



Центр компетенций по индустриальному и общесистемному программному обеспечению Российского фонда развития информационных технологий

Аналитическая справка «Перспективы и тренды развития индустриального ПО под влиянием технологий искусственного интеллекта»

Оглавление

1. Тренды развития классов ПО по направлению «Системы автоматизированного проектирования и управления жизненным циклом изделий» под влиянием технологий искусственного интеллекта (инженерное ПО)	3
1.1. Технологические тренды по направлению Системы автоматизации инженерных расчетов, системы инженерного анализа (CAE)	7
1.2. Технологические тренды по направлению Системы управления жизненным циклом изделий (PLM)	8
1.3. Технологические тренды по направлению Средства автоматизированного проектирования (САПР, CAD), системы разработки управляющих программ ЧПУ (CAM) и универсальные машиностроительные средства автоматизированного проектирования, MCAD (Mechanical Computer-Aided Design)	12
1.4. Технологические тренды по направлению Системы автоматизированного проектирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), печатных плат и электронной компонентной базы (ЭКБ) / Системы автоматизации проектирования электрооборудования и электрических схем (ECAD – Electronic Computer-Aided Design / EDA – Electronic Design Automation)	12
1.5. Искусственный интеллект и Интернет вещей в системах классов BIM/AEC.	12
2. Тренды развития классов ПО направления «Платформы управления технологическими и производственными процессами предприятия» под влиянием технологий искусственного интеллекта	13
2.1. Технологические тренды по направлению Автоматизированные системы диспетчерского управления технологическими процессами и сбора данных (АСУ ТП) (SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition)	13
2.2. Технологические тренды по направлению системы управления производством, MES (Manufacturing Execution System)	14
2.3. Технологические тренды по направлению системы компьютерного управления обслуживанием оборудования (CMMS), программное обеспечение промышленной диагностики оборудования или систем оборудования (HMS – Health Monitoring System)	16
2.4. Технологические тренды по направлению геоинформационные системы, GIS – Geographic Information System	17
2.5. Технологические тренды по направлению программы автоматизированного контроля / проверки качества моделей и изделий (CAQ – Computer Aided Quality, CAI – Computer Aided Inspection)	18
2.6. Технологические тренды по направлению программируемых логических контроллеров (ПЛК, PLC),	19
3. Тренды развития классов ПО направления «Платформы для управления ресурсами (процессами) предприятия» под влиянием технологий искусственного интеллекта	19
3.1. Технологические тренды по направлению системы управления бизнес-процессами, BPM (Business Process Management)	19
3.2. Технологические тренды по направлению системы управления лабораторной информацией, LIMS (Laboratory Information Management System)	20
3.3. Технологические тренды по направлению Системы управления эффективностью предприятия, CPM – Corporate Performance Management, EPM – Enterprise Performance Management	20

3.4. Технологические тренды по направлению Системы управления основными фондами предприятия, EAM – Enterprise Asset Management	23
3.5. Технологические тренды по направлению Системы управления ресурсами предприятия (финансового менеджмента, управления активами и трудовыми ресурсами), ERP (Enterprise Resource Planning).....	23
3.6. Технологические тренды по направлению Систем управления складской логистикой (WMS)	24
3.7. Технологические тренды по направлению системы управления взаимодействием с заказчиками (CRM)	24
3.8. Технологические тренды по направлению системы управления цепочками поставок (SCM).....	24
3.9. Технологические тренды по направлению Системы продвинутого производственного планирования (APS).....	25
3.10. Технологические тренды по направлению Корпоративные системы управления контентом ECM	25
3.11. Технологические тренды по направлению Программы управления заказами (OM / OMS – Order Management System).....	26
3.12. Технологические тренды по направлению Системы поддержки принятия решений (DSS – Decision Support System)	27
3.13. Технологические тренды по направлению средства интегрированной логистической поддержки изделия (ИЛП, ILS), управление выездным сервисным обслуживанием (FSM – Field Service Management), управление жизненным циклом сервисного обслуживания (SLM – Service Life-Cycle Management)	28
3.14. Технологические тренды по направлению Технологии распределенного реестра (DLT – Distributed Ledger Technology)	28
4. Выводы в отношении трендов развития классов индустриального ПО под влиянием технологий искусственного интеллекта	28

1. Тренды развития классов ПО по направлению «Системы автоматизированного проектирования и управления жизненным циклом изделий» под влиянием технологий искусственного интеллекта (инженерное ПО)

Величина глобального рынка ИИ в инжиниринге уже составляет 12,65 млрд. долларов в 2024 году. При этом ожидается существенный рост данного рынка – среднегодовой темп прироста рынка в ближайшие 10 лет может составить 36%¹.

Влияние ИИ на инжиниринг происходит как на уровне непосредственно инженерной работы, так и на уровне инженерного программного обеспечения. В том числе благодаря активному внедрению ИИ ожидается активный рост рынка инженерного ПО – ожидаемый среднегодовой темп прироста составит 18,55%, а сам рынок перешагнет отметку в 200 млрд. долларов к 2033 году².

Эксперты расходятся в оценках, где сосредоточен основной технологический, ресурсный или инвестиционный потенциал изменений инженерного ПО под влиянием ИИ. Представители инженерного сектора предполагают, что технологии ИИ будут иметь локальный характер в решении отдельных задач, а применение будет сосредоточено на CAD/CAM/CAE уровне и уровне PLM решений. В то же время представители сектора ИИ, рассказывая о своих планах в этой сфере, демонстрируют сфокусированность на изменениях в слое ERP решений.

При этом эксперты выделяют 5 основных трендов развития ИИ в инженерном ПО³

1. Генеративный дизайн

Инструменты генеративного дизайна используют алгоритмы для обработки заданных дизайнером спецификаций с целью создания системы для проектирования, которая может генерировать и оптимизировать вычислительные конструкции, удовлетворяющие функциональным требованиям, в условиях неопределенности и неполноты данных.

Генеративный дизайн применяется в основном в CAD. Примеры систем с функцией генеративного дизайна: Autodesk Fusion 360, CATIA (Dassault), nTop и др.

Генеративный дизайн позволяет пользователям достигать следующих результатов:

¹ Artificial Intelligence Engineering Market, Precedence Research, 2024 - URL: <https://www.precedenceresearch.com/artificial-intelligence-engineering-market> (дата обращения: 02.11.25)

² Engineering Software Market, Precedence Research, 2024 - URL: <https://www.precedenceresearch.com/engineering-software-market> (дата обращения: 2.11.25)

³ Искусственный интеллект в инженерном ПО: кейсы, перспективы и барьеры развития (материалы экспертного семинара «Применение инструментов Искусственного интеллекта в инженерном программном обеспечении», проведенного ЦСР «Северо-Запад» в Санкт-Петербурге), 2024

- Снизить порог квалификации для инженеров. 65% выпускников инженерных вузов не обладают достаточными навыками для работы в CAD. Генеративный дизайн, CAD-технологии, использующие ИИ для проектирования изделий помогает инженерам задавать параметры проектирования, а ИИ проектирует оптимальную конструкцию. Генеративный дизайн может обеспечить то, что инженеры с начальным уровнем опыта смогут проектировать готовые для производства изделия без длительных циклов проб и ошибок. При этом генеративный дизайн сможет оптимизировать различные факторы, такие как прочность материалов и термические свойства изделий. Генеративный ИИ позволяет им получить доступ к экспертным знаниям через ИИ-помощника⁴.
- Улучшать характеристики изделий. В первую очередь генеративный дизайн повышает прочность и легкость. Например, в кейсе General Electric, инженеры, использовавшие генеративный дизайн, создали изделие на 40% более легкое и на 20% более прочное, чем инженеры без генеративного помощника⁵.
- Сокращать расходы на проектирование. Генеративный дизайн сокращает время проектирования на 30-50% и стоимость производства изделий на 6-20%⁶.

Основной вектор развития генеративного дизайна состоит в моделировании динамичных систем, способных менять свойства и состояния в различных сценариях.

2. Инверсивный дизайн

Инверсивный дизайн, в отличие от традиционных методов разработки, подразумевает создание оптимальных решений, соответствующих заранее заданным требованиям.

Реализация инверсивного дизайна возможна методами машинного (ML) и глубокого (DL) обучения, когда решения находятся методом перебора и фильтрации вариантов до получения необходимого результата.

⁴ Closing The Engineering Skills Gap with Generative Design, Forbes, 2020 - URL: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2020/04/30/closing-the-engineering-skills-gap-with-generative-design/?sh=3f79a1015190> (дата обращения: 2.11.25)

⁵ Combining Parts Simplifies Assembly, Improves Quality, The American Society of Mechanical Engineers, 2022 - URL: <https://www.asme.org/topics-resources/content/combining-parts-simplifies-assembly> (дата обращения: 2.11.25)

⁶ How generative design could reshape the future of product development, McKinsey, 2020 <https://prodone.com/wp-content/uploads/2023/09/3How-Generative-Design-Could-Reshape-the-Future-of-Product-Development.pdf> (дата обращения 2.11.25)

Использование генеративных моделей ИИ и обработки естественного языка позволяет реализовать эволюционные стратегии инверсивного дизайна, включающие анализ и синтез научных публикаций искусственным интеллектом.

