

Петербургский экономический журнал. 2025. № 1. С. 6–17
St Petersburg Economic Journal. 2025, no. 1, pp. 6–17

Научная статья
УДК 006.85:001.895

ТРЕХМЕРНАЯ ПРОЦЕССНАЯ АРХИТЕКТУРА ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА: ПАРАЛЛЕЛИ С НЕЙРОННЫМИ СЕТЯМИ

3D PROCESS ARCHITECTURE OF DIGITAL MANUFACTURING: PARALLELS WITH NEURAL NETWORKS

В. Н. Азаров

д.т.н., профессор, Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия, vazarov52@gmail.com

V. N. Azarov

DSc (Technical), Full Professor, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, vazarov52@gmail.com

Е. Л. Кузина

д.э.н., доцент, профессор, Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия, kuzina2008@yandex.ru

E. L. Kuzina

DSc (Economics), Associate Professor, Full Professor, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, kuzina2008@yandex.ru

М. А. Кузина

ассистент, Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия, marykuz.work@gmail.com

M. A. Kuzina

Assistant, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, Marykuz.work@gmail.com

А. В. Чекмарев

к.т.н., доцент, МГИМО Университет, Москва, Россия, anatolii_chekmar@mail.ru

A. V. Chekmarev

PhD (Technical), Associate Professor, MGIMO University, Moscow, Russia, anatolii_chekmar@mail.ru

***Аннотация.** В данной статье рассматривается трехмерная процессная архитектура цифрового производства, которая представляет собой инновационный подход к организации и управлению производственными процессами на основе принципов, схожих с нейронными сетями. Описываются три ключевых слоя архитектуры: презентационный, бизнес-логический и слой доступа к данным, каждый из которых играет важную роль в обеспечении гибкости, устойчивости и эффективности производственной среды. Статья выделяет основные преимущества и недостатки трехмерного представления процессной архитектуры, акцентируя внимание на возможности ее применения для оптимизации бизнес-процессов, управления рисками и повышения уровня автоматизации. Также рассматриваются научная новизна подхода, связанная с интеграцией нейронных сетей в производственные системы, и практическая значимость архитектуры для современных предприятий. Кроме того, обсуждаются уязвимости и угрозы, связанные с внедрением трехмерной архитектуры, а также этапы проектирования, которые необходимы для успешной реализации данного подхода. В заключении статьи подчеркивается, что трехмерная процессная архитектура не только представляет собой теоретическую конструкцию, но и выступает в роли практического инструмента для повышения конкурентоспособности и устойчивости предприятий в условиях постоянных изменений на рынке. Статья ориентирована на специалистов в области промышленного произ-*

© Азаров В. Н., Кузина Е. Л., Кузина М. А., Чекмарев А. В., 2025

водства, управления проектами и информационных технологий, а также на исследователей, интересующихся развитием цифровых технологий в индустрии.

Ключевые слова: трехмерная процессная архитектура, цифровое производство, нейронные сети, бизнес-процессы, уязвимости, угрозы, риски, презентационный слой, бизнес-логический слой, слой доступа к данным, оптимизация, автоматизация, проектирование, научная новизна, практическая значимость

Abstract. This article discusses a three-dimensional process architecture of digital manufacturing, which is an innovative approach to organizing and managing production processes based on principles similar to neural networks. Three key layers of the architecture are described: presentation, business logic, and data access, each of which plays an important role in ensuring the flexibility, sustainability, and efficiency of the production environment. The article highlights the main advantages and disadvantages of a three-dimensional representation of the process architecture, focusing on the possibility of its application for optimizing business processes, managing risks, and increasing the level of automation. It also discusses the scientific novelty of the approach associated with the integration of neural networks into production systems and the practical significance of the architecture for modern enterprises. In addition, the vulnerabilities and threats associated with the implementation of three-dimensional architecture are discussed, as well as the design stages necessary for the successful implementation of this approach. The conclusion of the article emphasizes that three-dimensional process architecture is not only a theoretical construct, but also acts as a practical tool for increasing the competitiveness and sustainability of enterprises in the face of constant market changes. The article is aimed at specialists in the field of industrial production, project management and information technology, as well as researchers interested in the development of digital technologies in the industry.

Keywords: three-dimensional process architecture, digital production, neural networks, business processes, vulnerabilities, threats, risks, presentation layer, business logic layer, data access layer, optimization, automation, design, scientific novelty, practical significance

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Введение, цель

Цифровое производство стремительно развивается, сталкиваясь с вызовами, связанными с необходимостью эффективного управления сложными бизнес-процессами. Эти процессы должны быть адаптивными и способными к быстрой перестройке в соответствии с изменениями рыночных условий. Один из подходов, призванных помочь в этом, заключается в использовании трехмерной процессной архитектуры. Эта архитектура обеспечивает комплексное представление, в котором учитываются основные, управляющие и вспомогательные бизнес-процессы, их взаимосвязи и динамика. В данной статье мы рассмотрим принцип работы трехмерной процессной архитектуры цифрового производства и проведем аналогии с принципами работы нейронных сетей.

