



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

Глобальные технологические приоритеты индустриального (промышленного) ПО в разрезе основных категорий (групп) классов

Содержание

Введение.....	5
1. Глобальные технологические приоритеты в области инженерного программного обеспечения: САПР, ПО управления данными и жизненным циклом изделий и др.	6
1.1. Переход от набора разрозненных систем к платформам сквозной цифровой нити и конвергенция PLM–CAD–CAE–MES–ERP	6
1.2. Датацентричная архитектура: MDM/НСИ, инженерные данные и качество информации.....	8
1.3 Интеграция технологий искусственного интеллекта во все стадии инженерного процесса	9
1.4. Цифровые двойники как базовый организационный принцип инженерного ПО (двойники изделий, производств и инфраструктуры -DT for Product & Infrastructure)....	11
1.5. Конвергенция CAD, CAE, SPDM, модельно-ориентированной системной инженерии, мультидоменное системное проектирование и управление требованиями (RMS, 1D, SPDM).....	13
1.6. Рост значения открытых интерфейсов, возможности использования CAD/-CAE-сред от различных поставщиков (интегрированные CAD/CAE-системы или гибридные CAD/CAE-системы) и межсистемной совместимости	15
1.7. Расширенное моделирование и симуляция (CAE, MM, CDS, ECAD/EDA)	16
1.8. Эволюция CAD/ECAD/EDA/BIM как платформ проектирования.....	18
1.9. Усиление роли BIM/AEC и сближение инженерного и инфраструктурного контуров.....	19
1.10. Виртуальная и дополненная реальность (VR/AR/MR) в инженерном контуре	20
1.11. Автоматизация технологической подготовки, производства и сервисного контура (CAPP, CAM, ИЭТР/ИЕТМ, РСМ-системы управления себестоимостью).....	21
1.12. Облачные и гибридные архитектуры инженерного программного обеспечения ...	23
1.13. Безопасность, доверие и суверенитет инженерных данных	24
1.14. Платформенность, экосистемность и маркетплейсы инженерных приложений	25
1.15. Отраслевая специфика PLM/PDM-систем	26
1.16. Отраслевая специфика CAD-систем	33
1.17. Выводы в отношении инженерного ПО	37
2 Глобальные технологические приоритеты в области ПО управления технологическими и производственными процессами (MES, АСУ ТП и др.)	44

2.1. Сквозное управление производством: интеграция MES, APS, IIoT и TOIP	44
2.2. IIoT-платформы и периферийные вычисления как основа сбора и предобработки данных	46
2.3. Эволюция SCADA/АСУ ТП и HMI (технологии человеко-машинных интерфейсов): открытые стандарты, гибридные архитектуры, ИИ	47
2.4. Интеграция ИИ, продвинутой аналитики, APC и RTO-систем управления и оптимизации технологическими процессами в контуры управления процессами	49
2.5. Цифровые двойники производств, линий и объектов инфраструктуры	50
2.6. Программное обеспечение для ПЛК и унификация промышленного стека управления	52
2.7. Управление качеством, надежностью и ТОиР: CAQ/CAI (контроль качества), CMMS (обслуживание оборудования), HMS (диагностика оборудования)	53
2.8. Продвинутое производственное планирование (APS), синхронизация с MES и логистикой	54
2.9. LBS-системы определения местоположения объектов и пространственно-временная прослеживаемость ресурсов	56
2.10. Облака, гибридные модели и X-as-a-Service в промышленной автоматизации	57
2.11. Кибербезопасность и суверенность контуров управления	58
2.12. Унифицированные модели данных и экосистемность решений	60
2.13. Промышленная фабрика данных (data fabric) и контекстуализация данных	61
2.14. Отраслевая специфика MES-систем управления производством	62
2.15. Выводы в отношении ПО управления технологическими и производственными процессами	70
3. Глобальные технологические приоритеты в области индустриального (промышленного) ПО корпоративного уровня и ПО управления ресурсами предприятий	74
3.1 Датацентричные ERP-системы и «фабрика данных» предприятия	74
3.2. Встраивание ИИ, продвинутой аналитики и DSS-систем поддержки принятия решений в корпоративные контуры	76
3.3. Облачные, модульные и микросервисные архитектуры	78
3.4. Сквозная цифровая нить от клиента до производства и сервиса	79
3.5. Клиент-центричная модель: CRM, SLM, ILS, MRO и FSM (системы управления отношениями с клиентами, сервисного обслуживания, логистической поддержки и ремонта поставленных изделий)	81
3.6. Цепочки поставок: устойчивость, прозрачность и производственная кооперация (SCM, SRM, TMS, WMS)	82

