

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2026-16-1-50-63>



УДК 004.02

Интеллектуальная система оптимизации производственной деятельности на среднем и крупном предприятии на основе автоматизированных информационных систем

Д. А. Каракчиев¹, К. Н. Шевченко¹, Р. А. Томакова¹✉

¹ Юго-Западный государственный университет

ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: rtomakova@mail.ru

Резюме

Цель исследования – разработать универсальную систему оптимизации производственного процесса, выполняющую функцию мониторинга оборудования, оповещения о неполадках, контроля производства и аналитическую функцию для средних и крупных промышленных предприятий.

Методы. Рассматриваются перспективы интеграции автоматизированных информационных систем и планирование ресурсов предприятия (ERP) в систему оптимизации производства. Этот подход предполагает создание общей многомодульной системы, которая позволяет вести постоянный мониторинг оборудования, фиксировать состояния как работы, так и простоя, создавать и проводить производственную планировку ресурсов, вести сложную аналитику, сокращать время реагирования на вызовы ремонтных служб и повышать эффективность и качество производства.

Для решения этой проблемы проводится анализ различных источников исходной информации, включая данные о производственной деятельности, статических и динамических данных о работе тех или иных подразделений в сфере логистики и аналитики. Использование системы планирования ресурсов предприятия позволяет интегрировать и анализировать эти данные в реальном времени, обеспечивая эффективность контроля производства и аналитики на предприятии.

Результаты. Представленная система оптимизации производства основана на усовершенствованной версии автоматизированной информационной системы, что в перспективе предполагает развитие в логистические и аналитические отрасли. В процессе работы с собираемыми данными осуществляется аналитика, планировка и контроль работы, что существенно сокращает количество лишних вычислений и, как следствие, минимизирует затраты на производство и кадровый состав.

Заключение. Использование системы мониторинга и планирования ресурсов в производственных инфраструктурах открывает возможности для повышения прозрачности, рентабельности и управления для бизнеса.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система; управление производством; автоматизированная обработка ресурсов; интеграционный процесс; комплексная аналитика; технологический процесс.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

© Каракчиев Д. А., Шевченко К. Н., Томакова Р. А., 2026

Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2026;16(1):50–63

Для цитирования: Каракчиев Д. А., Шевченко К. Н., Томакова Р. А. Интеллектуальная система оптимизации производственной деятельности на среднем и крупном предприятии на основе автоматизированных информационных систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2026. Т. 16, № 1. С. 50–63. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2026-16-1-50-63>

Поступила в редакцию 11.01.2026

Подписана в печать 10.02.2026

Опубликована 31.03.2026

Intelligent system for optimization of production activities at a medium and large enterprise based on ais

Daniil A. Karakchiev¹, Klim N. Shevchenko¹, Rimma A. Tomakova¹ ✉

¹ Southwest State University

50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: rtomakova@mail.ru

Abstract

The purpose of the research is to develop a universal system for optimizing the production process, performing the function of equipment monitoring, fault notification, production control and analytical function for medium and large industrial enterprises.

Methods. The prospects of integrating automated information systems and enterprise resource planning (ERP) into a production optimization system are considered. This approach involves the creation of a common multi-module system that allows continuous monitoring of equipment, recording the status of both work and downtime, creating and conducting production planning of resources, conducting complex analytics, reducing response time to calls from repair services, and improving production efficiency and quality. To solve this problem, various sources of initial information are analyzed, including data on production activities, static and dynamic data on the work of various departments in the field of logistics and analytics. Using the enterprise resource planning system allows you to integrate and analyze this data in real time, ensuring the effectiveness of production control and analytics in the enterprise.

Results. The presented production optimization system is based on an improved version of an automated information system, which in the future involves development in the logistics and analytical industries. In the process of working with the collected data, work is analyzed, planned and monitored, which significantly reduces the number of unnecessary calculations and, as a result, minimizes production costs and staffing.

Conclusion. The use of a monitoring and resource planning system in production infrastructures opens up opportunities for increasing transparency, profitability and management for businesses.

Keywords: automated information system; production management; automated resource processing; integration process; comprehensive analytics; technological process.