Использование методов инверсивного дизайна позволяет достигать следующих результатов:

- Создавать материалы с заданными свойствами. Методы инверсивного дизайна позволяют ускорить темпы открытия новых материалов как минимум в 10 раз⁷.
- Создавать материалы автономно. Современные системы гибкой автоматизации после настройки могут выполнять 20-30 циклов экспериментов прежде, чем потребуется вмешательство человека⁸.
- Проектировать инженерные изделия. Например, в задачах проектирования фотонных устройств, применение инверсивного дизайна позволило более чем в 300 раз увеличить их эффективность⁹.

3. Облегченные симуляции на основе ИИ и машинного обучения (МО)

Технологии искусственного интеллекта и машинного обучения могут быть использованы для симуляции комплексных физических процессов, когда интересующий результат не может быть легко вычислен. Уже сейчас 66% зарубежных компаний в той или иной степени применяют ИИ и МО для симуляций¹⁰.

В целях инженерного моделирования традиционно используются методы контролируемого машинного обучения. Строится модель, которая делает прогнозы на основе фактических данных в условиях неопределенности. Примером является суррогатное моделирование, при котором обученные статистические модели используются для замены исходных компьютерных симуляций, что позволяет существенно сократить длительность симуляции.

Моделирование и симуляции с использованием ИИ и МО позволяют достигать следующих результатов:

⁷ De Luna, Phil. Accelerated Materials Discovery: How to Use Artificial Intelligence to Speed Up Development, Berlin, Boston: De Gruyter, 2022. <https://doi.org/10.1515/9783110738087>

⁸ De Luna, Phil. Accelerated Materials Discovery: How to Use Artificial Intelligence to Speed Up Development, Berlin, Boston: De Gruyter, 2022. <https://doi.org/10.1515/9783110738087>

⁹ Chanik Kang, Dongjin Seo, Svetlana V. Boriskina, Haejun Chung, Adjoint method in machine learning: A pathway to efficient inverse design of photonic devices, Materials & Design, Volume 239, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2024.112737>

¹⁰ Unveiling the next frontier of engineering simulation, McKinsey, 2023 / URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/unveiling-the-next-frontier-of-engineering-simulation>

- Снизить время, затрачиваемое на моделирование. В кейсе Toyota применение машинного обучения при осуществлении симуляций лобовых краш-тестов позволило снизить время симуляции с 10 часов до 1 секунды¹¹.
- Моделировать сложные инженерные объекты. Использование упрощенных моделей, обученных на основе ИИ и МО, позволяет снизить нагрузку на аппаратную часть, что дает возможность рассматривать более комплексные системы, тем самым обеспечивая большую связность их элементов¹².

4. Экспансия ИИ в инженерное ПО на основе больших языковых моделей (LLM)

Если в цифровой трансформации движущей силой рынка в области инженерного ПО были PLM-системы и цифровые двойники, то в период ИИ-трансформации на эту позицию претендуют LLM и суррогатные модели объектов и процессов.

Внедрение LLM может происходить по меньшей мере в трех аспектах:

- Профессиональные ассистенты на основе LLM. Такое ПО создано на основе больших языковых моделей, обученных под конкретную предметную область. На примере системы «Акела» (ИТМО) такой профессиональный ассистент обеспечивает работу с разными предметными областями, в том числе через каскад моделей; использование структурированных документов (законы, нормы, ГОСТы, уставы...); автоматическая организация процесса дообучения.
- Интеллектуальное планирование
- LLM для проблемно-ориентированных сред. Это класс решений, ориентированный на исследовательскую часть работы инженера. На примере iPSE (Intelligent Problem Solving Environment – цифровая среда для предметных ученых на основе LLM) включает следующий функционал: автоматизация извлечения знаний из существующих научных источников; структурирование (унификация) данных и знаний; автогенерация рабочих гипотез и их проверка; формирование оптимального пайплайна проведения исследований; организация совместной работы; визуальный метод формирования решения научной задачи; автоматическая трансляция формальной задачи в исполнимую форму; использование внешних модулей AutoML и компьютерного моделирования для приобретения знаний.

¹¹ The Emergence of Artificial Intelligence & Machine Learning in CAE Simulation, White Paper, 2020 / URL: <https://clck.ru/3AuqSK>

¹² AI Simulation: The Convergence of Emerging Technologies, Simscales, 2024 / URL: <https://www.simscales.com/blog/ai-simulation/>

5. Общий инженерный ИИ на основе мультиагентного взаимодействия

Мультиагентное взаимодействие нескольких интеллектуальных агентов позволяет создать самообучающиеся системы, симулирующие комплексные взаимосвязи объектов, таких как, например, нефтегазовые месторождения¹³ или аэропорты (кейс Bentley¹⁴).

Для сложных объектов, таких как аэропорты, недостаточно отдельных моделей и решений нескольких вендоров – необходимо множество отраслевых решений, работающих как единый комплекс. Это приводит к формированию «общего инженерного ИИ» – саморегулируемой мультиагентной системы, которая позволяет осуществлять автоматический анализ данных, построение новых моделей, ускоряет процессы моделирования и позволяет принимать оптимальные решения в инженерных задачах.

Мультиагентное взаимодействие позволяет:

- Увеличивать скорость производственных процессов при реализации проекта – на 25% в модельном кейсе Bentley Systems¹⁵
- Повысить точность прогнозов модели в 2,6 раза по сравнению с традиционным моделированием
- Более успешно адаптировать модель к новым объектам за счет дообучения – в 10 раз быстрее по сравнению с традиционным моделированием¹⁶

1.1. Технологические тренды по направлению Системы автоматизации инженерных расчетов, системы инженерного анализа (CAE)

Технологии инженерного анализа (CAE) производят революцию в машиностроительной отрасли, предоставляя передовые инструменты и технологии для моделирования, анализа и оптимизации проектов до создания физических прототипов. CAE охватывает широкий спектр приложений, включая анализ методом конечных элементов (FEA), вычислительную гидродинамику (CFD) и динамику многих тел (MBD). Эти инструменты помогают инженерам улучшить производительность продукта, снизить

¹³ A. E. Marusov and A. Zaytsev, "Noncontrastive Representation Learning for Intervals From Well Logs," in IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 20, pp. 1-5, 2023, Art no. 7502805, doi: 10.1109/LGRS.2023.3277214

¹⁴ Ezhou Huahu Airport – new gateway connecting China's air trade to the world, Southeast Asia Construction, 2023 / URL: <https://www.tradelinkmedia.biz/publications/7/news/4581>

¹⁵ Ezhou Huahu Airport – new gateway connecting China's air trade to the world, Southeast Asia Construction, 2023 / URL: <https://www.tradelinkmedia.biz/publications/7/news/4581>

¹⁶ A. E. Marusov and A. Zaytsev, "Noncontrastive Representation Learning for Intervals From Well Logs," in IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 20, pp. 1-5, 2023, Art no. 7502805, doi: 10.1109/LGRS.2023.3277214

затраты и ускорить циклы разработки. Эксперты VerifiedMarketReports выделяют несколько трендов CAE¹⁷:

Трендом является интеграция искусственного интеллекта и машинного обучения в ПО класса CAE. Искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (МО) становятся неотъемлемой частью CAE. Эти технологии позволяют анализировать огромные объемы данных, выявлять закономерности и предоставлять прогнозную информацию, повышающую точность и эффективность моделирования. Алгоритмы на основе искусственного интеллекта могут автоматически оптимизировать параметры конструкции, сокращая время и усилия, необходимые для итеративного тестирования. Используя искусственный интеллект и машинное обучение, инструменты CAE могут предлагать более интеллектуальное моделирование и более инновационные проектные решения, расширяя границы возможного в инженерии.

1.2. Технологические тренды по направлению Системы управления жизненным циклом изделий (PLM)

Эксперты FasterCapital выделяют тренд на внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в PLM¹⁸.

В современном цифровом мире компании стремятся оптимизировать свою деятельность за счет интеграции технологий. Управление жизненным циклом продукта (PLM) прошло долгий путь с момента своего создания и стало неотъемлемой частью повседневной деятельности компаний. Одним из последних технологических достижений, интегрированных в PLM, является искусственный интеллект (ИИ). Технология ИИ может произвести революцию в способах проектирования, разработки и управления продуктами.