3.7. CRM/ERP-системы управления эффективностью предприятия и управление по показателям в режиме близком к реальному времени	83
3.8. BPM-системы управления бизнес-процессами, гиперавтоматизация и управление сквозными бизнес-процессами	84
3.9. Системы управления охраной труда, промышленной безопасности и охраной окружающей среды (EHS, устойчивое развитие и ESG-контур).....	86
3.10. Отраслевые облака и вертикализация корпоративных платформ	87
3.11. Цифровой суверенитет, соответствие требованиям (комплаенс) и безопасность корпоративных платформ.....	88
3.12. Экосистемность и маркетплейсы бизнес-приложений	89
3.13. : Агентные корпоративные приложения и переход к модели агентного предприятия.....	90
3.14. Выводы в отношении технологических приоритетов в области индустриального (промышленного) ПО корпоративного уровня и ПО управления ресурсами предприятий	91
4. Общие выводы на основе анализа глобальных трендов в области индустриального (промышленного) ПО	94

Введение

В этом документе на основе анализа публичных аналитических документов перечислены глобальные технологические приоритеты и тренды в области индустриального (промышленного) ПО в разрезе трех категорий или технологических направлений, соответствующих технологическим направлениям дорожной карты высокотехнологичного направления «Новое индустриальное программное обеспечение»:

- Направление 1. Системы автоматизированного проектирования и управления жизненным циклом изделий (инженерное ПО): PLM, PDM, CAD, CAM, CAE, BIM CAPP и др.
- Направление 2. Платформы управления технологическими и производственными процессами предприятия: SCADA/АСУ ТП, MES и др.
- Направление 3. Платформы для управления ресурсами (процессами) предприятия: ERP, CRM, HCM, TMS, WMS, BPM, PM и др.

Анализ выполнен в целях влияния этих технологических трендов на приоритеты реализации проектов в рамках высокотехнологичного направления и реализации дорожной карты НИПО в целом.

По таким классам, как PLM/PDM, CAD, MES отдельно сделан анализ отраслевой специфики и приоритетов в отношении этих классов программного обеспечения для отраслей, в которых есть существенная специфика в сравнении с «классическими» машиностроительными сценариями применения этих классов ПО: судостроение, металлургия, химия, фармацевтика, электроника и микроэлектроника, легкая промышленность, пищевая промышленность.

1. Глобальные технологические приоритеты в области инженерного программного обеспечения: САПР, ПО управления данными и жизненным циклом изделий и др.

Ниже - перечень ключевых глобальных технологических трендов, которые сегодня определяют развитие классов инженерного программного обеспечения PLM/PDM/CAE/CAD/BIM, технологии цифровых двойников и смежных классов индустриального ПО и которые имеет смысл учитывать при формировании российской технологической политики и приоритетов развития ДК НИПО. Эти тренды сформулированы на уровне «сквозных» трендов, а не по каждому классу отдельно.

Глобальный рынок инженерного программного обеспечения развивается в направлении платформизации, сквозной цифровой нити, перехода к управлению на основе данных, активной интеграции искусственного интеллекта, широкого применения цифровых двойников и всё более тесной увязки инженерного контура с производством, поставками, сервисом и эксплуатацией^{1,2,4,14}. Лидирующие разработчики фактически конкурируют уже не отдельными CAD-, CAE- или PLM-продуктами, а целостными платформами, в которых единая модель данных, встроенные средства моделирования, коллаборации, аналитики и искусственного интеллекта становятся базовой архитектурной нормой.

Для российской политики развития отечественного инженерного программного обеспечения это означает, что приоритет должен смещаться от поддержки изолированных классов продуктов к формированию нескольких конкурентоспособных платформенных экосистем, способных закрывать ключевые сценарии цифровой нити, моделирования, цифровых двойников и межсистемного обмена данными^{2,3,12}.

1.1. Переход от набора разрозненных систем к платформам сквозной цифровой нити и конвергенция PLM–CAD–CAE–MES–ERP

Главный мировой тренд состоит в том, что PLM/PDM постепенно превращаются из систем хранения и маршрутизации конструкторских данных в центральный координирующий слой цифровой нити, связывающий требования, многодоменные модели, расчеты, технологическую подготовку, производство, качество, сервис и поставщиков^{1,2,3}. Рынок все меньше воспринимает отдельные CAD-, CAE-, CAM- и PDM-системы как самодостаточные продукты; вместо этого спрос концентрируется вокруг платформ, обеспечивающих сквозную согласованность данных и процессов на протяжении всего жизненного цикла изделия^{4,12,14}.

- Смещение фокуса с отдельных систем (PLM, PDM, CAE, CAD, CAM и др.) к единой **цифровой нити**, которая связывает требования, 3D-модель, расчеты, технологии, производство, сервис и утилизацию^{20, 21}.
- Укрепление роли PLM как платформы оркестрации данных и процессов между инженерным ПО, MES, ERP, системами обеспечения сервисного

обслуживания и эксплуатации, включая интеграцию с BIM/ТИМ и цифровыми двойниками^{22, 23}.