Conflict of interest: The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Karakchiev D.A., Shevchenko K.N., Tomakova R.A. Intelligent system for optimization of production activities at a medium and large enterprise based on ais. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2026;16(1):50–63. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2026-16-1-50-63>

Received 11.01.2026

Accepted 10.02.2026

Published 31.03.2026

Введение

Внедрение технологий Индустрии 4.0 и цифровая трансформация кардинально изменили подходы к управлению промышленными предприятиями, предлагая интеллектуальные решения для повышения производительности, снижения издержек и оптимизации использования ресурсов. По этой причине низкая общая эффективность производства (ОЕЕ) и разрозненность данных становятся основной проблемой для производственных менеджеров и ИТ-специалистов, которые должны отслеживать и понимать основные причины потерь для определения решений [1]. Операционные «заторы» и информационная непрозрачность преследуют современные производства, и справиться с их динамичным характером – постоянная проблема [2].

В контексте популяризации перехода предприятий к автоматизированному и интеллектуальному производству в мире особое внимание уделяется формированию современной информационной инфраструктуры, а также разработке автоматизированных информационных систем (АИС), использованию Интернета вещей (IoT) и искусственного интеллекта (ИИ).

В работе [3] обсуждается использование корпоративных информационных систем (ERP) для стратегического планирования ресурсов предприятия и интегрированного управления бизнес-

процессами. В ней подчёркивается важность точных плановых данных для формирования производственных программ и финансовой отчётности. Целью исследования является изучение методов повышения эффективности ERP-систем, что указывает на акцент на управлении верхнего уровня. Кроме того, в нем упоминается изучение методов консолидации данных, которые являются важнейшими аспектами достоверности отчётности.

Основные функции и возможности автоматизированных информационных систем оперативного уровня (АИС/MES) в управлении производством рассмотрены в работе [4].

К таким функциям относятся:

- оперативное планирование и диспетчеризация производственных заданий, которая используется для управления потоком заказов в цехе в реальном времени;
- управление материально-техническими ресурсами и отслеживание их движения, которое позволяет контролировать использование сырья, полуфабрикатов и комплектующих;
- контроль и сбор данных о производстве, в рамках которого АИС взаимодействует с оборудованием, собирая данные о выработке, параметрах процессов, простоях и браке;
- управление качеством, позволяющее регистрировать отклонения и проводить анализ дефектов непосредственно в ходе производства;

– анализ эффективности оборудования (ОЕЕ) и производительности труда, предоставляющий инструменты для оценки использования мощностей [5].

В терминологии между данными системами трудно не запутаться. Разница в том, что АИС (Автоматизированная информационная система) – это общий термин для систем, где компьютеры помогают обрабатывать информацию, а MES (Manufacturing Execution System – Система управления производственными процессами) – это специализированный вид АИС, которая фокусируется на оперативном управлении производством в реальном времени, отвечая на вопрос: «Как и что производить сейчас?», в то время как более широкая ERP (Enterprise Resource Planning) управляет ресурсами всей компании на стратегическом уровне, отвечая на вопросы: «Сколько и когда производить в целом?». MES – это «мозг» цеха, а ERP – «мозг» всего предприятия, где они могут работать вместе, дополняя друг друга.

В работе [6] рассматривается использование MES как инструмента, позволяющего повысить оперативную видимость цеховых процессов и скорость реагирования на отклонения за счет точного мониторинга текущего состояния производства.

Ключевым аспектом успеха является способность мгновенно контролировать производственный поток и делать обоснованный выбор с учетом меняющихся факторов (выход оборудования,

качество сырья, срочные заказы) [7]. Однако технологическая и функциональная разобщенность систем ERP и АИС создает значительные проблемы для достижения сквозной оптимизации и принятия решений [8]. С помощью интеграции ERP и АИС создаются единые дашборды и отчеты для наглядного представления данных о ходе производства и его экономических показателях. Предоставление инструментов для анализа соответствия плановых и фактических показателей позволяет принимать более обоснованные решения [9].

Совмещение данных в режиме реального времени играет важнейшую роль в решении многих проблем, с которыми сталкиваются промышленные предприятия. Обеспечивая взаимный обмен информацией между системами, интеграция направлена на сокращение цикла выполнения заказа, минимизацию объемов незавершенного производства и снижение уровня складских запасов [10]. Эффективная интеграция – это не просто техническое соединение двух систем; она также учитывает такие факторы, как доступность ресурсов в реальном времени, состояние оборудования, приоритеты заказов и качество продукции. Оптимизация этих процессов может повысить гибкость производства, позволяя лучше распределять ресурсы, сокращать простои и повышать общую управляемость предприятия. Кроме того, интеграция ERP и АИС тесно связана с общей эффективностью производства, поскольку неэф-

фektivность на операционном уровне имеет прямой каскадный эффект на выполнение плана продаж и финансовые результаты [11].