Преимущества внедрения ИИ в PLM:

- **Сокращение времени выхода на рынок.** ИИ может анализировать проекты продуктов и предлагать модификации, которые могут сократить время вывода продукта на рынок. ИИ может анализировать данные из предыдущих проектов продуктов и предоставлять информацию, которая может помочь выявить потенциальные недостатки дизайна на ранних этапах процесса разработки.
- **Улучшение качества продукции.** ИИ может анализировать большие объемы данных, собранных из различных источников, таких как отзывы клиентов и производственные данные, для выявления потенциальных проблем с качеством. Это

¹⁷ Reports V.M.R. | G.M.A.A.R. Top 7 Trends In CAE. - URL: <https://www.verifiedmarketreports.com/ru/blog/top-7-trends-in-cae/> (дата обращения: 25.10.2025).

¹⁸ Tech Savvy PLM: Harnessing Technology Integration for Efficiency. - URL: <https://fastercapital.com/content/Tech-Savvy-PLM--Harnessing-Technology-Integration-for-Efficiency.html> (дата обращения: 25.10.2025).

позволяет на ранней стадии обнаруживать и исправлять дефекты, что приводит к улучшению качества продукции.

- **Экономия средств.** ИИ может помочь сократить расходы, связанные с проектированием и разработкой продукта. Выявляя потенциальные недостатки дизайна на ранних стадиях, можно вносить изменения до создания дорогостоящих прототипов. ИИ также может оптимизировать производственный процесс, выявляя области, в которых можно повысить эффективность, что приводит к экономии средств.
- **Улучшенный клиентский опыт.** ИИ может помочь улучшить клиентский опыт, анализируя отзывы клиентов и предоставляя идеи, которые можно использовать для улучшения дизайна и разработки продукта. Это может привести к повышению удовлетворенности и лояльности клиентов.
- **Прогностическое обслуживание.** ИИ может анализировать данные с датчиков, встроенных в продукты, чтобы предсказать, когда требуется обслуживание. Это может помочь сократить время простоя и увеличить срок службы продуктов.
- **Оптимизация цепочки поставок.** ИИ может оптимизировать цепочку поставок, анализируя данные из различных источников в рамках PLM-системы, таких как поставщики и логистические провайдеры. Это может помочь выявить потенциальные узкие места и неэффективность, что приведет к более оптимизированной цепочке поставок
- **Интеграция технологии ИИ в PLM может произвести революцию в способах проектирования, разработки и управления продуктами.** Используя возможности ИИ, компании могут сократить время выхода на рынок, улучшить качество продукции, сэкономить средства, улучшить качество обслуживания клиентов и оптимизировать цепочку поставок.

Компания Siemens, один из мировых лидеров в области инженерного ПО, считает, что искусственный интеллект, в частности, в PLM-системах, является актуальным вопросом технологической повестки¹⁹. Концепция применения искусственного интеллекта в PLM представлена на рисунках ниже.

¹⁹ Wang L., Liu Z., Liu A., Tao F. Artificial intelligence in product lifecycle management//The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2021, T. 114.

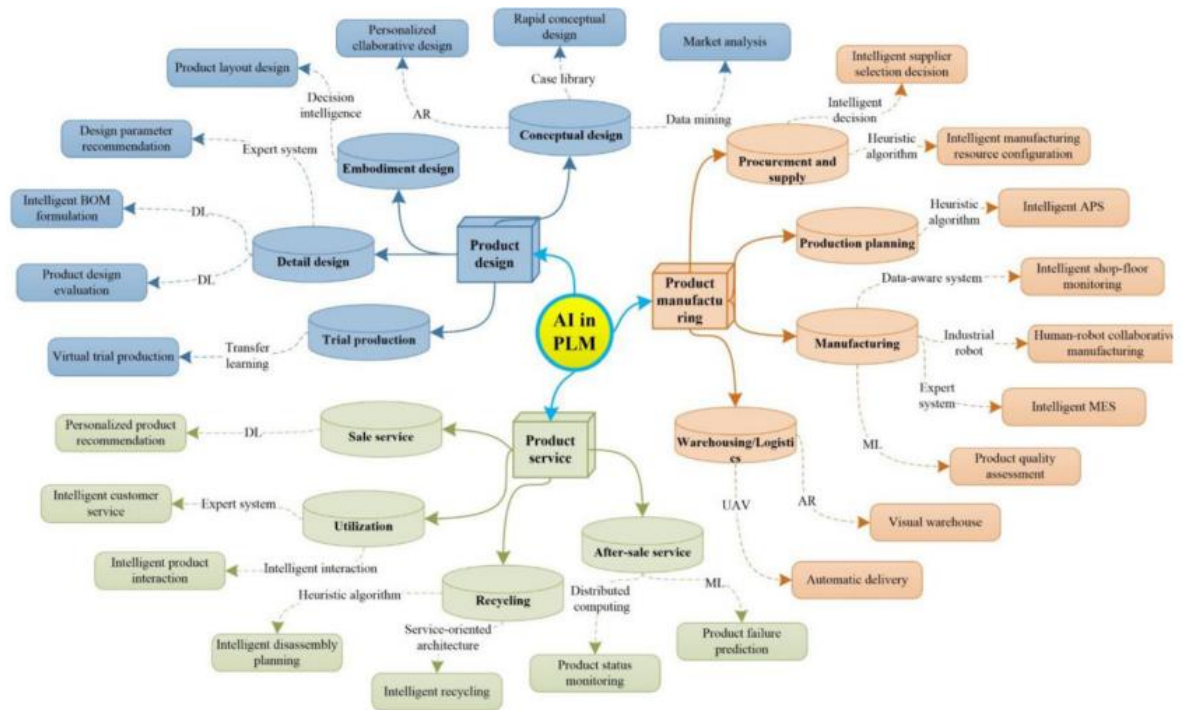


Рисунок 2.1- Концепция применения искусственного интеллекта в PLM²⁰.

В концептуальном проектировании выделяют такие направления применения ИИ, как быстрое концептуальное проектирование на основе библиотеки кейсов и персонализированный совместный дизайн на основе технологий дополненной реальности AR. На последующих уровнях проектирования применение технологий ИИ возможно при формировании BOM (Bill of Materials - структурированный перечень компонентов, сырья, материалов и подкомпонентов, необходимых для изготовления продукта), анализе конструкции, проведении цифровых (виртуальных) испытаний.

На этапе производства технологии ИИ также могут быть востребованы при принятии решений о выборе поставщиков, проектировании технологических процессов, взаимодействии в киберфизических системах, включая применение коботов и пр. Цифровое проектирование и моделирование на основе машинного обучения (включая системы виртуальной реальности) также используются для: 1) планирования производственных линий и систем, 2) разработки и интеграции интеллектуального оборудования, интеллектуальных роботов и дронов производственных линий, 3) рекомендации и выполнения упреждающего технического обслуживания (профилактическое/предупредительное обслуживание) и 4) передачи важных

²⁰ Wang L., Liu Z., Liu A., Tao F. Artificial intelligence in product lifecycle management//The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2021, T. 114.

производственных данных обратно командам, работающим над дизайном и спецификациями продукта²¹.