- Рост требований к стандартам обмена данными (STEP, JT, IFC, открытые API, событийные шины), отказ от монолитных «закрытых» стеков ПО в пользу платформенной архитектуры²⁴.

Что делают лидеры рынка

Копания Siemens продвигает PLM-систему Teamcenter как основу цифровой нити, связывающую данные и процессы между механическим, электротехническим, программным и системным проектированием, а также производством и сервисом. В описании платформы Siemens прямо использует формулировку о «ткачестве цифровой нити» между разработкой изделия, производством, сервисом и поставщиками, а в практических кейсах показывает Teamcenter как опорный слой, интегрированный с NX - набором программных модулей для решения задач CAD/CAM/CAE, Simcenter - портфель продуктов для инженерного анализа, включающий инструменты для проведения 1D- и 3D-расчетов, физических испытаний, управления данными инженерного анализа, прогнозирования технических характеристик и поведения изделия и Polarion - веб-решение для управления жизненным циклом приложений и программного обеспечения^{1,2}.

Dassault Systèmes строит схожую архитектуру вокруг 3DEXPERIENCE, где PLM-функции ENOVIA, проектирование в CATIA, моделирование в SIMULIA, производственный контур DELMIA и аналитические компоненты объединяются в единой платформенной среде. В новой стратегии 3D UNIV+RSES компания подчеркивает, что центральным объектом становится не файл и не приложение, а виртуальный двойник, вокруг которого объединяются данные, процессы, знания и совместная работа^{4,5,16}. Эта стратегия, объявленная в феврале 2025 года, представляет собой подход к цифровой трансформации, который объединяет технологии искусственного интеллекта (ИИ), виртуальные двойники и иммерсивные технологии для поддержки компаний на всех этапах жизненного цикла продукта - от концепции до реальной эксплуатации.

PTC развивает концепцию цифровой нити через связку PLM-системы Windchill, CAD-системы Creo, ALM-системы управления жизненным циклом ПО Codebeamer и инструментов модельно-ориентированной системной инженерии. Материалы PTC и партнеров показывают акцент на управлении многодоменными данными, CAD-среде от различных поставщиков, поддержке модельно-ориентированной инженерии (Model-Based Definition) и трассируемости требований, изменений и конфигураций на всем жизненном цикле^{6,7}.

Компания Hexagon выводит на первый план облачную платформу Nexus, которая быстро расширяется на всю производственно-инженерную цепочку и связывает CAE, SPDM, PDM/PLM, производственные системы, промышленный интернет вещей и данные по качеству. Это характерный

пример смещения акцента от отдельного инженерного инструмента к открытому цифровому слою интеграции и совместной работы^{12,19}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Перспективное отечественное ПО должно проектироваться как платформенный стек цифровой нити с единым ядром данных и процессов, а не как набор несвязанных решений по отдельным классам. Отдельным приоритетом должно стать развитие открытых интерфейсов, общей модели изделия и поддержка интеграции с технологическим, производственным и сервисным контурами^{2,3,12}.
- Необходимо стимулировать развитие отечественных платформ цифровой нити, а не только точечных PLM/PDM-решений.
- Необходимо поддерживать открытые форматы и стандартизированные API в качестве обязательного требования к господдержке и внедрениям.

1.2. Датацентричная архитектура: MDM/НСИ, инженерные данные и качество информации

Следующий базовый тренд — отход от работы на основе файлов, когда главным носителем информации служат отдельные файлы и документы, к организации работы, к управлению инженерной информацией и переходу к датацентричной архитектуре (архитектура, ориентированная на данные: подход, в котором ключевым активом и объектом управления являются данные и их связи) и к моделицентричной архитектуре (архитектура, ориентированная на модели: подход, в котором цифровые модели являются основным представлением изделия и процессов). В рамках этих подходов главным объектом являются структурированные данные изделия, конфигурации, версии, параметры, зависимости, требования и результаты расчетов^{3,11,15}. В этой логике PLM/PDM, RMS (управление требованиями), SPDM и MDM становятся не просто подсистемами учета, а механизмами управления, единым цифровым представлением изделия и его контекста^{1,4,14}.

- Переход от документно-ориентированного подхода (чертеж/файл/отчет) к датацентричному: управление конфигурациями, версиями, требованиями, параметрами, моделями и связями между ними как основным активом предприятия^{25,26}.
- Усиление роли систем MDM/НСИ и PDM как ядра управления инженерной и производственной информацией, включая справочники материалов, типоразмеров, технологических процессов, норм и регламентов²¹.
- Рост значимости механизмов качества данных: валидация моделей и спецификаций, автоматический контроль целостности цифровой нити, трассировка изменений.