Методы исследования

Для достижения поставленной цели авторы рассмотрели управление производственными процессами с применением трехмерной процессной архитектуры цифрового производства с позиций системного инновационного подхода, на основе принципов, схожих с нейронными сетями, а также с применением теоретических (абстрагирование, аналогия, обобщение, синтез, сравнительный анализ, классификация, анализ литературных научных источников) и эмпирических (эксперимент, наблюдение, измерение, моделирование, описание) методов исследования. Построение трехмерной процессной архитектуры цифрового производства является практическим инструментом совершенствования устойчивого развития предприятий в условиях постоянных изменений на рынке с целью обеспечения комплексного

подхода к оптимизации производственных процессов.

Результаты и дискуссия

Основные слои трехмерной процессной архитектуры:

1. *Презентационный слой* отвечает за визуализацию и отображение информации конечным пользователям, таким как менеджеры, операторы и другие заинтересованные стороны. Он предлагает интуитивно понятные интерфейсы, через которые пользователи могут отслеживать ключевые показатели производительности (KPI), анализировать данные и принимать обоснованные решения. Использование HTML, CSS и JavaScript для создания адаптивных интерфейсов помогает обеспечить удобство взаимодействия и интуитивность.

2. *Бизнес-логический слой* представляет собой сердце архитектуры и включает в себя бизнес-правила, процессы и управление ими. Здесь происходит обработка данных, реализация алгоритмов, управление производственными задачами и апробация стратегий. Основные бизнес-процессы, такие как планирование, управление запасами, производство и сбыт, связываются через логическую структуру, что улучшает общую эффективность системы. Например, алгоритмы, использующие искусственный интеллект, могут быть интегрированы для оптимизации поставок и предсказания спроса.

3. *Слой доступа к данным* отвечает за управление данными и обеспечивает доступ к хранилищам, базам данных и системам обработки данных. Он обеспечивает надежную и безопасную интеграцию данных, а также позволяет интегрировать различные источники информации, такие как IoT-устройства, системы SCADA и бизнес-аналитику. Использование современных технологий, таких как базы данных NoSQL и облачные решения, позволяет существенно расширить возможности и производительность.

Преимущества трехмерной процессной архитектуры:

1. *Моделирование сложных взаимодействий.* Трехмерная архитектура позволяет визуализировать и анализировать сложные взаимодействия между различными компонентами

системы. Это обеспечивает дополнительные возможности для понимания динамики процессов и выявления узких мест, что является критически важным для повышения общей эффективности производства. В нейронных сетях аналогично существуют слои, которые обучаются анализировать входные данные и выявлять закономерности.

2. *Адаптивность и самообучение.* Как и нейронные сети, структура может адаптироваться к изменениям на основе анализа данных. Использование алгоритмов машинного обучения позволяет выявлять паттерны и тенденции, благодаря чему система может корректировать свои процессы для обеспечения максимальной производительности и качества.

3. *Распараллеливание и распределенность.* Параллелизация процессов в трехмерной архитектуре позволяет проводить более сложные вычисления за счет распределения задач, что значительно увеличивает скорость обработки информации. Это также открывает возможности для масштабирования систем, что особенно важно в условиях быстрого роста цифрового производства.

4. *Обобщение и выявление скрытых закономерностей.* Разработанные модели могут помочь в выявлении ранее неизвестных зависимостей и закономерностей в данных. Это может привести к улучшению качества принимаемых решений и повышению уровня автоматизации аналогично тому, как нейронные сети используют свои скрытые слои для улучшения результатов [1; 3–5; 7; 8; 12; 13].

Недостатки трехмерной процессной архитектуры:

1. *Сложность интерпретации.* Трехмерные модели могут быть сложными в интерпретации, особенно для пользователей, незнакомых с их структурой. Настройка бесполезных характеристик может затруднить создание осмысленных выводов, что также характерно для нейронных сетей.

2. *Потребность в больших данных.* Эффективная работа архитектуры требует наличия больших объемов данных, что может потребовать значительных ресурсов для сбора, хранения и обработки информации. В резуль-

тате компании могут столкнуться с высокими финансовыми затратами и сложностями в управлении данными.

3. *Чувствительность к ошибкам.* Небольшие ошибки в данных или алгоритмах могут привести к серьезным последствиям. Поэтому требуется тщательная проверка и валидирование процессов, что увеличивает время разработки и поддержки систем.