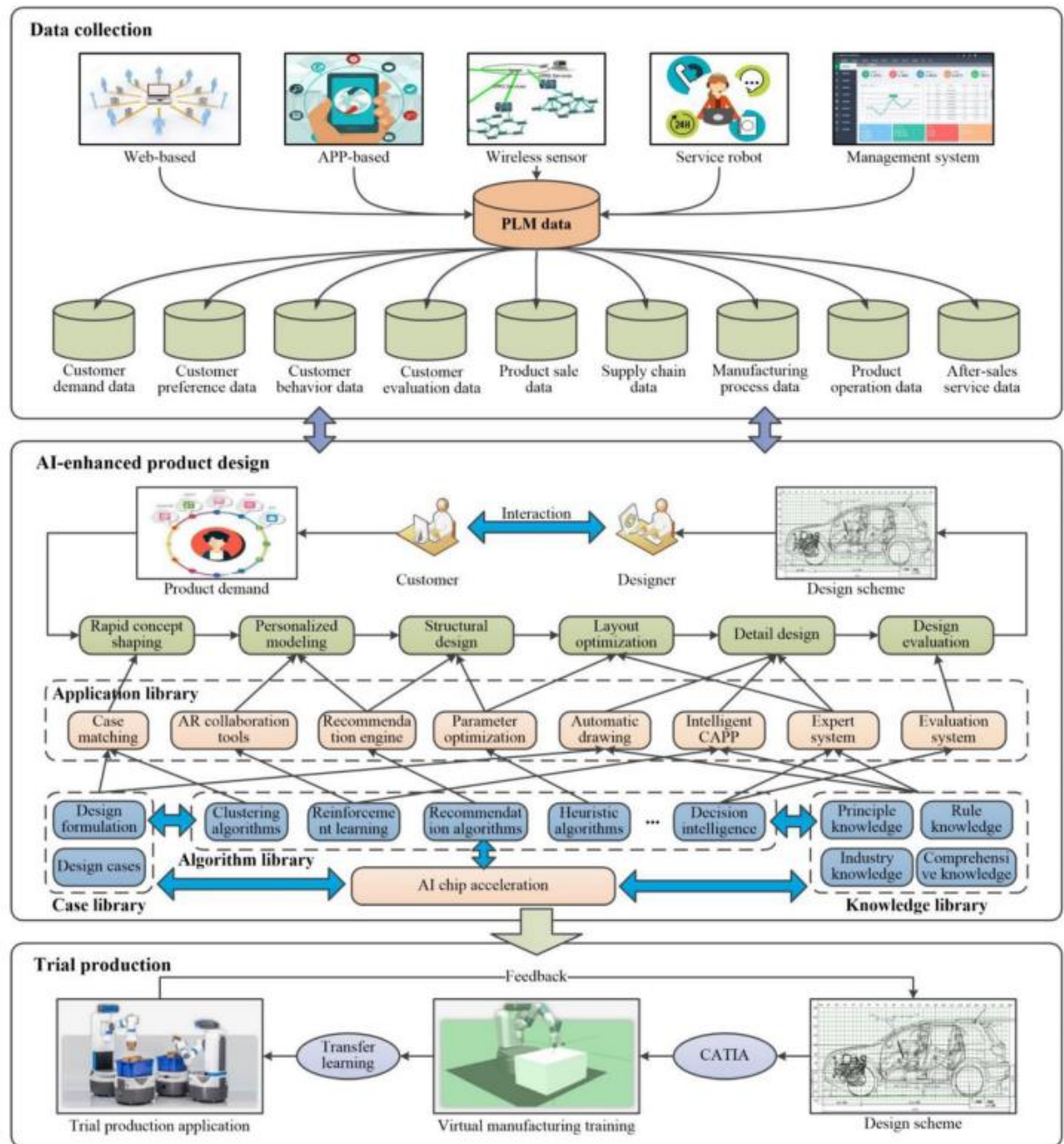


Рисунок 2.2 - Разработка продукции с применением технологий искусственного интеллекта²²

²¹ ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN INDUSTRIAL MARKETS – URL:

https://www.3ds.com/fileadmin/Products/Exalead/PDF/whitepapers/exalead-artificial_intelligence-whitepaper-en.pdf (дата обращения: 26.10.2025).

²² Wang L., Liu Z., Liu A., Tao F. Artificial intelligence in product lifecycle management//The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2021, T. 114.

1.3. Технологические тренды по направлению Средства автоматизированного проектирования (САПР, CAD), системы разработки управляющих программ ЧПУ (CAM) и универсальные машиностроительные средства автоматизированного проектирования, MCAD (Mechanical Computer-Aided Design)

Интеграция с искусственным интеллектом и машинным обучением в системах класса САПР. Искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (МО) меняют рынок MCAD, внедряя более интеллектуальные инструменты проектирования. Функции, управляемые ИИ, могут автоматизировать рутинные задачи, предлагать оптимизацию проектирования и предсказывать потенциальные сбои до того, как они произойдут. Алгоритмы машинного обучения могут анализировать прошлые проекты, чтобы предоставлять идеи и рекомендации, значительно сокращая время и усилия, необходимые для итераций проектирования. Такая интеграция обеспечивает более эффективные, точные и инновационные процессы проектирования.

1.4. Технологические тренды по направлению Системы автоматизированного проектирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), печатных плат и электронной компонентной базы (ЭКБ) / Системы автоматизации проектирования электрооборудования и электрических схем (ECAD – Electronic Computer-Aided Design / EDA – Electronic Design Automation)

Интеграция ИИ и машинного обучения в системах классов ECAD/EDA. ИИ и машинное обучение все чаще интегрируются в программное обеспечение ECAD для улучшения автоматизации проектирования, обнаружения ошибок и оптимизации. Эти решения помогают компаниям оптимизировать рабочие процессы и повысить общую точность проектирования.

Технологические тренды по направлению Технология информационного моделирования (ТИМ) зданий и сооружений / Средства архитектурно-строительного проектирования (BIM – Building Information Modeling (Model) / AEC – Architecture Engineering Construction)

1.5. Искусственный интеллект и Интернет вещей в системах классов BIM/AEC.

Интернет вещей (IoT) призван существенно изменить моделирование BIM и реализацию проектов. Устройства IoT упрощают выпуск данных, помогают собирать данные в реальном времени и облегчают эффективный, готовый к заказу процесс проектирования.

В строительстве IoT распространяется на такие устройства, как датчики, которые обеспечивают непрерывный мониторинг, автоматизируют задачи по обслуживанию и контролируют системы здания, что является неотъемлемой частью стратегии улучшения и

устранения ошибок BIM. Информация, собранная во время строительства, помогает в мониторинге, в то время как данные после строительства помогают производителям совершенствовать свою продукцию на основе производительности и обратной связи.

С другой стороны, искусственный интеллект (ИИ) улучшает основные процессы BIM, такие как анализ данных и принятие решений. Его потенциал для ускорения анализа, обнаружения несоответствий модели, мониторинга производительности и предложения параметров строительства огромен. Кроме того, ИИ может помочь предсказать задержки проекта, улучшить контроль качества и предоставить предложения по планированию целей строительства.

2. Тренды развития классов ПО направления «Платформы управления технологическими и производственными процессами предприятия» под влиянием технологий искусственного интеллекта

2.1. Технологические тренды по направлению Автоматизированные системы диспетчерского управления технологическими процессами и сбора данных (АСУ ТП) (SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition)

Происходит интеграция предиктивного моделирования, прогнозирования, оптимизации в SCADA и расширенное управление процессами (APC).

Интеграция ИИ в SCADA позволяет радикально усиливать функционал этого класса систем, превращая из системы пассивного наблюдения в активный интеллектуальный центр управления.

Перспективными являются следующие возможности использования ИИ в SCADA-системах:

- Интеллектуальная визуализация и проактивное оповещение с помощью человеко-машинных интерфейсов, обогащенных технологиями ИИ.
- Предиктивная аналитика на основе исторических данных SCADA, таких как теги, тревоги, действия операторов. При этом ИИ может раскрыть в них скрытые закономерности.
- Интеллектуальные советующие системы для операторов, т.е. прямое внедрение ИИ в контур принятия решений оператором SCADA.
- Обнаружение кибератак и аномалий в работе АСУ ТП. ИИ постоянно анализирует сетевой трафик SCADA-серверов, действия операторов и значения тегов контроллеров (ПЛК). Он изучает "нормальное" поведение системы и мгновенно детектирует аномалии, такие как нехарактерные команды от рабочей станции, "шум" в данных датчиков, указывающий на их подмену, попытки несанкционированного доступа к критическим функциям.

Технически перечисленные выше возможности реализуются в рамках нескольких сценариев:

- Использование внешних по отношению к SCADA-системам платформы ИИ и машинного обучения, в том числе, облачные, такие как Amazon SageMaker, Microsoft Azure Machine Learning или библиотеки Python, которые подключаются к базам данных с накопленной от SCADA-систем информацией или напрямую к SCADA через стандартный промышленный интерфейс OPC UA для чтения данных и записи результатов (рекомендаций, алармы).
- Встроенные модули. Современные SCADA-платформы (например, SIMATIC WinCC, AVEVA System Platform) начинают предлагать встроенные или легко интегрируемые библиотеки ИИ.
- Цифровые двойники, которые служат связующим звеном, где ИИ-модели работают на виртуальной копии, а SCADA управляет физическим объектом.

Одним из ключевых вызовов, связанных с использованием технологий ИИ в SCADA-системах связан с тем, что последние, как правило, работают в режиме реального времени и управляют критически важными и зачастую техногенно опасными производственными объектами со всеми соответствующими требованиями по скорости реагирования, безопасности и надежности, где решения, принимаемые в режиме «черного ящика» могут быть неприемлемыми.

2.2. Технологические тренды по направлению системы управления производством, MES (Manufacturing Execution System)

Ландшафт систем управления производством (MES) и управления производственными операциями (MOM) продолжает развиваться. Достижения в этих технологиях обещают повышение операционной эффективности и открытие новых путей для инноваций в производственном секторе, особенно в пищевой промышленности, производстве потребительских товаров и фармацевтической промышленности.

Можно выделить следующие перспективные тенденции²³, наблюдаемых в технологиях MES/MOM, которые рассматривают их потенциальные преимущества и решающую роль, которую системные интеграторы играют в оказании помощи производителям в освоении этих технологий:

Генеративный ИИ в MES и MOM системах

²³ Top 3 MES and MOM Trends for 2024 | Automation World. - URL: <https://autowaredigital.com/top-3-mes-and-mom-trends-for-2024/> (дата обращения: 3.11.2025).