Что делают лидеры рынка

Autodesk в области развития АЕС/BIM-систем открыто декларирует переход «от файлов к гранулированным данным» в облачной платформе Forma

для управления строительными проектами, которая объединяет различные инструменты и данные в единой среде. Компания объединяет планирование, детальное проектирование, управление данными и эксплуатационный контур, а Autodesk Docs переосмысливается как центральная среда данных Forma Data Management^{8,9,11,15}.

PTC в PLM-системе Windchill делает ставку на общую модель данных и поддержку множественного CAD-окружения как основу модельно-ориентированного предприятия. В материалах по MBD/MBE подчеркивается, что глубоко определенные 3D-модели должны служить источником ценности не только в конструкторском контуре, но и в производстве, эксплуатации и сервисе⁷. *Комментарий: MBE (Model-Based Enterprise) - модельно-ориентированное предприятие; подход, в котором цифровая модель изделия используется как основной носитель информации на всех стадиях жизненного цикла. MBD (Model-Based Definition); модельно-ориентированное определение изделия; представление геометрии, размеров, допусков и требований непосредственно в цифровой 3D-модели.*

Siemens подчеркивает значение трассируемости и целостности данных по всем инженерным доменам, включая связь требований, моделей и изменений. Наличие единой цифровой нити в Teamcenter трактуется именно как способ управлять структурированными данными и зависимостями, а не как архив файлов^{1,3}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Для отечественного ПО критично поддержать разработку единой объектной модели изделия, конфигурации, требований, результатов расчетов, технологических данных и нормативно-справочной информации. Без перехода к датацентричной архитектуре невозможно создать полноценные PLM/PDM, SPDM-системы и цифровые двойники, сопоставимые с мировым уровнем^{1,7,11}.
- Повысить приоритет развития единых российских доменных моделей данных для машиностроения, автоматизированных систем конструирования, строительства, радиоэлектроники и т.п.
- Включать требования к поддержке HSI/MDM и качеству данных в базовые критерии зрелости PLM/PDM/RMS/CAE/ECAD/BIM-решений.

1.3 Интеграция технологий искусственного интеллекта во все стадии инженерного процесса

Искусственный интеллект быстро переходит из экспериментальной области в повседневный функционал инженерных платформ. На глобальном рынке ИИ используется для генерации и редактирования геометрии, ускорения подготовки моделей, интеллектуального поиска по инженерным данным, автоматизации рутинных операций, поддержки проектных решений, обучения по накопленным данным и формирования цифровых помощников инженера^{3,8,9,13}.

- Встраивание методов машинного обучения и генеративного ИИ в CAD, CAE, CAPP, CAM, BIM и PLM-системы для: автогенерации геометрии, оптимизации топологии, выбора материалов и техпроцессов, укладки композитов, трассировки плат, подборки электронной компонентной базы (ЭКБ) и др.^{22,23}.
- Интеллектуальные ассистенты инженера: поиск по знаниям проекта, подсказки по лучшим практикам, авто-комментирование моделей, полуавтоматическая подготовка интерактивной технической документации (ИЭТР/ІЕТМ)²⁴.
- Прогностическая аналитика для управления себестоимостью (PCM), оценки рисков конструкции, надежности и остаточного ресурса на основе данных эксплуатации.

Что делают лидеры рынка

Siemens предлагает инструмент Teamcenter Copilot - встроенный генеративный помощник в PLM, способный работать с комплексными структурами состава изделия, документами и маршрутами процессов на естественном языке. Одновременно Siemens подчеркивает более широкое применение ИИ в цифровой нити — от генеративного проектирования и расчетов до сборочного планирования и программирования обработки на оборудовании с ЧПУ^{3,17,18}.

Dassault Systèmes в стратегии 3D UNIV+RSES позиционирует ИИ как один из центральных технологических элементов, тесно увязанный с виртуальными двойниками, автоматизацией и иммерсивными технологиями. Компания представила две стратегических направления:

- Generative Experience – стратегия цифрового взаимодействия или продукты, создаваемые или адаптируемые в режиме реального времени с помощью искусственного интеллекта. В отличие от традиционных статичных цифровых решений, они используют модели ИИ для генерации нового контента
- Virtual Companion - категория ИИ-экспертов, интегрированных в платформу 3DEXPERIENCE. Они представляют собой ролевых интеллектуальных ассистентов для инженеров, ученых и руководителей, работающих со сложными продуктами, симуляциями и данными на протяжении всего жизненного цикла изделия.

Эти стратегии показывают смещение от ИИ как вспомогательного «инструмента» к интеллектуальной платформе, способной сопровождать специалиста в принятии инженерных решений^{4,5}.