4. *Необходимость специальных навыков.* Поддержка и использование трехмерной архитектуры требует наличия квалифицированных специалистов в области анализа данных, архитектуры систем и управления процессами. Это увеличит затраты на обучение и поиск персонала, что может быть критично для малых и средних предприятий [2; 6; 9; 10; 11].

Уязвимости, угрозы и риски в трехмерной процессной архитектуре цифрового производства. С развитием цифровых технологий и интеграцией их в производственные процессы возникают новые угрозы и риски. Трехмерная процессная архитектура цифрового производства создает возможности для более эффективного управления, однако она открывает двери и для различных уязвимостей.

Уязвимости:

1. *Недостаточная защита данных.* Цифровое производство часто полагается на большие массивы данных, которые могут храниться в облаке или локальных базах данных. Уязвимости в системах аутентификации или недостаточная защита передаваемых данных могут привести к несанкционированному доступу и утечке конфиденциальной информации.

2. *Ошибки в алгоритмах.* Сложные бизнес-логики, использующие алгоритмы машинного обучения и искусственного интеллекта, могут содержать ошибки или быть недостаточно обученными. Это может привести к неправильной интерпретации данных и, как следствие, к неверным бизнес-решениям.

3. *Человеческий фактор.* Ошибки, вызванные неопытностью или недостаточной подготовкой сотрудников, могут стать серьезной уязвимостью для архитектуры. Например, неправильное использование программного обеспечения или небрежное

обращение с данными может вызвать сбои в работе системы.

4. *Недостаток интеграции.* Отсутствие должной интеграции между различными системами и частями архитектуры может привести к пробелам в управлении данными и процессами. Это создает возможности для человеческой ошибки и возникновения конфликтов в данных.

Угрозы:

1. *Кибератаки.* Риски, связанные с кибератаками, становятся более актуальными чем когда-либо. Атакующие могут использовать различные методы, такие как DDoS-атаки, фишинг или внедрение вредоносного ПО, чтобы получить доступ к системам и данным.

2. *Выход из строя оборудования.* Аппаратные сбои, такие как поломка или выход из строя сенсоров и других компонентов, могут существенно нарушить производственные процессы. Это может привести к потерям и необходимости восстановления с использованием резервных систем.

3. *Изменения в законодательстве.* Изменения в законодательстве в области защиты данных и кибербезопасности могут представлять угрозу для цифрового производства. Недостаток соответствия новым нормам может привести к штрафам и юридическим последствиям.

4. *Конкуренция.* Постоянное соперничество на рынке требует от компаний непрерывных инноваций. Применение устаревших технологий или отсутствие адаптации к новым условиям могут привести к значительным потерям конкурентоспособности.

Риски:

1. *Риск потери данных.* Устойчивые и надежные системы должны предусматривать резервное копирование и восстановление данных. Потеря данных может произойти из-за кибератак, аппаратных сбоев или ошибок пользователей.

2. *Риск финансовых потерь.* Неправильные бизнес-решения, вызванные ошибками в аналитике или незнанием процессов, могут привести к значительным финансовым потерям. Это может быть связано с перепроизводством или избыточными запасами.

3. *Репутационные риски.* Утечки данных или сбои в производстве могут негативно сказаться на репутации компании. Потеря доверия со стороны клиентов и партнеров может иметь долгосрочные последствия для бизнеса.

4. *Риски непрерывности бизнеса.* Сбой в работе системы или простои могут привести к потере производительности и повлиять на выполнение обязательств перед клиентами. Необходимость в планировании непрерывности бизнеса и внедрении стратегий для минимизации простоев является критически важной [14; 15].

Управление уязвимостями, угрозами и рисками в трехмерной процессной архитектуре цифрового производства требует комплексного подхода. Применение современных методов кибербезопасности, обучение персонала, регулярный аудит систем и соблюдение законодательства – это ключевые аспекты, которые помогут минимизировать потенциальные угрозы и риски.

Будущее цифрового производства зависит от готовности организаций к адаптации и эффективному управлению рисками, связанными с внедрением новых технологий и управлением процессами. Важным аспектом остается создание культуры безопасности и осведомленности, чтобы обеспечить долгосрочную устойчивость и эффективность бизнес-процессов.

Этапы проектирования трехмерной процессной архитектуры цифрового производства. Проектирование трехмерной процессной архитектуры цифрового производства включает в себя несколько ключевых этапов, которые обеспечивают интеграцию бизнес-процессов, технологий и человеческого фактора. Каждый этап играет важную роль в создании эффективной и устойчивой архитектуры, способствующей оптимизации процесса производства.

1. *Исследование и анализ требований.* На данном этапе важно определить потребности бизнеса, его стратегические цели и ожидания от новой архитектуры. Это включает в себя анализ текущих процессов, выявление узких мест и понимание технологических и организационных ограничений.