Об использовании генеративного ИИ в MES и MOM системах эксперты стали активно говорить в 2023 году, указывая на, что эти технологии способны произвести революцию в MES и MOM, позволив системам автономно создавать и изменять производственные процессы. Используя алгоритмы для анализа исторических данных и создания прогностических моделей для упрощения принятия решений, генеративный ИИ изменит способ взаимодействия операторов с MOM.

Преимущества и влияние: Интеграция генеративного ИИ в MES и MOM, вероятно, улучшит прогнозное обслуживание, оптимизирует распределение ресурсов и улучшит качество продукции. Но в первую очередь она окажет помощь операторам и менеджерам цехов в принятии решений и управлении производственными процессами, используя опыт, содержащийся в данных о процессах и производстве. Например, в фармацевтической промышленности, где точность и соответствие имеют первостепенное значение, генеративный ИИ может помочь операторам запускать более безопасные и надежные производственные процессы, сокращая производственные аномалии и снижая риски. Это полезно для решения проблемы нехватки опыта среди рабочей силы.

Машинное обучение

ML-модели учатся на исторических данных MES (заказы, параметры оборудования, качество продукции) чтобы находить паттерны, прогнозировать и оптимизировать²⁴. Вместо статического или основанного на простых правилах расписания, ИИ-модель создает динамическое и оптимальное расписание в режиме реального времени. Она учитывает доступность сырья (с учетом логистики и поставок), состояние оборудования (интегрируя данные о прогнозируемом обслуживании из SCADA) и другие факторы.

Глубокое обучение и нейронные сети

Эти технологии могут использоваться для обработки изображений и видео. Пример в MES: автоматический визуальный контроль качества. ИИ-решение анализирует изображения с камер на конвейере и обнаруживает дефекты с точностью, превышающей человеческую. Анализ временных рядов и последовательностей, например для прогнозирования остаточного ресурса оборудования (RUL - Remaining Useful Life) на основе последовательности данных о вибрации, температуре и нагрузке.

Обработка естественного языка (NLP)

²⁴ MES с искусственным интеллектом. - URL: <https://indins.ru/blog/mes-s-iskusstvennym-intellektom>. (дата обращения: 3.11.2025).

Интеллектуальные помощники для операторов: оператор может голосом или текстом сообщить о проблеме, а система поймет запрос, создаст заявку на обслуживание и предложит возможные причины.

Анализ текстовых отчетов: автоматический анализ записей в журналах событий MES или комментариев операторов для выявления частых проблем и их категоризации.

Компьютерное зрение

Отслеживание прогресса сборки: автоматическое определение степени завершенности сложного изделия (например, корпуса самолета) по видеопотоку. Мониторинг соблюдения техники безопасности: Обнаружение ситуаций, когда оператор не использует необходимые средства индивидуальной защиты (каска, перчатки).

Обучение с подкреплением

Например, использование в сценарии, когда алгоритм (агент) учится методом проб и ошибок, находя оптимальную стратегию для достижения цели, действуя в среде, которая является цифровым двойником цеха. Он пробует различные стратегии распределения заказов по станкам и получает «вознаграждение» за сокращение времени выполнения, и «штраф» за простой. Со временем он находит оптимальную стратегию планирования, превосходящую статические правила.

2.3. Технологические тренды по направлению системы компьютерного управления обслуживанием оборудования (CMMS), программное обеспечение промышленной диагностики оборудования или систем оборудования (HMS – Health Monitoring System)

CMMS (Computerized Maintenance Management System) является перспективной платформой для внедрения ИИ, так как она аккумулирует огромные объемы структурированных данных по оборудованию, ремонтам, запчастям, трудозатратам.

Машинное обучение (Machine Learning - ML) для Предиктивного обслуживания

Основные решаемые задачи:

- Прогнозирование остаточного ресурса. Модель предсказывает, сколько времени или циклов работы осталось до вероятного отказа компонента
- Классификация состояний оборудования. Определение текущего состояния актива по категориям критичности

- Обнаружение аномалий. Выявление нестандартного поведения оборудования (например, рост вибрации или температуры), которое может быть ранним признаком неисправности.

Обработка естественного языка (NLP) для автоматизации ввода данных

Большие массивы критически важной информации в обслуживании хранятся в текстовом виде: описания неисправностей от операторов, комментарии механиков, отчеты о ремонтах. NLP позволяет автоматизировать их обработку.

Глубокое обучение и Компьютерное зрение

Автоматический визуальный осмотр, когда, например дроны или стационарные камеры снимают оборудование (например, элементы энергосетей, трубопроводы), а ИИ-модели обнаруживают дефекты: коррозию, трещины, утечки.

Рекомендательные системы

Использование исторических данных о ремонтах для подсказок оптимальных решений.

Обучение с подкреплением для Оптимизации стратегий обслуживания

Агент в среде «цифрового двойника» оборудования экспериментирует с различными стратегиями (реактивной, профилактической, предиктивной) и учится выбирать ту, которая минимизирует общие затраты (запчасти + простой + ремонтная бригада) на длительном горизонте.

2.4. Технологические тренды по направлению геоинформационные системы, GIS – Geographic Information System

Применение технологий искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) в географических информационных системах (ГИС) и дистанционном зондировании революционизирует анализ и интерпретацию данных. Алгоритмы ИИ/МО способны обрабатывать огромные наборы данных, извлекать значимые закономерности и автоматизировать сложные задачи в приложениях ГИС и дистанционного зондирования. В 2024 году эта интеграция позволит улучшить анализ, включив автоматическое извлечение признаков, обнаружение объектов и классификацию географических данных. Эти технологии выводят на новый уровень эффективность таких задач, как классификация земельного покрова, обнаружение изменений и интерпретация изображений с использованием различных передовых алгоритмов машинного обучения, таких как RCNN,

Faster RCNN и т. д. ИИ/МО также вносит вклад в предиктивное моделирование, позволяя более точно прогнозировать изменения окружающей среды и природные явления. Синергия между ИИ/МО и ГИС не только ускоряет обработку данных, но и расширяет возможности получения ценных сведений из пространственной информации, способствуя прогрессу в мониторинге окружающей среды, городском планировании, сельском хозяйстве и управлении стихийными бедствиями.

2.5. Технологические тренды по направлению программы автоматизированного контроля / проверки качества моделей и изделий (CAQ – Computer Aided Quality, CAI – Computer Aided Inspection)

Компьютерное зрение на основе глубокого обучения

Автоматический визуальный контроль. Алгоритмы ИИ позволяют находить на изображениях царапины, вмятины, трещины, обесцвечивание, отсутствие компонентов с точностью, превышающей человеческую.

Классификация дефектов. Модель не только находит дефект, но и относит его к категории

Измерение и контроль геометрии. Анализ изображений с камер или 3D-сканеров для проверки соблюдения геометрических допусков - например, проверка диаметра отверстий, углов, соосности.

Машинное обучение для статистического анализа и прогнозирования

Эти технологии работают с числовыми данными измерительных систем (например, КИМ - координатно-измерительные машины) и производственных параметров.

Например, алгоритмы машинного обучения обнаруживают сложные, неочевидные паттерны и микродрейфы в данных систем статистического контроля процессов, которые не улавливают традиционные контрольные карты.

Корреляционный и причинно-следственный анализ. Модели анализируют параметры процесса (из MES/SCADA) и данных измерений (из CAQ), чтобы выявить ключевые факторы, влияющие на возникновение дефектов.

Обработка естественного языка (NLP)

Автоматический анализ рекламаций. Классификация и кластеризация текстовых жалоб от клиентов для выявления наиболее частых проблем и их тематического группирования.

Умный поиск в базах знаний. Семантический поиск по стандартам, технической документации и прошлым отчетам о несоответствиях.

Автозаполнение отчетов о качестве. Генерация текстовых описаний дефектов на основе данных, извлеченных системой компьютерного зрения.

Обучение с подкреплением

Эти технологии могут использоваться для адаптивного контроля, позволяя системе не просто находить дефекты, но и оптимизировать сам процесс контроля.

Оптимизация планов выборочного контроля. Агент учится, какие именно изделия и с какой частотой нужно проверять, чтобы максимизировать вероятность обнаружения брака при минимальных затратах на контроль.

2.6. Технологические тренды по направлению программируемых логических контроллеров (ПЛК, PLC)

Это пока что сложная и узкоспециализированная область применения технологий ИИ, поскольку ПЛК созданы для детерминированного, предсказуемого и быстрого выполнения логики, в то время как решения на основе ИИ часто требуют недетерминированных вычислений и значительных ресурсов. Поэтому с точки зрения архитектуры решения можно говорить о двух уровнях, когда упрощенные и оптимизированные ИИ-модели, работающие непосредственно на современных ПЛК, а результаты работы сложных ИИ-моделей передаются в ПЛК в виде уставок для регулируемой величины в системе управления или простых команд.