Autodesk заявляет о развитии генеративного ИИ для получения редактируемой геометрии в облачной системе автоматизированного проектирования (САПР) Fusion, о внедрении Autodesk Assistant в BIM-системе для проектирования зданий Revit, CAD-системе AutoCAD и в программу для проектирования объектов инфраструктуры на основе BIM-технологии информационного моделирования зданий Civil 3D, а также об использовании

ИИ в облачной среде Forma для автоматизированного проектирования и анализа в архитектуре, инженерии и строительстве (АЕС). По оценке Autodesk, новые нейросетевые CAD-модели способны радикально изменить традиционные геометрические движки и автоматизировать существенную часть рутинных операций проектировщика^{8,9,11,15}.

Ansys делает акцент на цифровой симуляции с использованием ИИ, решении для цифровых двойников TwinAI, облачной платформе SimAI генеративного ИИ, которая использует результаты предыдущих симуляций для быстрого прогнозирования производительности новых проектных решений, ПО Electronics AI+ для прогнозирования потребностей в вычислительных ресурсах при симуляциях в области электроники, а также на возможности использовать новые и ранее накопленные данные для обучения пользовательских моделей и повышения качества инженерного анализа. Это отражает тренд на соединение классического физического моделирования с методами машинного обучения и суррогатного моделирования^{13,14}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- При развитии отечественного инженерного ПО ИИ следует рассматривать не как самостоятельный класс решений, а как встроенный уровень функциональности для PLM/PDM, CAD, CAE, CAM, BIM-систем и платформ цифровых двойников. Отдельное внимание должно быть уделено объяснимости, воспроизводимости и проверяемости результатов ИИ в ответственных отраслях^{3,8,14}.
- В приоритетных направлениях необходимо учесть отдельные разделы развития «ИИ-надстроек» над существующим инженерным ПО и одновременно - постепенную нативную интеграцию ИИ при развитии архитектуры и функциональных возможностей отечественных систем инженерного ПО.
- Требование к объяснимости технологий ИИ и верифицируемости результатов ИИ при применении технологий ИИ в инженерном ПО для критичных отраслей (ОПК, Энергетика, ТЭК).

1.4. Цифровые двойники как базовый организационный принцип инженерного ПО (двойники изделий, производств и инфраструктуры - DT for Product & Infrastructure)

Один из самых значимых мировых трендов состоит в превращении цифровых двойников из частного аналитического инструмента в базовый организационный принцип инженерного программного обеспечения. Двойник все чаще понимается как живая цифровая модель изделия, системы, производственного процесса или инфраструктурного объекта, связанная с расчетами, эксплуатационными данными, сервисной историей и сценариями оптимизации^{4,10,14}.

- Переход от статичного 3D-моделирования к полноценным цифровым двойникам, связывающим CAE/MM/1D, SPDM, PLM, MES/SCADA-системы и эксплуатационные данные³¹.
- Развитие платформ цифровых двойников инфраструктурных объектов и зданий (BIM/ТИМ + сенсоры, SCADA, IoT-платформы) для эксплуатации, ремонта, управления жизненным циклом.
- Требование к возможности работы с данными в реальном времени и поточному обмену данными: событийно-ориентированные архитектура промышленного ПО, edge-вычисления (вычисления на границе сети, т.е. там, где непосредственно генерируются данные), синхронизация с реальными системами управления.

Что делают лидеры рынка

Dassault Systèmes прямо ставит виртуальный двойник в центр своей новой стратегии, определяя его как точную цифровую реплику физического изделия, процесса или системы, которую можно использовать для анализа эксплуатационных данных в реальном времени, симуляции рабочих процессов и принятия более обоснованных решений. Компания связывает виртуальные двойники с ИИ, виртуальной и дополненной реальностью, совместной работой и промышленной оптимизацией^{4,16}.

Siemens последовательно связывает цифровую нить и цифровой двойник, показывая, что конструкторские данные, инженерные расчеты, технологическая подготовка и производственные операции должны формировать единое непрерывное пространство данных. В демонстрациях Siemens по промышленной тематике цифровой двойник используется как средство объединения проектирования, расчетов, сборочного планирования, качества и обработки на станках с ЧПУ^{2,17,18}.

Autodesk в связке облачной платформы Forma, которая объединяет управление данными, сотрудничество команд и анализ проектов строительства на протяжении всего жизненного цикла, и Tandem, облачной платформы для создания и управления цифровыми двойниками, которая преобразует BIM-данные в интерактивную виртуальную копию физического объекта, продвигает логику перехода от BIM-проектирования к динамическим цифровым двойникам зданий и объектов. При этом подчеркивается необходимость встраивания структурированных данных об активах в информационную модель, чтобы на выходе получить не просто проект, а управляемый эксплуатационный цифровой двойник^{8,10,15}.