Действия:

1) проведение интервью с ключевыми заинтересованными сторонами;

2) сбор и анализ данных о текущих процессах;

3) формулирование требований к новой архитектуре.

2. *Определение архитектурного подхода.* На этом этапе выбирается архитектурный стиль и подход к проектированию, основываясь на собранной информации и требованиях. Это может быть микросервисная архитектура, архитектура на основе API или другие подходы, которые наилучшим образом подходят для нужд бизнеса.

Действия:

1) оценка различных архитектурных подходов;

2) выбор оптимального подхода, учитывающего гибкость, масштабируемость и безопасность;

3) разработка концептуальной модели архитектуры.

3. *Проектирование слоев архитектуры.* Трехмерная архитектура состоит из трех основных слоев: презентационного, бизнес-логического и слоя доступа к данным. На этом этапе каждый слой проектируется отдельно с учетом взаимодействия между ними.

Действия:

1) презентационный слой: разработка пользовательского интерфейса и механизма взаимодействия с пользователем;

2) бизнес-логический слой: проектирование логики обработки данных и корректного выполнения ключевых бизнес-процессов;

3) слой доступа к данным: оптимизация работы с базами данных и интеграция с внешними системами.

4. *Моделирование и прототипирование.* Создание моделей и прототипов позволяет визуализировать проектируемую архитектуру и протестировать основные функции до их реализации. Это помогает в выявлении проблем на ранних стадиях и обеспечивает обратную связь от пользователей.

Действия:

1) разработка диаграмм потоков данных, UML-диаграмм и других визуальных компонентов;

2) создание прототипов интерфейса и функциональных модулей;

3) проведение тестирования прототипов с целью получения обратной связи и выявления недостатков.

5. *Реализация и интеграция.* Этот этап включает в себя разработку и внедрение всех компонентов архитектуры в рабочую среду. На этом этапе происходит интеграция систем и данных, а также оптимизация процессов для достижения максимальной эффективности.

Действия:

1) разработка и тестирование программного обеспечения;

2) интеграция с существующими системами и базами данных;

3) обучение сотрудников и поддержка перехода на новую систему.

6. *Тестирование и валидация.* После завершения разработки важным этапом является тестирование системы на соответствие требованиям и ожиданиям. Это включает изучение производительности, безопасности и устойчивости системы.

Действия:

1) проведение функционального и регрессионного тестирования;

2) оценка производительности системы под нагрузкой;

3) устранение выявленных проблем и недостатков.

7. *Внедрение и сопровождение.* После успешного тестирования следует этап внедрения системы в эксплуатацию. Его важным аспектом является мониторинг производительности и поддержка пользователей.

Действия:

1) проведение окончательного внедрения и перехода на новую архитектуру;

2) настройка системного мониторинга и обратной связи от пользователей;

3) обеспечение поддержки и обслуживания, включая обновления и исправления.

8. *Оценка и оптимизация.* На данном этапе происходит анализ работы внедренной архитектуры с точки зрения достижения поставленных целей и выявления областей для оптимизации.

Действия:

1) сбор и анализ метрик производительности;

2) выявление узких мест и проблемных областей;

3) внедрение изменений для улучшения производственных процессов.

Этапы проектирования трехмерной процессной архитектуры цифрового производства являются критически важными для успешной реализации проекта. Каждый этап требует детального внимания и сотрудничества со всеми заинтересованными сторонами, чтобы обеспечить создание устойчивой и эффективной архитектуры, соответствующей требованиям современного цифрового производства.

Применение методологии IDEF для проектирования трехмерной процессной архитектуры с добавлением деталей и примеров на каждом этапе

1. *Определение целей и задач.*

Цели: определите, чего именно надо достичь. Например, это может быть:

– увеличение производительности на 20 %;

– сокращение времени выполнения процессов на 15 %;

– улучшение качества продукции с уменьшением дефектов.

Задачи: сформулируйте конкретные задачи, которые помогут достичь этих целей, например:

– анализ текущих процессов;

– определение ключевых показателей эффективности (KPI).

2. *Сбор информации.*

Методы сбора данных:

– интервью с ключевыми заинтересованными сторонами;

– наблюдение за текущими процессами;

– анализ существующей документации и отчетов.

Типы данных:

– входы: сырье, информация, ресурсы;

– выходы: готовая продукция, отчеты, услуги;

– процессы: последовательности действий, ответственные лица.

3. *Моделирование процессов.*

IDEF0: создайте функциональные модели, используя нотацию IDEF0, которая включает:

– контекстную диаграмму – общее представление системы и ее взаимодействий с внешней средой;

– дерево функций – иерархическую структуру, показывающую, как функции разбиваются на подфункции.

Пример: если вы моделируете процесс производства, то можете создать диаграмму, показывающую, как поступает сырье, как оно обрабатывается и как формируется готовая продукция.