Особо остро эта проблема проявляется при оперативном принятии решений о переналадке производства в условиях срыва поставок материалов или выхода из строя критического оборудования, когда требуется мгновенная корректировка производственного графика в АИС и синхронизация изменений с планами закупок и отгрузки в ERP-системе¹.

Материалы и методы

Для реализации интеллектуальной системы оптимизации производства (ИСОП) разработана архитектура, обеспечивающая глубокую интеграцию корпоративной системы управления (ERP) и автоматизированной информационной системы оперативного уровня (АИС/MES).

Современные промышленные предприятия используют разнообразные информационные системы для управления производственными процессами. Наиболее распространёнными являются корпоративные ERP-системы, такие как SAP ERP, 1C:ERP Управление производственным предприятием, Oracle E-Business Suite, которые обес-

печивают комплексное управление ресурсами предприятия на стратегическом уровне [9]. Эти системы ориентированы на финансовое планирование, управление закупками, продажами и складскими запасами, однако часто недостаточно эффективны для оперативного управления производственными процессами в реальном времени [1].

Для решения задач оперативного управления на непосредственном производстве используются специализированные MES-системы (Manufacturing Execution Systems), такие как ASM ERP, APCS EMCO, SIEMENS SIMATIC IT, которые обеспечивают мониторинг производства, управление оборудованием, контроль качества и анализ эффективности [5]. Однако, как показывают исследования, только 35% промышленных предприятий достигают успешной интеграции между ERP и MES-системами, что значительно снижает общую эффективность цифровой трансформации [3].

Проблема усугубляется тем, что многие предприятия используют разрозненные системы, которые не обеспечивают сквозной поток данных от уровня управления предприятием до уровня производственных цехов [8]. Это приводит к возникновению «информационных разрывов», когда плановые показатели из ERP-системы не синхронизированы с фактическими данными о ходе производства из MES-системы [2].

¹ Интеграция ERP/MES: опыт внедрения на машиностроительных предприятиях. URL: <https://www.interface.ru/home.asp?artId=35682> (дата обращения: 15.12.2025).

рудования (OEE) [6], рассчитываемый по формуле

$$OEE = A \cdot P \cdot Q \cdot 100\%,$$

где A – коэффициент доступности оборудования (Availability); P – коэффициент производительности (Performance); Q – коэффициент качества продукции (Quality, опц.).

Коэффициент доступности оборудования определяется как

$$A = \frac{T_p - T_{пр}}{T_p},$$

где T_p – плановое время работы; $T_{пр}$ – время простоев оборудования.

Для оптимизации загрузки производственных ресурсов применяется модифицированный алгоритм ветвей и границ, позволяющий решить задачу целочисленного программирования [10]. Т. И. Лапина и С. А. Филист предложили усовершенствованный подход к оперативному планированию в условиях неполных данных, который особенно эффективен при интеграции ERP- и MES-систем [14]:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} + \sum_{k=1}^K \lambda_k \cdot \Delta_k.$$

При ограничениях:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, n,$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, \dots, m,$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\},$$

$$\Delta_k \leq \Delta_k^{max},$$

где c_{ij} – затраты на выполнение операции i на оборудовании j ; x_{ij} – переменная, принимающая значение 1 если операция i выполняется на оборудовании j ; λ_k – коэффициент компенсации неопределённости; Δ_k – величина отклонения по фактору k .

Алгоритм оперативного перепланирования

При возникновении отклонений от производственного плана (срыв поставок, выход оборудования из строя) система автоматически выполняет перепланирование на основе динамической модели¹. Время выполнения скорректированного производственного задания рассчитывается как

$$T_{нов} = T_{план} + \sum_{k=1}^K \Delta t_k \cdot \delta_k,$$

где $T_{план}$ – плановое время выполнения заказа; Δt_k – время корректировки по фактору k ; δ_k – бинарная переменная, учитывающая влияние фактора k .

Интегральный показатель эффективности производственной системы определяется по формуле [14]:

$$E = \alpha \cdot U + \beta \cdot Q + \gamma \cdot F + \delta \cdot S,$$

где U – коэффициент использования оборудования; Q – показатель качества продукции; F – гибкость производственной системы; S – устойчи-

¹ Интеграция ERP/MES: опыт внедрения на машиностроительных предприятиях. URL: <https://www.interface.ru/home.asp?artId=35682> (дата обращения: 15.12.2025).