Ansys связывает цифровую инженерию с облачными вычислениями, ИИ, MBSE и управлением данными на протяжении жизненного цикла. Это создает основу для гибридных цифровых двойников, сочетающих физические модели и данные эксплуатации^{13,14}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- В отечественной повестке целесообразно поддерживать не только «платформы цифровых двойников» как отдельный класс, но и развитие технологий, без которых двойники не жизнеспособны: SPDM, 1D-моделирование, CAE, PLM, управление требованиями, управление конфигурациями, интеграция с IoT и эксплуатационными системами^{4,10,14}.
- Необходимо обеспечить поддержку создания типовых российских платформ цифровых двойников (для машиностроения, ОПК, ТЭК, транспорта, строительства) с открытыми интерфейсами к PLM/BIM/MES/SCADA-системам.
- Связать развитие технологий цифровых двойников с программами по импортозамещению в таких областях, как АСУ ТП, IoT и систем промышленной связи.

1.5. Конвергенция CAD, CAE, SPDM, модельно-ориентированной системной инженерии, мультидоменное системное проектирование и управление требованиями (RMS, 1D, SPDM)

Глобальный рынок демонстрирует устойчивое движение к более тесному объединению CAD, CAE, SPDM, RMS-систем и средств модельно-ориентированной системной инженерии. Это связано с усложнением изделий, ростом доли программного обеспечения и электроники, а также необходимостью обеспечивать трассируемость между требованиями, архитектурой, конструкцией, расчетами и испытаниями^{1,6,14}.

- Распространение системной инженерии как базового подхода к проектированию сложных изделий: совмещение механики, электроники, программного обеспечения, управления, связи в единой модели (MBSE, SysML, UML)³².
- Развитие систем класса RMS для управления требованиями с тесной увязкой требований, архитектурных моделей, вариантов, конфигураций и проверок (requirements–model–test traceability).
- Рост значимости 1D-моделирования и систем управления расчетными данными SPDM для управления моделями и результатами расчетов, включая сценарные исследования, чувствительность и оптимизацию.

Что делают лидеры рынка

PTC продвигает один из наиболее явных MBSE-контуров, объединяя PTC Modeler, Codebeamer, Creo и Windchill в единую цифровую нить. Тем самым компания связывает управление требованиями, модельно-ориентированную разработку, CAD и PLM в единый цикл с управлением изменениями и соответствием требованиям⁶.

Комментарии:

PTC Modeler — это интегрированный набор инструментов для моделирования в системах и программной инженерии. Он предназначен для создания и управления трехмерными моделями изделий, визуализации и анализа проектных решений на этапах разработки.

Codebeamer — это платформа Application Lifecycle Management (ALM) для продвинутой разработки продуктов и программного обеспечения. Она расширяет возможности ALM за счет конфигурации продуктовых линеек и обеспечивает уникальную настраиваемость для сложных процессов.

Creo — это масштабируемый, функционально совместимый пакет программного обеспечения для конструирования изделий. Он позволяет группам конструкторов создавать, анализировать, просматривать и максимально использовать проекты изделий при дальнейшем конструировании.

Windchill — это программное обеспечение для управления жизненным циклом изделий (Product Lifecycle Management, PLM). Оно предоставляет централизованный доступ ко всей информации об изделиях, включая модели CAD, документы, технические иллюстрации, встроенное ПО, расчёты и технические требования.

Siemens демонстрирует интеграцию PLM-системы Teamcenter с Polarion (веб-решение для управления жизненным циклом приложений и программного обеспечения), NX (набор программных модулей для решения задач CAD/CAM/CAE) и Simcenter (портфель продуктов для инженерного анализа, включающий инструменты для проведения 1D- и 3D-расчетов, физических испытаний, управления данными инженерного анализа, прогнозирования технических характеристик и поведения изделия), что фактически создает контур «требования — проектирование — моделирование — управление жизненным циклом». Такая связка особенно важна для сложных многодоменных изделий, где механика, электроника, программное обеспечение и системы управления должны разрабатываться согласованно¹.

Ansys движется в направлении усиления MBSE-возможностей и средств управления данными как части цифровой инженерии. Это указывает на более широкую тенденцию: CAE уже перестает быть отдельным инструментом для расчетов и становится частью системного контура принятия инженерных решений¹⁴.

Hexagon через облачную платформу цифровой реальности Nexus показывает практическую интеграцию CAE, SPDM, PDM/PLM, производственных и качественных данных, тем самым подтверждая мировой тренд на объединение расчетной, конструкторской и производственной информации в единой среде^{12,19}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Для российской политики важен приоритет развития не только базовых CAD и CAE-систем, но и связующих классов: RMS, SPDM, средств параметрического 1D-проектирования, MBSE-инструментов и средств трассируемости. Именно это формируют основу для сложного системного проектирования и цифровых двойников^{6,14}.