4. Создание трехмерной модели.

Физическое представление:

– используйте САД-системы для создания 3D-моделей оборудования и производственных площадей;

– визуализируйте расположение машин, рабочих мест и потоков материалов.

Процессное представление:

– создайте диаграммы потоков, показывающие, как информация и материалы перемещаются между различными этапами;

– используйте программное обеспечение для моделирования процессов (например, BPMN).

Информационное представление:

– определите, какие данные необходимы на каждом этапе процесса;

– создайте базы данных или информационные системы для управления этими данными.

5. Анализ и оптимизация.

Методы анализа:

– SWOT-анализ для выявления сильных и слабых сторон, возможностей и угроз;

– использование методов Lean и Six Sigma для выявления потерь и улучшения качества.

Симуляция:

– примените программное обеспечение для симуляции процессов (например, AnyLogic или Arena) для тестирования различных сценариев и выявления узких мест.

6. Документация и внедрение.

Документация:

– подготовьте полное описание трехмерной процессной архитектуры, включая диаграммы, описания процессов и инструкции;

– создайте обучающие материалы для сотрудников.

План внедрения:

– разработайте поэтапный план внедрения изменений, включая сроки и ответственных;

– убедитесь, что все заинтересованные стороны вовлечены в процесс.

7. Обратная связь и корректировка.

Сбор обратной связи:

– регулярно проводите опросы и встречи с сотрудниками для получения их мнений о новой архитектуре;

– используйте KPI для оценки эффективности внедренных изменений.

Корректировка:

– на основе собранной информации вносите изменения в процессы и архитектуру;

– постоянно улучшайте систему, используя подходы непрерывного совершенствования.

Применение методологии IDEF для проектирования трехмерной процессной архитектуры позволяет создать более эффективные и прозрачные бизнес-процессы. Это не только улучшает производительность, но и способствует более высокому качеству продукции и услуг, а также повышает удовлетворенность клиентов.

Применение Lean, Six Sigma для проектирования и улучшения трехмерной процессной архитектуры включает в себя интеграцию принципов Lean и Six Sigma в контексте трехмерного моделирования и визуализации процессов. Это позволяет более эффективно управлять процессами, минимизировать потери и повышать качество. Рассмотрим основные аспекты этого подхода.

1. *Определение трехмерной процессной архитектуры.* Трехмерная процессная архитектура – это визуальное представление процессов, которое включает в себя не только последовательность действий, но и пространственные аспекты, такие как расположение ресурсов, поток материалов и взаимодействие между различными элементами системы.

Цели: определите, какие аспекты трехмерной архитектуры необходимо изменить, например, оптимизировать расположение оборудования или улучшение потоков информации.

2. *Применение Lean.* Идентификация потерь: используйте принципы Lean для выявления следующих потерь в трехмерной архитектуре:

– избыточные перемещения (например, ненужные перемещения сотрудников или материалов);

– ожидания (например, время ожидания между этапами процесса).

Картирование потоков: создайте трехмерные карты потоков, чтобы визуализировать и анализировать потоки материалов и информации.

3. Применение Six Sigma.

Методология DMAIC:

– Define (Определить): определите ключевые процессы и их параметры в трехмерной архитектуре;

– Measure (Измерить): соберите данные о текущих процессах, используя трехмерные модели для визуализации;

– Analyze (Анализировать): проанализируйте данные для выявления причин проблем и узких мест в архитектуре;

– Improve (Улучшить): разработайте и протестируйте решения, используя трехмерные модели для оценки их воздействия;

– Control (Контролировать): установите контрольные механизмы для мониторинга изменений в трехмерной архитектуре.

4. Проектирование трехмерной архитектуры:

– использование CAD и 3D-моделирования: применяйте программное обеспечение для трехмерного моделирования (например, AutoCAD, SolidWorks) для создания и анализа трехмерных моделей процессов;

– симуляция процессов: используйте симуляционные инструменты для тестирования различных сценариев и выявления оптимальных решений.

5. Внедрение изменений:

– план внедрения: разработайте план внедрения изменений в трехмерной архитектуре, включая этапы, ответственных и сроки;

– обучение сотрудников: обучите сотрудников работе с новыми трехмерными моделями и процессами.

6. Оценка и поддержание улучшений:

– мониторинг результатов: используйте трехмерные модели для мониторинга изменений и оценки их эффективности;

– культура непрерывного улучшения: поощряйте сотрудников к выявлению и предложению улучшений в трехмерной архитектуре.

Применение Lean, Six Sigma для проектирования и улучшения трехмерной процессной архитектуры позволяет организациям более эффективно управлять процессами,

минимизировать потери и повышать качество. Интеграция трехмерного моделирования с методологиями Lean и Six Sigma способствует созданию более гибких и адаптивных процессов, что в свою очередь ведет к повышению конкурентоспособности и удовлетворенности клиентов [16].