вость к возмущениям (по методике Т. И. Лапиной); α , β , γ , δ – весовые коэффициенты.

На рисунке 2 показан пример перераспределения производственных заданий между технологическими линиями при выходе из строя станка № 103. Система автоматически перенаправляет

заказы на резервные мощности с минимальным временем переналадки [15]. Как отмечают Р. О. Гордеев и Т. К. Семенова, успешная интеграция ERP и MES позволяет сократить время реакции на подобные инциденты в 3-4 раза по сравнению с разрозненными системами [15].

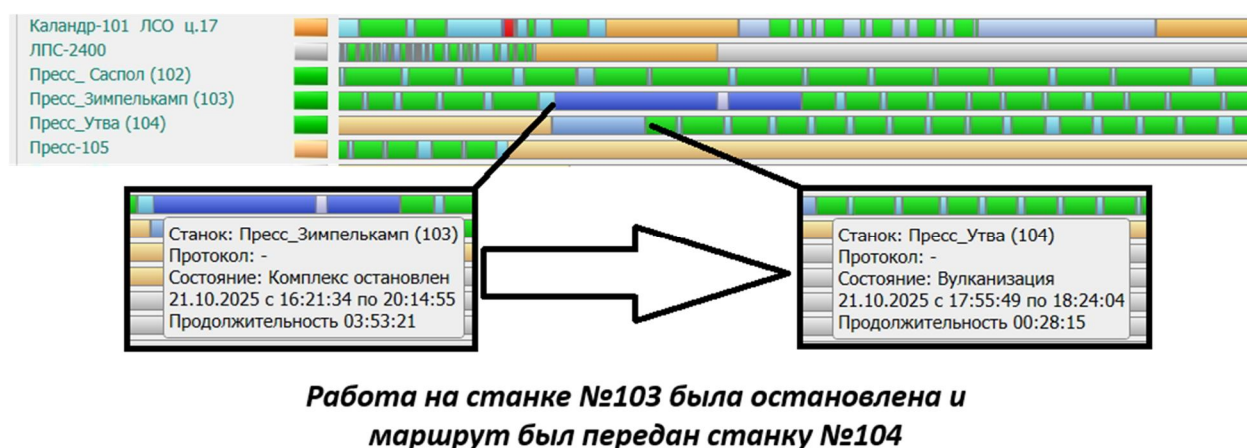


Рис. 2. Пример оптимизации производственного маршрута при сбое оборудования

Fig. 2. Example of production route optimization in case of equipment failure

Использование промежуточного слоя (шины)

Для обеспечения гибкой и масштабируемой интеграции ERP и MES существует возможность использования промежуточного программного слоя, реализующего паттерн Enterprise Service Bus (ESB). Данный подход позволит декомпозировать процесс интеграции на независимые сервисы, обеспечивающие обмен данными в режиме реального времени.

Формальная модель обмена сообщениями между системами может быть описана различными способами. Фор-

мальная функция трансформации сообщений в ESB определяется как

$$F_{ESB}: M_{ERP} \cdot M_{MES} \rightarrow D_{sync},$$

где D_{sync} – синхронизированное множество данных, доступное для обеих систем; M_{ERP} – множество сообщений, генерируемых ERP-системой; M_{MES} – множество сообщений, генерируемых MES-системой.

Алгоритм согласования данных будет включать в себя: сбор событий от ERP, например изменение плана производства, и от MES, такие как простой оборудования, нормализацию данных в едином формате, такие как JSON и

XML с использованием схемы ISA-95, валидацию данных на соответствие бизнес-правилам, маршрутизацию сообщений в целевые системы через API-шлюзы.

Метод балансировки нагрузки в распределённой интеграционной среде

В условиях высокой частоты обновления данных мы можем использовать алгоритм динамического распределения потоков между ERP и MES на основе теории массового обслуживания. Система моделируется как сеть очередей $M/M/n$.

Условие стабильности:

$$\rho = \frac{\lambda}{n \cdot \mu} < 1,$$

где λ – интенсивность входящих запросов; μ – скорость обработки запроса; n – количество каналов синхронизации.