3. Тренды развития классов ПО направления «Платформы для управления ресурсами (процессами) предприятия» под влиянием технологий искусственного интеллекта

3.1. Технологические тренды по направлению системы управления бизнес-процессами, BPM (Business Process Management)

Синергия ИИ и BPM

Искусственный интеллект (ИИ) за последние годы добился значительного прогресса и нашел широкое применение в различных сферах бизнеса. Внедрение ИИ в управление процессами открыло беспрецедентные возможности для повышения эффективности и решения сложных задач. Он уже демонстрирует значимость в ускорении трансформации бизнес-процессов, выступая в качестве основного инструмента для предстоящей эры инноваций, операционного совершенства и улучшенной коммуникации, заполняя весь корпоративный ландшафт.

Внедрение управления процессами с поддержкой ИИ произвел революцию в подходе компаний к автоматизации и оптимизации, что привело к повышению эффективности и

прибыльности. Поскольку ИИ продолжает развиваться, компании могут ожидать еще больше возможностей и потенциальных приложений в сфере BPM. ИИ уже оказал значительное влияние на процесс добычи полезных ископаемых, который включает в себя анализ процессов на основе данных и будет играть решающую роль в поддержке других областей, таких как проектирование процессов, автоматизация и оптимизация. Компании могут создавать собственные алгоритмы, которые адаптированы к их конкретным бизнес-требованиям, используя при этом надежные сторонние решения для дополнения своих операций.

Генеративный ИИ меняет бизнес-процессы

Генеративный ИИ меняет каждый аспект бизнеса. BPM может сыграть значительную роль в построении лучших процессов, более соответствующих бизнес-целям и стимулам заинтересованных сторон. Скорость и масштаб генеративного ИИ помогают компаниям переосмысливать процессы и рабочие процессы, чтобы использовать преимущества новых технологий (по мнению Брета Гринштейна, партнера и руководителя генеративного ИИ в PwC). Генеративный ИИ может улучшить рабочие процессы и конкретные задачи, сократить нисходящую работу и облегчить масштабируемость процессов. Исторически BPM был так сильно сосредоточен на человеческой деятельности и системных взаимодействиях, но теперь он должен учитывать и генеративные возможности.

3.2. Технологические тренды по направлению системы управления лабораторной информацией, LIMS (Laboratory Information Management System)

LIMS развиваются для интеграции с передовыми технологиями, такими как искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (ML). Эта интеграция позволяет LIMS более эффективно анализировать большие наборы данных, выявлять закономерности и прогнозировать результаты. LIMS на базе искусственного интеллекта может автоматизировать рутинные задачи, ускорить анализ данных и предоставить ценную информацию для принятия решений. Лаборатории используют эти технологии для повышения производительности и стимулирования инноваций.

3.3. Технологические тренды по направлению Системы управления эффективностью предприятия, CPM – Corporate Performance Management, EPM – Enterprise Performance Management

Интеграция ИИ в программное обеспечение EPM.

Программное обеспечение для управления эффективностью предприятия (EPM) все чаще включает в себя различные типы искусственного интеллекта (ИИ) для улучшения финансового планирования, анализа и процессов принятия решений. Эти возможности ИИ

преобразуют традиционные инструменты ЕРМ в более прогнозируемые, автоматизированные и проницательные системы, которые могут обрабатывать сложный анализ данных в масштабе.

Интеграция этих технологий ИИ в программное обеспечение ЕРМ обеспечивает более автоматизированное, точное и глубокое финансовое планирование и анализ. Например, ИИ может автоматизировать рутинные задачи анализа данных, освобождая финансовых специалистов для сосредоточения на принятии стратегических решений. Прогнозы на основе ИИ могут адаптироваться к меняющимся рыночным условиям быстрее, чем традиционные методы, предоставляя организациям конкурентное преимущество. Более того, отчетность и аналитика на основе ИИ помогают передавать сложную финансовую информацию по всей организации, создавая культуру принятия решений на основе данных.

По мере развития инструментов ЕРМ с использованием искусственного интеллекта организации могут ожидать, что эти технологии станут более совершенными, будут предлагать более глубокие знания, повышать операционную эффективность и позволять более проактивное и стратегическое управление финансами.

Машинное обучение.

Машинное обучение как подмножество ИИ, широко используется в программном обеспечении ЕРМ для предиктивной аналитики, прогнозирования и анализа тенденций. Алгоритмы ML обучаются на исторических данных, чтобы предсказывать будущие финансовые результаты, такие как прогнозы доходов, тенденции расходов и прогнозы денежных потоков. Анализируя закономерности и взаимосвязи в данных, ML может предоставлять более точные прогнозы, помогая организациям более эффективно планировать. Модели ML анализируют прошлые данные об эффективности, чтобы предсказать будущие результаты, обеспечивая более точное бюджетирование и прогнозирование. Обнаружение аномалий: алгоритмы машинного обучения выявляют выбросы в финансовых данных, которые могут указывать на ошибки, мошенничество или необычные тенденции, требующие дальнейшего изучения.

Обработка естественного языка (NLP).

NLP позволяет инструментам ЕРМ понимать и интерпретировать человеческий язык, что упрощает пользователям взаимодействие с программным обеспечением с помощью запросов на естественном языке и позволяет получать информацию в легко понимаемых форматах. Чат-боты и виртуальные помощники: НЛП позволяет создавать чат-ботов и виртуальных помощников, которые могут понимать запросы пользователей,

предоставлять финансовые отчеты и предлагать идеи на естественном языке. Ввод и извлечение данных: обработка естественного языка используется для автоматического извлечения соответствующей информации из неструктурированных источников данных, таких как счета-фактуры или контракты, что сокращает ручной ввод данных.

Глубокое обучение

Глубокое обучение используется для обработки больших объемов данных и выявления закономерностей, которые могут быть не видны традиционным методам анализа. Это особенно полезно для многомерных данных и может повысить точность финансовых моделей. Сложное прогнозирование: модели глубокого обучения решают сложные, многомерные задачи прогнозирования, такие как прогнозирование спроса, путем анализа обширных наборов данных, включая внешние факторы, такие как рыночные тенденции и экономические показатели.

Генеративный ИИ

Генеративный ИИ, включающий такие технологии, как генеративные состязательные сети (GAN), может создавать данные, имитирующие реальные финансовые сценарии. Эта возможность полезна для планирования сценариев и стресс-тестирования. Планирование сценариев: генеративный ИИ создает реалистичные финансовые сценарии, помогая организациям изучать различные стратегические варианты и их потенциальное влияние. Расширение данных: расширение наборов данных с помощью искусственно созданных данных для повышения точности финансовых моделей, особенно в случаях, когда исторические данные ограничены.

Когнитивные вычисления.

Когнитивные вычисления объединяют машинное обучение, обработку естественного языка и другие технологии искусственного интеллекта для имитации мыслительных процессов человека в компьютерной модели. Они используются в инструментах ЕРМ для предоставления информации и рекомендаций на основе комплексного анализа финансовых данных. Поддержка принятия решений: предоставление информации и рекомендаций по финансовым решениям путем анализа широкого спектра внутренних и внешних источников данных. Управление рисками: выявление и оценка финансовых рисков путем понимания закономерностей и корреляций в сложных наборах данных.

3.4. Технологические тренды по направлению Системы управления основными фондами предприятия, EAM – Enterprise Asset Management

EAM на основе искусственного интеллекта и машинного обучения. AI и ML выводят системы EAM на новый уровень, выводя возможности прогнозирования EAM на новый уровень. Собирая и анализируя огромные объемы данных с датчиков активов, эти технологии могут с большей точностью прогнозировать отказы оборудования и повышать общую надежность активов.

3.5. Технологические тренды по направлению Системы управления ресурсами предприятия (финансового менеджмента, управления активами и трудовыми ресурсами), ERP (Enterprise Resource Planning)

На смену классическим ERP приходят системы класса i-ERP. Интеллектуальная система i-ERP используют инновации на нескольких уровнях: пользовательский интерфейс, организации бизнес-процессов, анализ и сбор данных. Системы i-ERP используют машинное обучение для обработки и сбора данных целью максимизации ценности информационных активов, что позволяет обеспечить производство инновационных продуктов и повысить производительность персонала. См. рисунок ниже.



Рисунок 2.3 - Технологии систем I-ERP

В новых системах применяется облачные технологии для управления большими массивами данных. Инновационные бизнес-процессы i-ERP обеспечиваются с помощью машинного обучения и интеллектуальной аналитики. Данные подходы позволяют i-ERP системе обучаться на исключительных данных и адаптировать бизнес-правила под

конкретные предприятия, обеспечивая самую высокую точность прогнозирования и планирование производства.