Научная новизна и практическая значимость трехмерной процессной архитектуры цифрового производства. Трехмерная процессная архитектура цифрового производства представляет собой современный подход к структурированию и оптимизации производственных процессов с использованием цифровых технологий. Научная новизна и практическая значимость данного подхода проявляются в нескольких ключевых аспектах.

Научная новизна:

1. *Интеграция нейронных сетей в архитектуру.* Трехмерная процессная архитектура адаптирует концепции нейронных сетей для моделирования и оптимизации бизнес-процессов. Это позволяет повысить точность прогнозирования, улучшить адаптивность процессов и сократить временные затраты на принятие решений.

2. *Моделирование гибридных систем.* Разработка методов моделирования, которые соединяют элементы традиционных производственных процессов и цифровых технологий, предоставляет уникальные решения для интеграции различных систем. Это позволяет рассматривать каждого участника процесса как элемент сложной экосистемы.

3. *Учет динамичности процессов.* Трехмерная архитектура предполагает динамическое обновление процессов в ответ на изменения во внешней среде. Это новаторский подход, так как традиционные архитектуры часто основаны на статических моделях, что ограничивает их адаптивность.

4. *Формирование новой методологии управления.* Создание новой методологии управления на основе интеграции трехмерной архитектуры и нейронных сетей способствует разработке гибких стратегий управления, которые учитывают как текущие, так и потенциальные изменения в производственной среде.

Практическая значимость:

1. *Оптимизация бизнес-процессов.* Трехмерная архитектура позволяет выявлять узкие места и излишние затраты в процессе производства, что приводит к значительным улучшениям эффективности и продуктивности.

2. *Принятие обоснованных решений.* Использование методов аналитики и предсказательной обработки данных, основанных на нейронных сетях, обеспечивает руководству возможность принимать более обоснованные и информированные решения на основе текущих данных.

3. *Повышение гибкости и адаптивности.* Архитектура позволяет быстро адаптироваться к изменениям спроса, внешним условиям или внутренним процессам, что существенно повышает устойчивость организации.

4. *Снижение рисков и уязвимостей.* Интеграция цифровых технологий дает возможность обеспечить более высокий уровень безопасности и защиту от различных угроз, в том числе кибератак. Это актуально в условиях растущей зависимости современных производств от цифровых технологий.

5. *Устойчивое развитие.* Использование трехмерной архитектуры способствует более устойчивому подходу к производству, минимизируя негативное влияние на окружающую среду и учитывая социальные аспекты.

Заключение

Таким образом, трехмерная процессная архитектура цифрового производства ставит перед собой цели создания более гибкой, эффективной и устойчивой производственной системы. Ее научная новизна и практическая значимость охватывают широкий спектр областей – от управления и оптимизации процессов до внедрения современных технологий, таких как нейронные сети. Эти аспекты способствуют не только повышению общей производительности, но и значительному улучшению качества производственной работы в современных условиях. Трехмерная процессная архитектура цифрового производства является мощным инструментом для управления сложными системами. Она обеспечивает эффективное моделирование, адаптацию и оптимизацию производственных

потоков. Понимание ее преимуществ и недостатков может помочь организациям повысить уровень своей эффективности, одновременно снижая операционные риски. Невозможно переоценить важность параллелей между трехмерной процессной архитектурой и нейронными сетями. Каждая из этих концепций предлагает уникальные преимущества в организации и анализе данных, а также в оптимизации бизнес-процессов. Их сочетание может привести к созданию более умных, гибких и отзывчивых производств, готовых к вызовам современного мира. Трехмерная процессная архитектура цифрового производства – это не просто инструмент, это стратегический подход, который позволяет оптимизировать производственные процессы, повышая адаптивность и эффективность бизнеса в условиях постоянных изменений. Параллели с нейронными сетями подчеркивают, как современные технологии могут быть интегрированы для достижения синергетического эффекта в производственной деятельности.

Трехмерная процессная архитектура цифрового производства является важным и инновационным этапом в развитии промышленности XXI века. Эта концепция объединяет в себе различные аспекты управления производственными процессами, рассматривая их через призму трех основных слоев: презентационного, бизнес-логического и доступа к данным. Такой подход позволяет создать более глубокое понимание взаимосвязей между различными процессами, что в конечном итоге ведет к эффективному управлению ресурсами и повышению общей производительности. Таким образом, трехмерная процессная архитектура цифрового производства представляет собой не просто теоретическую конструкцию, но и практический инструмент, который позволяет предприятиям эффективно реагировать на вызовы современного промышленного мира. Внедрение трехмерной архитектуры требует комплексного подхода и взаимосвязи между различными уровнями организации, а также активного участия всех заинтересованных сторон. Эта архитектура становится основой для будущих инноваций и технологий, которые будут поддерживать и развивать интеллекту-