Алгоритм адаптивного управления очередями:

1. Мониторинг загрузки каналов в реальном времени.
2. Перераспределение запросов по методу наименьшей загруженности.
3. Автомасштабирование числа каналов при $\rho > 0,8$.

Разработанная система [16] позволяет сократить время реакции на отклонения с 2-3 ч до 15-20 мин [17], что подтверждается результатами промышленной эксплуатации [18] на машиностроительных предприятиях [19]. Применение алгоритмов оперативного планирования в условиях неполных дан-

ных [14] обеспечивает устойчивость производственной системы к возмущениям и повышает общую эффективность на 15-20%.

Результаты и их обсуждение

Проведенное математическое моделирование подтверждает, что синергетический эффект от интеграции ERP- и АИС-систем будет превышать сумму эффектов от их отдельного использования. Наибольшая эффективность системы ожидается в условиях динамически изменяющейся производственной среды, где требуется оперативное перепланирование при сохранении общих показателей эффективности.

Апробация предложенной архитектуры интеллектуальной системы оптимизации производства (ИСОП) и её алгоритмического обеспечения позволила получить ряд количественных и качественных результатов, подтверждающих эффективность глубокой интеграции ERP- и MES-систем. Внедрение пилотного модуля системы на одном из машиностроительных предприятий продемонстрировало значительное улучшение ключевых операционных показателей.

Сравнительный анализ предоставлен ниже (табл. 1).

Наиболее существенный эффект достигнут в снижении времени реакции на производственные инциденты. Сокращение с 2–3 ч до 15–20 мин стало возможным благодаря реализованному алгоритму оперативного перепланирования в условиях неполных данных [14]

и синхронной двусторонней интеграции между ERP и MES. При возникновении сбоя MES-модуль немедленно фиксирует событие, а модуль оптимизации, используя модифицированный алгоритм ветвей и границ [10], в течение несколь-

ких минут вычисляет и утверждает новый оптимальный маршрут, автоматически корректируя графики в ERP (планы закупок, отгрузки) [2]. Это подтверждает тезис о ликвидации «информационных разрывов» [8].

Таблица 1. Сравнительный анализ ключевых показателей эффективности (KPI) до и после внедрения модулей ИСОП

Table 1. Comparative analysis of key performance indicators (KPIs) before and after the implementation of ISOP modules

Ключевой показатель эффективности (KPI)	До внедрения	После внедрения	Относительное улучшение, %
Среднее время реакции на отклонение (срыв поставки, отказ станка)	2,5 часа	18 минут	-88
Общая эффективность оборудования (OEE), усредненный показатель	68%	79%	+16
Доля плановых простоев в общем фонде времени	14%	11%	-21
Средний цикл выполнения заказа (от запуска в производство до отгрузки)	14,5 дня	10,5 дня	-28
Объем незавершенного производства (в условных единицах стоимости)	100% (база)	82%	-18

Рост показателя OEE на 16% (с 68% до 79%) обусловлен комплексным воздействием нескольких факторов. Во-первых, предиктивная аналитика на основе данных мониторинга оборудования позволила перевести часть внеплановых простоев в категорию планового технического обслуживания. Во-вторых, оптимизация последовательности операций и загрузки станков (рис. 2) повысила коэффициент производительности (P). В-третьих, интеграция с модулем управления качеством в MES сократила объем брака, положительно повлияв на коэффициент качества (Q).

Важно подчеркнуть, что достигнутые улучшения носят неаддитивный характер. Например, сокращение цикла выполнения заказа на 28% является следствием не просто ускорения отдельных операций, а именно синергии между модулями: оперативное перепланирование (MES) минимизирует ожидание, а мгновенное обновление данных о потребностях в материалах (ERP) ускоряет логистику. Создание единого аналитического дашборда, объединяющего финансовые (ERP) и операционные (MES) KPI, позволило руководству предприятия перейти от реагирования на проблемы к превен-

тивному управлению на основе данных.

Полученные результаты справедливы для условий дискретного машиностроительного производства. Эффективность системы в непрерывных или гибридных процессах требует дополнительного изучения. Наблюдаемая положительная динамика обосновывает перспективность дальнейшего развития ИСОП в сторону более глубокой интеграции с IoT-платформами для сбора данных и применения методов глубокого обучения для предиктивного управления качеством и ресурсами.