Пользовательский интерфейс дифференцируется на основе пользовательского опыта с использованием систем, обрабатывающих естественные языки NLP. В целях выполнения следующих задач: ответы на вопросы, анализ высказываний, машинный перевод, распознавание речи и т.п.

3.6. Технологические тренды по направлению Систем управления складской логистикой (WMS)

Данные управления складскими помещениями и логистическими центрами постоянно расширяются и меняются, что затрудняет их анализ традиционными методами. Искусственный интеллект и машинное обучение позволяют объединять в единую сеть устройства и контролировать операции, определяя правильные метрики для управления производительностью и предоставляя ряд настраиваемых наборов данных в реальном времени, на которых можно основывать оперативные бизнес-решения. Машинное обучение может использоваться для выявления поврежденных товаров и для оценки стратегии улучшения организации склада.

В среднесрочной перспективе алгоритмы продвинутой аналитики вкупе с искусственным интеллектом позволят выявлять потенциальные проблемы и предлагают оптимальные решения в региональном и глобальном масштабе с учетом ограничений, свойственных конкретной цепочке поставок.

3.7. Технологические тренды по направлению системы управления взаимодействием с заказчиками (CRM)

Автоматизация с искусственным интеллектом. CRM-системы уже давно научились автоматизировать множество рутинных операций, освобождая менеджерам время для решения более важных задач. CRM позволяют автоматизировать:

- отправку сообщений при совершении клиентами конкретных действий;
- вывод статуса заказа на монитор оператора при обращении клиента;
- напоминания о необходимости выполнить поставленные задачи;

3.8. Технологические тренды по направлению системы управления цепочками поставок (SCM)

Технологии искусственного интеллекта могут обеспечить многочисленные многоисленные и быстро достижимые результаты в областях интеллектуального снабжения, управления запасами и планирования логистических маршрутов. Роботы повышают эффективность складирования за счет подбора и упаковки, погрузки и разгрузки, а также перемещения тяжелых предметов; компьютерное зрение поддерживает

обнаружение дефектов и распознавание объектов; робототехника обеспечивает более безопасную сборку и сварку; а дополненная реальность продвигает обучение, обслуживание и контроль качества. Технологии машинного обучения и ИИ будут использоваться для составления прогнозов и принятия решений о прогнозировании спроса, контроле качества, разработке новых продуктов и многом другом.

3.9. Технологические тренды по направлению Системы продвинутого производственного планирования (APS)

Автономное планирование на основе искусственного интеллекта. Благодаря достижениям в области ИИ и машинного обучения будущее систем APS движется к полностью автономному планированию. Эти системы смогут автоматически корректировать графики, оптимизировать распределение ресурсов и прогнозировать колебания спроса без вмешательства человека. ИИ также позволит создавать самовосстанавливающиеся системы, которые смогут реагировать на неожиданные сбои, такие как отказы оборудования или задержки в цепочке поставок, путем автономной корректировки производственных планов.

3.10. Технологические тренды по направлению Корпоративные системы управления контентом ECM

Технологии ИИ и машинного обучения играют важную роль в развитии отрасли ECM²⁵. Организации быстро переходят на решения на основе ИИ для автоматизации категоризации контента, маркировки метаданных и поиска контента. Машинное обучение может помочь анализировать и интерпретировать неструктурированные данные, делая системы ECM более эффективными в управлении контентом и возможностях поиска. Чтобы использовать эти преимущества ИИ, компании в сфере ECM внедряют новые решения с расширенными возможностями, чтобы удовлетворить растущий спрос на рынке, тем самым преобразуя динамику рынка.

Например, в июле 2023 года KnowledgeLake, передовая платформа управления корпоративным контентом (ECM), построенная на облачной архитектуре, представила KnowledgeLake StreamLine Solutions.

В ближайшее время прогнозируется переход на системы с интеллектуальной обработкой контента, заключающейся в автоматическом определении типов договоров и отправки их на согласование. Также прогнозируется переход систем данного класса к микросервисной архитектуре для повышения мобильности и пластичности. Данный подход

²⁵ Enterprise Content Management Market Size, Share Report 2032. - URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/enterprise-content-management-market> (дата обращения: 25.10.2024).

представляет собой набор отдельных синхронизируемых приложений, под различные виды контента.

Ожидается дальнейшее развитие возможностей искусственного интеллекта для исключения рутинной работы сотрудников вкупе с повсеместным внедрением виртуальных ассистентов.

3.11. Технологические тренды по направлению Программы управления заказами (OM / OMS – Order Management System)

Электронная коммерция – это динамичная и быстрорастущая отрасль, которая изменила способ, которым люди покупают и продают товары и услуги. Важный фактор роста онлайн-платформы, мобильные устройства и цифровые платежи. Однако электронная коммерция также имеет свои проблемы и сложности, особенно когда дело касается управления заказами. Управление заказами – это процесс отслеживания и выполнения онлайн-заказов с момента размещения заказа клиентом до момента получения им доставки. Он включает в себя множество этапов и заинтересованных сторон, таких как управление запасами, обработка платежей, отправка, доставка, возвраты и обслуживание клиентов. Плавный и эффективный процесс управления заказами может улучшить качество обслуживания клиентов, увеличить повторные покупки, сократить расходы и повысить прибыльность. С другой стороны, плохой процесс управления заказами может привести к ошибкам, задержкам, отменам, возвратам, жалобам и негативным отзывам.

OMS – это программные приложения, которые помогают предприятиям электронной коммерции автоматизировать и оптимизировать процессы управления заказами. Они могут интегрироваться с различными платформами и системами, такими как веб-сайты электронной коммерции, торговые площадки, платежные шлюзы, склады, поставщики логистических услуг и инструменты управления взаимоотношениями с клиентами (CRM).

Внедрение искусственного интеллекта и машинного обучения. Искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (МО) все чаще интегрируются в OMS для повышения эффективности, точности и персонализации. Алгоритмы ИИ и МО могут анализировать огромные объемы данных, такие как поведение клиентов, история покупок, уровни запасов и рыночные тенденции, для выявления закономерностей, прогнозирования результатов и принятия разумных решений в режиме реального времени. Например, OMS на базе ИИ может оптимизировать управление запасами, прогнозируя спрос, выявляя тенденции и автоматизируя заказы на пополнение. Они также могут автоматизировать задачи обслуживания клиентов, такие как ответы на запросы, разрешение жалоб и обработка возвратов, используя чат-ботов или виртуальных помощников. Более того, ИИ и МО могут улучшить персонализацию опыта покупок, адаптируя рекомендации по продуктам, акции и

скидки к индивидуальным предпочтениям и интересам. Используя ИИ и МО, компании электронной коммерции могут предоставлять более релевантный и интересный опыт, который стимулирует лояльность и удержание клиентов.

3.12. Технологические тренды по направлению Системы поддержки принятия решений (DSS – Decision Support System)

Система поддержки принятия решений (DSS) – это программное приложение, которое использует данные, аналитические модели и алгоритмы для предоставления актуальной информации и поддержки процессов принятия решений. Системы помогают компаниям принимать обоснованные и стратегические решения на основе анализа данных. На рынке систем поддержки принятия решений наблюдается ряд трендов эксперты Market Research Intellect²⁶ и MarkWide reserch²⁷ выделяют:

- Интеграцию искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) в платформы DSS. Эти технологии расширяют возможности системы учиться на основе данных, прогнозировать результаты и предоставлять более детальную информацию.
- Расширение использования аналитики больших данных. Чтобы обрабатывать огромные объемы данных и извлекать полезную информацию, технологии больших данных все чаще интегрируются в системы поддержки принятия решений.
- Использование прогнозной аналитики в DSS для прогнозирования будущих тенденций и содействия упреждающему принятию решений привело к росту популярности прогнозной аналитики.
 - Аналитика в реальном времени.
 - Рост использования технологий обработки естественного языка (NLP).

Технология NLP внедряется в систему поддержки приложений, чтобы пользователи могли взаимодействовать с системой с помощью команд на естественном языке, что делает её более удобной и доступной.

²⁶ Intellect M.R. Размер рынка систем поддержки принятия решений и прогнозы. - URL: <https://www.marketresearchintellect.com/ru/product/global-decision-support-system-market-size-forecast/> (дата обращения: 25.10.2025).

²⁷ Decision Support System Market 2024-2032 | Size, Share, Growth. - URL: <https://markwideresearch.com/decision-support-system-market/#> (дата обращения: 25.10.2025).