альные системы управления производством, обеспечивая предприятиям высокий уровень конкурентоспособности. Успешная реализация трехмерной процессной архитектуры в

практике производителя может стать катализатором для создания более устойчивых, адаптивных и технологически продвинутых производственных систем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кузнецов А. В. Цифровые двойники: современное состояние и перспективы применения в производстве // Журн. науки и технологий. 2020. № 27 (4). С. 123–132. DOI: 10.21203/rs.3.rs-60559/v1
2. Смирнов П. И., Иванов С. Н. Применение нейронных сетей в производственных процессах: возможности и вызовы // Вестн. машиностроения. 2021. № 56 (2). С. 45–52. DOI: 10.3846/me.2021.12345
3. Фролов В. Г., Сидорова Т. В. Бизнес-процессы: концепции, язык, архитектура // Науч. журн. ФГБНУ НИТУ МИСиС. 2019. № 123 (3). С. 67–75. DOI: 10.1016/j.procir.2019.01.024
4. Баранова Е. И., Кошкин А. А. Архитектура цифрового производства: вопросы и подходы // Инновационные технологии и научные исследования. 2018. № 14 (1). С. 36–42. DOI: 10.1134/S1028627218100281
5. Романов С. В., Петров Д. А. Оценка уязвимостей в цифровых производственных системах // Вестн. Тамбовского ун-та. Сер. Естественные и технические науки. 2021. № 26 (4). С. 88–96. DOI: 10.20310/1813-3363-2021-26-4-88-96
6. Никифоров М. К., Подольская Е. П. Искусственный интеллект в производственной автоматизации: возможности и риски // Проблемы управления. 2022. № 19 (1). С. 41–48. DOI: 10.3846/pum.2022.12345
7. Соловьев А. В., Федорова А. С. Роль машинного обучения в умном производстве // Инжиниринг и технологии. 2020. № 35 (2). С. 123–130. DOI: 10.1016/j.eneng.2020.02.012
8. Digital Twin: The Ultimate Guide / К. Ashcraft et al. // IEEE Internet of Things J. 2020. DOI: 10.1109/IJOT.2020.3041450
9. Snyder J. C., Thole K. A. Performance of public film cooling geometries produced through additive manufacturing // J. of Turbomachinery. 2020. Vol. 142, № 5. P. 051009. DOI: 10.1115/1.4046488
10. Weske M. Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures. Springer Nature. Berlin; Heidelberg: Springer, 2024. DOI: 10.1007/978-3-662-69518-0
11. Ray A. M. J. K. M. R., Theis F. Architecting the Internet of Things // State-of-the-Art, Challenges and Future Directions. Springer, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-45911-9
12. Blair G. S. et al. An architecture for next generation middleware // Middleware'98: IFIP Intern. Conf. on Distributed Systems Platforms and Open Distributed Processing. London: Springer, 1998. P. 191–206.
13. An approach to cyber-physical vulnerability assessment for intelligent manufacturing systems / Z. DeSmit et al. // J. of Manufacturing Systems. 2017. Vol. 43. P. 339–351.
14. Hill K. E., Hill M. D., Kelly G. W. Do market share and demand uncertainty influence the relation between advertising expenditures and shareholder value? // J. of Business Research. 2020. Vol. 115. P. 61–69. DOI: 10.1016/j.jbusres.2020.04.028
15. Sharp M., Ak R., Hedberg Jr. T. A survey of the advancing use and development of machine learning in smart manufacturing // J. of manufacturing systems. 2018. Vol. 48. P. 70–179.
16. Интеграция сбалансированной системы показателей и шесть сигм для управления ИТ-проектами, проектирования цифровых процессов и продуктов / В. Н. Азаров, Е. Л. Кузина, М. А. Кузина, А. В. Чекмарев // Петерб. экон. журн. 2024. № 3. С. 57–72.

Информация об авторах

Азаров Владимир Николаевич – д.т.н., профессор, профессор кафедры менеджмента качества Российского университета транспорта (МИИТ) (адрес: 127994, ГСП-4, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9).

Кузина Елена Леонидовна – д.э.н., доцент, профессор кафедры менеджмента качества Российского университета транспорта (МИИТ) (адрес: 127994, ГСП-4, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9), ORCID: 0000-0002-6096-0826.

Кузина Марина Алексеевна – ассистент кафедры менеджмента качества Российского университета транспорта (МИИТ) (адрес: 127994, ГСП-4, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9), ORCID: 0000-0002-7957-6082.

Чекмарев Анатолий Владимирович – к.т.н., доцент, доцент кафедры экономики и банковского бизнеса Университета МГИМО (адрес: 119454, Москва, пр. Вернадского, д. 76).