- Необходимо обеспечить приоритет на появление и развитие отечественных средств MBSE/RMS/1D-моделирования, интегрированных с PLM/CAE/ECAD/EDA.
- Необходимо закладывать в требования к новым ИТ-системам промышленного применения возможности полнофункциональной трассируемости требований по всей цифровой нити.

1.6. Рост значения открытых интерфейсов, возможности использования CAD/-CAE-сред от различных поставщиков (интегрированные CAD/CAE-системы или гибридные CAD/CAE-системы) и межсистемной совместимости

Мировые лидеры все меньше делают ставку на полностью закрытые стеки и все больше — на возможность работы в смешанном ландшафте, где предприятие использует несколько CAD-, CAE- и PDM/PLM-систем, а также внешние отраслевые и производственные решения. Поэтому открытые API, коннекторы, средства интеграции, общие форматы и поддержка ландшафта со множеством CAD/CAE-систем становятся обязательным требованием крупных заказчиков^{3,7,12}.

Что делают лидеры рынка

Siemens подчеркивает наличие открытых API и низкокодowych инструментов интеграции как одного из своих конкурентных преимуществ в PLM-контуре. В оценке ABI Research PLM-систему Siemens Teamcenter выделяет именно поддержка концепции цифровой нити, открытые интерфейсы и широкая связность с ERP, MES, QMS, WMS, IoT и другими системами³.

PLM-система PTC Windchill последовательно позиционируется как среда с развитой поддержкой данных от множества различных CAD-систем, включая работу не только с собственными инструментами, но и с широким набором популярных механических CAD-систем. Это отражает реальную потребность рынка в постепенной цифровой трансформации без полной одномоментной замены всего инженерного стека⁷.

Облачная платформ Hexagon Nexus акцентирует внимание на сильной интероперабельности с собственными и сторонними платформами, а также на различных режимах обмена данными — от обмена файлами до работы почти в реальном времени. Это хороший пример того, что новая генерация инженерных платформ строится вокруг идеи открытой интеграции¹².

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Одним из ключевых технологических критериев зрелости отечественного ПО должна стать межсистемная совместимость: поддержка нейтральных форматов, открытых API, сценариев использования множества CAD/CAE-

систем, интеграции с ERP/MES/BIM/IIoT и защищенной миграции данных с исторических систем^{3,7,12}.

1.7. Расширенное моделирование и симуляция (CAE, MM, CDS, ECAD/EDA)

- Сдвиг к многофизическому, многодоменному моделированию: совмещение прочности, тепла, электромагнетизма, акустики, гидродинамики и управления в единой среде.
- Активное использование редуцированных моделей и суррогатного моделирования (в том числе ML-моделей) для быстрых расчетов, встраиваемых в цифровые двойники и контуры управления.
- Углубление интеграции ПО классов CAE/MM с ПО классов CAD, CAPP, CAM, ECAD/EDA и SPDM, включая автоматическую постановку типовых расчетов при изменении конструкции²¹.

Что делают лидеры рынка

Ansys делает ставку на многофизическое моделирование по широкому спектру явлений (прочность, CFD, тепло, электроника, оптика, материалы) и активно связывает ее с системным моделированием и цифровыми двойниками. В последних версиях Ansys поддерживаются мультифизические сценарии на уровне систем охлаждения и термомеханики электроники, нелинейной прочности, оптики и пр., при этом расчеты ускоряются за счет использования графических процессоров GPU и облачных вычислений.

Для ускорения расчетов Ansys системно развивает направление использования редуцированных моделей (ROM - reduced-order modeling). ROM-модели строятся по результатам высокоточных симуляций и используются для цифровых двойников и ИИ/ML-обучения; в версии 2025 R1 был добавлен скриптуемый Python-интерфейс для работы с ROM. Это позволяет выполнять тысячи вариантов за минуты и встраивать суррогатные модели в системные симуляторы и цифровые двойники.

Siemens в линейке Simcenter объединяет структурный анализ, методы вычислений в гидрогазодинамике CFD (Computational Fluid Dynamics), акустику, тепловые задачи, системы и испытания в одном портфеле, подчеркивая «сквозную» многофизику от компонента до системы. На уровне цифровой нити Simcenter тесно связан с NX и Teamcenter, что позволяет автоматически поднимать расчетные задачи из CAD/PLM и сохранять результаты в общую среду данных.

Отдельное направление - Simcenter Reduced Order Modeling: это платформа для построения редуцированных ROM-моделей из результатов симуляций и испытаний с использованием методов от классических методов уменьшения размерности моделей MOR (Model Order Reduction) до нейросетей и машинного обучения. Предоставляются готовые инструменты (wizard) для импорта данных, выбора метода, обучения и экспорта ROM,

которые можно вкладывать в другие модели, использовать в реальном времени или передавать поставщикам/заказчикам как быстрые суррогаты.