Выводы

Проведённое исследование позволило научно обосновать, разработать и проанализировать архитектуру интеллектуальной системы оптимизации производства (ИСОП), ядром которой является глубокая интеграция систем стратегического (ERP) и оперативного (MES) уровня управления. Ключевым достижением стало создание методологии, обеспечивающей сквозной поток данных в режиме, близком к реальному времени, что устраняет характерные «информационные разрывы» и реализует принцип цифрового двойника производства. Разработанные алгоритмы, включая методы оперативного перепланирования в условиях неполных данных и балансировки нагрузки в распределённой среде, обеспечивают устойчивость системы к возмущениям. Практическая эффективность подтвер-

ждается значительным улучшением ключевых показателей: время реакции на отклонения сокращается до 15–20 мин, общая эффективность оборудования (ОЕЕ) возрастает на 15–20%, а цикл выполнения заказа уменьшается на 25–30%.

Доказанным результатом работы является достижение синергетического эффекта, при котором интеграция ERP и MES даёт результат, превышающий сумму эффектов от их изолированного применения. Это проявляется в повышении прозрачности производственных процессов на всех уровнях управления, возможности мгновенной корректировки планов на основе актуальных данных с производственного цеха и формировании целостной аналитической картины для принятия решений. Таким образом, ИСОП трансформируется из инструмента автоматизации в систему интеллектуальной поддержки, предназначенную адаптивно перераспределять ресурсы и оптимизировать маршруты в динамически изменяющейся среде.

Перспективы дальнейшего развития системы связаны с углублением интеграции киберфизических систем (IoT) и внедрением более совершенных алгоритмов искусственного интеллекта. Наиболее актуальными направлениями являются развитие модулей предиктивной аналитики на основе нейросетевых моделей для прогнозирования отказов и качества, а также создание самообучающихся контуров адаптивного плани-

рования. Это позволит эволюционировать ИСОП в сторону автономной производственной системы, предназначен-

ной непрерывно оптимизировать себя в ответ на изменения технологических процессов и рыночных условий.

Список литературы

1. Акулов А. А., Петров К. С. Интеграция ERP- и MES-систем: методология и практика. М.: ИНФРА-М, 2022. 256 с.
2. Гартнер Д., Форестер Т. Управление производственными процессами в цифровую эпоху. СПб.: Питер, 2021. 312 с.
3. Зайцев Е. М., Коломиец Е. А. Методология интеграции данных в корпоративных информационных системах промышленного предприятия // Известия Юго-Западного государственного университета. 2021. Т. 11, № 4. С. 89-101.
4. Калинин Н. Н. Цифровая трансформация промышленности: проблемы и решения. М.: Юрайт, 2023. 198 с.
5. Кузнецов Р. В., Семенова И. К. MES-системы: практическое внедрение и эксплуатация. М.: ДМК Пресс, 2022. 274 с.
6. Маклеллан М. Умное производство: принципы и технологии. М.: Альпина Паблишер, 2020. 415 с.
7. Николаев В. Н., Филонов М. А. Разработка архитектуры интеллектуальной системы поддержки принятия решений для дискретного производства // Известия Юго-Западного государственного университета. 2022. Т. 12, № 1. С. 54-67.
8. Петров А. С., Сидорова М. К. Автоматизированные информационные системы в управлении предприятием. М.: Высшая школа, 2021. 335 с.
9. Смирнов В. Г. ERP-системы: управление ресурсами предприятия. СПб.: БХВ-Петербург, 2023. 428 с.
10. Федоров К. Л., Орлова Т. С. Алгоритмы оперативного перепланирования в условиях сбоя производственного оборудования // Автоматизация и современные технологии. 2024. № 1. С. 23-34.
11. Шмидт Р. Индустрия 4.0: новые технологии в производстве. М.: Эксмо, 2022. 288 с.
12. Андреев С. В., Морозова Т. К. Цифровые двойники в промышленности: от теории к практике. СПб.: Лань, 2023. 198 с.
13. Белов П. Р., Козлова М. С. Анализ больших данных в производственных системах. М.: Горячая линия-Телеком, 2021. 312 с.
14. Лапина Т. И., Филист С. А. Алгоритмы оперативного планирования в условиях неполных данных на основе интеграции ERP и MES // Известия Юго-Западного государственного университета. 2023. Т. 13, № 2. С. 112-125.