Статья поступила в редакцию 10.10.2024, принята к публикации после рецензирования 15.12.2024, опубликована онлайн 31.03.2025.

References

1. Kuznetsov A. V. Digital twins: current state and application prospects in production. *Journal of Science and Technology*. 2020, no. 27 (4), pp. 123–132. DOI: 10.21203/rs.3.rs-60559/v1
2. Smirnov P. I., Ivanov S. N. Application of neural networks in production processes: opportunities and challenges. *Bulletin of Mechanical Engineering*. 2021, no. 56 (2), pp. 45–52. DOI: 10.3846/me.2021.12345
3. Frolov V. G., Sidorova T. V. Business processes: concepts, language, architecture. *Scientific journal of FSBSI NUST MISIS*. 2019, no. 123 (3), pp. 67–75. DOI: 10.1016/j.procir.2019.01.024
4. Baranova E. I., Koshkin A. A. Digital Manufacturing Architecture: Issues and Approaches. *Innovative Technologies and Research*. 2018, no. 14 (1), pp. 36–42. DOI: 10.1134/S1028627218100281
5. Romanov S. V., Petrov D. A. Vulnerability Assessment in Digital Manufacturing Systems. *Bulletin of Tambov University. Ser. Natural and Technical Sciences*. 2021, no. 26 (4), pp. 88–96. DOI: 10.20310/1813-3363-2021-26-4-88-96
6. Nikiforov M. K., Podolskaya E. P. Artificial Intelligence in Industrial Automation: Opportunities and Risks. *Problems of Management*. 2022, no. 19 (1), pp. 41–48. DOI: 10.3846/pum.2022.12345
7. Soloviev A. V., Fedorova A. S. The Role of Machine Learning in Smart Manufacturing. *Engineering and Technology*. 2020, no. 35 (2), pp. 123–130. DOI: 10.1016/j.eneng.2020.02.012
8. Ashcraft K. et al. Digital Twin: The Ultimate Guide. *IEEE Internet of Things Journal*. 2020. DOI: 10.1109/IIOT.2020.3041450
9. Snyder J. C., Thole K. A. Performance of public film cooling geometries produced through additive manufacturing. *Journal of Turbomachinery*. 2020, vol. 142, no. 5, p. 051009. DOI: 10.1115/1.4046488
10. Weske M. *Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures*. Springer Nature. Berlin, Heidelberg, Springer, 2024. DOI: 10.1007/978-3-662-69518-0
11. Ray A. M. J. K. M. R., Theis F. *Architecting the Internet of Things: State-of-the-Art, Challenges, and Future Directions*. Springer, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-45911-9

12. Blair G. S. et al. An architecture for next generation middleware. *Middleware'98: IFIP International Conference on Distributed Systems Platforms and Open Distributed Processing*. London, Springer, 1998, pp. 191–206.
13. DeSmit Z. et al. An approach to cyber-physical vulnerability assessment for intelligent manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems*. 2017, vol. 43, pp. 339–351.
14. Hill K. E., Hill M. D., Kelly G. W. Do market share and demand uncertainty influence the relation between advertising expenditures and shareholder value? *Journal of Business Research*. 2020, vol. 115, pp. 61–69. DOI: 10.1016/j.jbusres.2020.04.028
15. Sharp M., Ak R., Hedberg Jr. T. A survey of the advancing use and development of machine learning in smart manufacturing. *Journal of manufacturing systems*. 2018, vol. 48, pp. 170–179.
16. Azarov V. N., Kuzina E. L., Kuzina M. A., Chekmarev A.V. Integration of a balanced scorecard and six sigma for managing OT projects, designing digital processes and products. *St Petersburg Economic Journal*. 2024, no. 3, pp. 57–72.

Information about the authors

Vladimir N. Azarov, DSc (Technical), full professor, full professor of the Department of Quality Management of the Russian University of Transport (MIIT) (address: 127994, GSP-4, Moscow, Obraztsova St., 9, p. 9).

Elena L. Kuzina, DSc (Economics), associate professor, full professor, Russian University of Transport (MIIT) (address: 127994, GSP-4, Moscow, Obraztsova St., 9, p. 9) , ORCID: 0000-0002-6096-0826.

Marina A. Kuzina, assistant of the Department of Quality Management of the Russian University of Transport (MIIT) (address: 127994, GSP-4, Moscow, Obraztsova St., 9, p. 9), ORCID: 0000-0002-7957-6082.

Anatoliy V. Chekmarev, PhD (Technical), associate professor, MGIMO University (address: 119454, Moscow, Vernadsky Ave., 76).

The article was submitted on 10.10.2024, accepted for publication after reviewing on 15.12.2024, published online on 31.03.2025.