3.13. Технологические тренды по направлению средства интегрированной логистической поддержки изделия (ИЛП, ILS), управление выездным сервисным обслуживанием (FSM – Field Service Management), управление жизненным циклом сервисного обслуживания (SLM – Service Life-Cycle Management)

Технология искусственного интеллекта производит революцию в приложениях по управлению жизненным циклом продукции, снижая человеческую изменчивость и гарантируя доступность продукции.

3.14. Технологические тренды по направлению Технологии распределенного реестра (DLT – Distributed Ledger Technology)

Интеграция ИИ и IoT с технологией блокчейна предлагает многообещающие приложения, особенно в управлении цепочками поставок и производстве. Алгоритмы ИИ могут быть развернуты в децентрализованных автономных организациях (DAO) для автономного принятия решений, а устройства IoT записывают защищенные от несанкционированного доступа данные в блокчейн для отслеживания и проверки подлинности²⁸. Например, объединение ИИ и блокчейна позволяет проводить предиктивное обслуживание в производстве, используя данные IoT в реальном времени, записанные в реестре блокчейна²⁹.

Эта интеграция не лишена проблем, поскольку многие устройства IoT генерируют большие объемы данных, которые блокчейны, особенно публичные, могут испытывать трудности с эффективным хранением и обработкой. Некоторые предлагают гибридные модели, в которых данные IoT записываются в частные блокчейны, но привязаны к публичному реестру, предлагая баланс масштабируемости и подлинности данных. Однако это решение может привести к дополнительной сложности и затратам на координацию³⁰.

4. Выводы в отношении трендов развития классов индустриального ПО под влиянием технологий искусственного интеллекта

Можно выделить ряд ключевых выводов о будущих возможностях и сценариях использования промышленного ПО с интеграцией искусственного интеллекта (ИИ).

Индустриальное ПО эволюционирует от точечных решений к комплексным архитектурам, где машинное обучение, технологии работы с большими данными,

²⁸ PwC, Navigating the Global Crypto Landscape with PwC - 2024. - URL: <https://www.pwc.com/hu/hu/iparagak/assets/navigating-the-global-crypto-landscape-with-PwC-2024.pdf> (дата обращения: 25.10.2025).

²⁹ Accenture, Federal Blockchain Analytic. - URL: https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/a-com-migration/pdf/Accenture-Federal-Blockchain-Analytics_v2.pdf (дата обращения: 25.10.2025).

³⁰ Accenture, Blockchain Value Report. - URL: <https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/accenture-com/document/Accenture-Blockchain-Value-Report.pdf> (дата обращения: 25.10.2025).

технологии индустриального интернета вещей, генеративного искусственного интеллекта встроены во все ключевые контуры – от CAD/CAE/CAM, PLM до MES/SCADA и ERP.

Технологии искусственного интеллекта глубоко проникают в индустриальное ПО, где генеративные, аналитические, визуальные, языковые и мультиагентные технологии совместно обеспечивают проектирование, управление производством, обслуживание изделий и выполнение бизнес-процессов в полу- или почти автономном режиме к 2030 году. Сценарии использования ПО смещаются к самообучающимся системам, активно использующим технологии цифровых двойников.

В инженерном ПО, таком как САПРы и ПО для инженерных расчетов (CAD, CAE), новые возможности связаны с генеративным проектированием, суррогатным моделированием и ИИ-симуляциями, обеспечивающими ускорение циклов проектирования за счет использования на определенных этапах проектирования упрощенных моделей, генерируемых ИИ. ИИ поможет проектировать конструкции и выбирать материалы под заданные требования, радикально сокращая время и стоимость экспериментов. Повысится и станет повседневной практикой совместной работы инженера-проектировщика и ИИ в процессах проектирования и автоматизации сложных задач, где требуются как проведение сложных вычислений, так и экспертная оценка их результатов.

LLM-ассистенты станут надстройкой над инженерными данными, автоматически извлекая знания, формируя гипотезы, сценарии расчетов и направления исследований.

Мультиагентный инженерный ИИ позволит строить комплексные модели сложных инфраструктурных и производственных объектов, таких как аэропорты, месторождения и другие, согласуя работу множества отраслевых решений и существенно ускоряя проектирование и повышая точность прогнозов.

В ECAD/EDA ИИ возьмёт на себя рутинные операции, оптимизацию топологий, поиск ошибок и предложений по улучшению, опираясь на анализ прошлых проектов и возможности компьютерного зрения.

В BIM/AEC совместное использование технологий интернета вещей, искусственного интеллекта, анализа данных обеспечат живые цифровые двойники зданий и инфраструктуры, поддерживающие мониторинг, более точное планирование этапов строительства, проактивное управление качеством и эксплуатацией.

Программное обеспечение PLM управления жизненным циклом изделий за счет использования ИИ превратится в платформу сквозной аналитики по жизненному циклу изделия, обеспечивая более быстрый вывод на рынок новых изделий, улучшение их качества, внедрение принципов предиктивного обслуживания и оптимизацию цепочек поставок.

В контуре управления производством ПО класса SCADA (АСУ ТП) превратится из инструмента наблюдения за производственными процессами в интеллектуальный центр управления, использующий предиктивную аналитику по тегам и действиям операторов, системы поддержки принятия решений, технологии обнаружения кибератак на производственную инфраструктуру. Получит распространение работа этого класса ПО с параллельным использованием цифровых двойников производства.

В MES генеративный ИИ, машинное обучение, технологии компьютерного зрения обеспечат автономное или полуавтономное планирование, адаптивные расписания, визуальный контроль качества и постоянные циклы оптимизации производства.

В ПО классов CMMS, CAQ компьютерного управления обслуживанием оборудования (ТОиР) и контроля качества технологии машинного обучения, в том числе обучения с подкреплением, компьютерного зрения и рекомендательных систем позволит перейти от регламентных ремонтов и выборочного контроля к непрерывному предиктивному обслуживанию и новым стратегиям контроля качества, минимизирующим совокупные издержки.

В контуре корпоративного управления системы управления ресурсами предприятия ERP и бизнес-процессами трансформируются в интеллектуальные i-ERP/i-BPM-системы с генеративным ИИ: автоматизация процессов перейдет на качественно новый уровень, и системы получают способности предлагать и проверять новые схемы процессов и правил. Ожидается быстрый рост количества компаний, использующих ИИ-инструменты для автоматизации не только проектных, но и управленческих и финансовых бизнес-процессов.

В ERM/CPM ИИ обеспечит непрерывную предиктивную аналитику, сценарное моделирование, генерацию синтетических сценариев, когнитивную поддержку финансовых и управленческих решений.

В ПО классов SCM, WMS, CRM, OMS ИИ возьмёт на себя прогноз спроса, маршрутизацию, оптимизацию запасов, персонализацию, интеллектуальную обработку заказов, делая логистику и клиентские контуры более автономными и адаптивными.

ПоТ-платформы становятся центром интеграции данных от датчиков, контроллеров (PLC), Edge-устройств и аналитики, обеспечивая непрерывный поток данных в индустриальное (промышленное) ПО, использующее технологии ИИ.

Потоки данных из ПоТ, производственных и корпоративных систем и использование единых хранилищ данных (Data Lake/ Lakehouse) обеспечат основу для множества моделей и сервисов принятия решений на основе ИИ. Ожидается рост сценариев, когда Edge-аналитика и локальные модели принимают решения на месте (на оборудовании, в

цехе), а облачные/центральные сервисы выступают как инструмент оптимизации на уровне завода и холдинга.

Сквозным трендом представляется развитие мультиагентных ИИ-систем, в рамках которого разные специализированные агенты (по оборудованию, качеству, логистике, энергоэффективности) будут взаимодействовать между собой и с человеком, согласованно решая комплексные производственные задачи.

В перспективе 5–10 лет формируются сценарии почти безлюдных производственных участков и линий: технологии IoT, машинного обучения, компьютерного зрения, генеративного ИИ встраиваются в MES/SCADA и ERP так, что эти системы сами выявляют отклонения, предлагают и реализуют корректирующие действия, а также оптимизируют графики и ресурсы.

Цифровые двойники станут основной «песочницей» для агентов, использующих обучение с подкреплением и сложные ИИ-сценарии: обучение стратегий производства, обслуживания, контроля и планирования будет происходить в виртуальной среде до переноса в реальную производственную среду.

Интеграция ИИ, IoT и технологий распределенного реестра позволит строить доверенные цепочки поставок и сервисные модели, где решения ИИ опираются на проверяемые, неизменяемые данные, а часть действий будет исполняться через умные контракты.

Перечисленные выше изменения изменят области ответственности ИТ-департаментов предприятий и промышленных компаний: на них ляжет новая функция автоматизации процесса создания специфических отраслевых моделей ИИ, используемых на предприятии, сбора данных, обучения, развертывания и мониторинга работы систем, существенно использующих технологии ИИ, т.е. функции, которые можно назвать конвейерами AutoML/ML-Ops внутри промышленных компаний.