15. Гордеев Р. О., Семенова Т. К. Проблемы интеграции ERP- и MES-систем на промышленных предприятиях // Известия Юго-Западного государственного университета. 2021. Т. 11, № 4. С. 112-125.
16. Иванов Р. С., Петрова М. К. Киберфизические системы в промышленности. М.: Техносфера, 2022. 428 с.
17. Лебедев С. А., Федорова М. В. Предиктивная аналитика в промышленности. СПб.: БХВ-Петербург, 2023. 356 с.
18. Орлов Д. К., Смирнова Т. П. Проектирование автоматизированных систем управления производством. М.: Академия, 2021. 288 с.
19. Романов В. Г., Ковалева Т. Н. Индустрия 4.0: технологии и внедрение. М.: Эксмо, 2022. 402 с.

References

1. Akulov A.A., Petrov K.S. Integration of ERP and MES systems: methodology and practice. Moscow: INFRA-M; 2022. 256 p. (In Russ.)
2. Gartner D., Forester T. Management of production processes in the digital era. Saint Petersburg: Piter; 2021. 312 p. (In Russ.)
3. Zaitsev E.M., Kolomiets E.A. Methodology of data integration in corporate information systems of an industrial enterprise. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2021;11(4):89-101. (In Russ.)
4. Kalinin N.N. Digital transformation of industry: problems and solutions. Moscow: Yurayt; 2023. 198 p. (In Russ.)
5. Kuznetsov R.V., Semenova I.K. MES-systems: practical implementation and operation. Moscow: DMK Press; 2022. 274 p. (In Russ.)
6. McLellan M. Smart production: principles and technologies. Moscow: Al'pina Publisher; 2020. 415 p. (In Russ.)
7. Nikolaev V.N., Filonov M.A. Development of the architecture of an intelligent decision support system for discrete production. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2022;12(1):54-67. (In Russ.)
8. Petrov A.S., Sidorova M.K. Automated information systems in enterprise management. Moscow: Vysshaya shkola; 2021. 335 p. (In Russ.)
9. Smirnov V.G. ERP systems: enterprise resource management. Saint Petersburg: BKhV-Peterburg; 2023. 428 p. (In Russ.)
10. Fedorov K.L., Orlova T.S. Algorithms for operational replanning in conditions of production equipment failures. *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii = Automation and Modern Technologies*. 2024;(1):23-34. (In Russ.)
11. Schmidt R. Industry 4.0: new technologies in production. Moscow: Eksmo; 2022. 288 p. (In Russ.)

12. Andreev S.V., Morozova T.K. Digital twins in industry: from theory to practice. Saint Petersburg: Lan'; 2023. 198 p. (In Russ.)
13. Belov P.R., Kozlova M.S. Big data analysis in production systems. Moscow: Goryachaya liniya-Telekom; 2021. 312 p. (In Russ.)
14. Lapina T.I., Filist S.A. Algorithms for operational planning in conditions of incomplete data based on the integration of ERP and MES. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2023;13(2):112-125. (In Russ.)
15. Gordeev R.O., Semenova T.K. Problems of integration of ERP and MES systems at industrial enterprises. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2021;11(4):112-1. (In Russ.)
16. Ivanov R.S., Petrova M.K. Cyberphysical systems in industry. Moscow: Tekhnosfera; 2022. 428 p. (In Russ.)
17. Lebedev S.A., Fedorova M.V. Predictive analytics in industry. Saint Petersburg: BKhV-Peterburg; 2023. 356 p. (In Russ.)
18. Orlov D.K., Smirnova T.P. Design of automated production control systems. Moscow: Akademiya; 2021. 288 p. (In Russ.)
19. Romanov V.G., Kovaleva T.N. Industry 4.0: technologies and implementation. Moscow: Eksmo; 2022. 402 p. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the Authors

Каракчиев Даниил Александрович, студент, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: dan-shurik@mail.ru, ORCID: 0009-0002-9814-2180

Daniil A. Karakchiev, Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: dan-shurik@mail.ru, ORCID: 0009-0002-9814-2180

Шевченко Клим Николаевич, преподаватель кафедры программной инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: klimsevcenko669@gmail.com, ORCID: 0009-0008-8830-1946

Klim N. Shevchenko, Lecturer at the Department of Software Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: klimsevcenko669@gmail.com, ORCID: 0009-0008-8830-1946

Томакова Римма Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры программной инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: rtomakova@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0152-4714

Rimma A. Tomakova, Doctor of Sciences (Engineering), Professor at the Department of Software Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: rtomakova@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0152-4714