопасности АО «Апатит». E-mail: ASmirnov4@phosagro.ru

*Черкасов Сергей Александрович* – заместитель директора по экономической безопасности АО «Апатит». E-mail: SCherkasov@phosagro.ru

*Зайцев Алексей Иванович* – проректор по цифровой трансформации и административной работе Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: cio@sut.ru

*Киричек Руслан Валентинович* – доктор технических наук, профессор, ректор Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: kirichек@sut.ru

<https://doi.org/10.31854/2307-1303-2025-13-3-26-38>  
EDN: WBAGVR

## Concept for the Development of a Chemical Industry Holding Company Based on the Use of Intelligent Digital Technologies

✉ R. Vivchar<sup>1</sup>, A. Lazutin<sup>2</sup>, ✉ A. Smirnov<sup>3</sup>, ✉ S. Cherkasov<sup>3</sup>, ✉ A. Zaycev<sup>1</sup>,  
✉ R. Kirichek<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

<sup>2</sup>Cifra, LLC,  
Moscow, 119311, Russian Federation

<sup>3</sup>Apatit, JSC,  
Cherepovets, 162622, Russian Federation

**Purpose.** Developing a development concept for mineral fertilizer production enterprises aimed at improving integrated automated information and analytical support systems for decision-making processes across all stages of production. The objective of this work is to present the developed development concept for JSC Apatit, aimed at improving information and analytical support for mineral fertilizer production to increase the efficiency of this process. **Novelty.** The novelty of the developed concept lies in ensuring the innovative nature of production management by creating the possibility of complete information and analytical support for the processes of development and decision-making at all stages of production. **Results.** A development concept for JSC Apatit has been developed, proposing improvements to information and analytical support for production, which will ensure its innovative nature through the use of intelligent digital technologies. The initial results of the concept's implementation are presented, including the developed ZIIOT Industrial Internet of Things platform, ZIAK MES basic digitalization components, and the EXTERNUM distributed control system. To achieve the development concept's goals, an end-to-end procedure for information and analytical support for production was developed based on the Zyfra IIOT Platform digital platform, the Zyfra Industrial Automation Kit, and intelligent technologies. **Practical relevance.** The implementation of the concept will improve the efficiency and validity of decisions on managing the production of mineral fertilizers, reduce costs and losses, improve interaction between all production units, and increase the efficiency of personnel.

**Key words:** automated production control system, production, Zyfra, production management system

## References

1. Smirnov A. V., Levashova T. V., Ponomarev A. V. Decision support based on human-machine collective intelligence: current state and collective model // Information and Control Systems. 2020. Iss. 2 (105). PP. 60–70. (in Russian) DOI: 10.31799/1684-8853-2020-2-60-70. EDN: IMLZXX
2. Ohtilev M. U., Sokolov B. V., Jusupov R. M. Intelligent technologies for monitoring and controlling the structural dynamics of complex technical objects. Moscow: Nauka Publ., 2006. (in Russian). 410 p. EDN: QMPREP
3. Breht E. A., Konshina V. N. Application of the YOLO neural network for defect recognition // Intellectual Technologies on Transport. 2022. Iss. 2 (30). PP. 41–47. (in Russian) DOI: 10.24412/2413-2527-2022-230-41-47. EDN: ZRAQDL
4. Goodfellow Y., Bengio Y., Courvill A. Deep learning. Moscow, 2018. 652 p. (in Russian)

5. Tihonov A. A. Big data and deep machine learning in artificial neural networks // Science and Education Today. 2018. Iss. 6 (29). PP. 35–38. (in Russian) EDN: XRHGYX
6. Andersen B., Fagerhaug T. Root cause analysis: simplified tools and techniques // Journal for Healthcare Quality. 2002. Vol. 24. Iss. 3. PP. 46–47.
7. Mel'chakova A. I., Majanov E. V., Ievkova E. V. Methods for analyzing the root causes of nonconformities in production // Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Scientific Conference “Priority Areas of Innovative Activity in Industry” (Kazan, 29–30 November 2020). Part. 3. Moscow: Konvert Publ., 2020. PP. 89–91. (in Russian) EDN: MBQQPW
8. Demid'ko E. V. Theoretical approaches to the analysis of the causes of changes in enterprise profits // Management accounting. 2023. Iss. 6. PP. 164–169. (in Russian) DOI: 10.25806/uu62023164-169. EDN: VNUSCD
9. Mihailova K. E., Petuhovskaya V. R., Sokol'chik P. U. Modeling of process control system subsystems in the SIMINTECH dynamic modeling environment for technical systems // Chemistry. Ecology. Urbanism. 2020. Vol. 4. PP. 298–302. (in Russian) EDN: BNDVUA
10. Zavgorodnaya A. S. Methodology of decision-making in adaptive management of sustainable development of agricultural enterprises // Fundamental Research. 2020. Iss. 9. PP. 36–40. (in Russian) DOI: 10.17513/fr.42840. EDN: KDFCVI
11. Bil'yatdinov K. Z. Methodology for assessing the stability of technical systems // Scientific and technical bulletin of the Volga Region. 2020. Iss. 10. PP. 25–28. (in Russian) EDN: LVVDFM

### Information about Authors

*Vivchar Roman* – Ph. D. of Technical Sciences, Associate Professor at the Software Engineering and Computer Science Department (The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: vivchar.rm@sut.ru

*Lazutin Aleksandr* – Business Solutions Architect (Limited Liability Company Cifra, LLC). E-mail: aleksandr.lazutin@zyfra.com

*Smirnov Aleksandr* – Ph. D. of Economic Sciences, Docent, Director of the Directorate for Economic Security (Apatit, JSC). E-mail: ASmirnov4@phosagro.ru

*Cherkasov Sergey* – Deputy Director for Economic Security (Apatit, JSC). E-mail: SCherkasov@phosagro.ru

*Zaytcev Aleksey* – Vice-Rector for Digital Transformation and Administrative Work (The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: cio@sut.ru

*Kirichuk Ruslan* – Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector (The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: kirichuk@sut.ru