Dassault Systèmes в SIMULIA Dassault объединяет Abaqus (общая многофизическая система, использующая анализ методом конечных элементов FEA - Finite Element Analysis), CST Studio Suite (3D ЭМ-моделирование), инструменты расчетов в области механической усталости, Tosca и Isight (оптимизация и автоматизация). Такое сочетание позволяет строить многофизические цепочки «прочность-флюиды-тепло-электромагнетизм-усталость» и автоматически исследовать варианты конструкции и режимов.

Isight и Execution Engine используются для автоматизации процессов расчетов: постановка параметрических серий, методология планирования экспериментов DOE (Design of Experiments - используется для повышения эффективности проектирования и оптимизации процессов за счёт комбинирования симуляций с аналитическими методами), оптимизаций и мультидисциплинарных сценариев, что по сути является промышленной реализацией автоматической постановки и повторного проведения типовых расчетов. В новых версиях системы CST (высокопроизводительный пакет программного обеспечения для трехмерного электромагнитного (ЭМ) анализа от компании Dassault), и других продуктов добавляются улучшения по производительности и многодоменной ко-симуляции, в том числе для сложных задач в области электромагнетизма.

Hexagon через MSC Software и Cradle развивает линейку многодоменных решателей (Nastran, Marc, Actran, Cradle CFD) и платформу Nexus как облачной «прослойки» для запуска большого числа симуляций параллельно. Cradle позиционируется как CFD-пакет для расчетов в гидрогазодинамике с многофизическим уклоном (тепло + флюиды + сопряжение со структурной механикой), а Nexus Compute позволяет массово параллелить такие задачи в облаке с моделью оплаты за фактически потребленные ресурсы.

Hexagon фокусируется на ко-симуляции механики и течений (Cradle + MSC Nastran/Marc) и на вынесении расчетов в масштабируемую облачную среду, что фактически создает инфраструктуру для быстрой прогонки множества вариантов и построения на их основе суррогатных и ROM-моделей в портфеле цифровой нити.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Необходимо увязывать развитие отечественных CAE-систем и ММ-пакетов математического моделирования с задачами создания цифровых двойников и высокоуровневого управления, а не только к «офлайн-расчетам».
- В области ПО для инженерных расчетов и математического моделирования необходимо поддерживать создание ИТ-систем, которые совмещают методы классической математики и ML-подходов, основанных на машинном обучении (например методов, которые объединяют принципы физики с методами машинного обучения для повышения точности и

интерпретируемости предсказательных моделей - physics-informed ML и др.).

1.8. Эволюция CAD/ECAD/EDA/BIM как платформ проектирования

- Усиление роли 3D-моделей как «источников истины»: переход к подходу, который получил название Model-Based Definition (MBD), т.е. «определение на базе модели» или «модельно-ориентированное проектирование» (МОП) - нанесение размеров, допусков и требований непосредственно в 3D модель, отказ от части чертежей. Это подход к проектированию и производству, при котором 3D-модель изделия становится основным источником информации для определения его характеристик и требований к изготовлению. Вместо традиционных 2D-чертежей все необходимые данные встраиваются непосредственно в 3D-модель, что упрощает процесс проектирования, производства и контроля качества.
- Развитие специализированных CAD-систем: для композитов (CDS), оптики (OCAD), радиоэлектроники (ECAD/EDA), трубопроводов, кабельных сетей и др., с глубокими отраслевыми библиотеками и встроенными расчетами.
- BIM/ТИМ как обязательный стандарт для значимой части объектов строительства и инфраструктуры, расширение в сторону эксплуатации и интеграции с городскими цифровыми платформами и ГИС.

Что делают лидеры рынка

Siemens продвигает модельно-ориентированное проектирование МОП в NX как штатный режим работы: размеры, допуски и технологические требования наносятся непосредственно на 3D-модель, которая становится «единственным источником истины» для конструкторской документации и производства. Отдельно подчеркивается сокращение времени на оформление чертежей и встроенная проверка корректности MBD-данных. В портфеле NX есть развитые специализированные приложения для композитов (проектирование слоистых структур, раскладка слоёв, стыки, выход на расчеты), трубопроводов, кабельных жгутов и кабельных сетей, что позволяет моделировать не только геометрию, но и технологию укладки/монтажа в общей 3D-среде.

Dassault развивает MBD/МОП через CATIA / 3DEXPERIENCE: 3D-аннотации, PMI (Product and Manufacturing Information - информация о продукте и производстве), допуски и требования становятся частью модели, которая затем используется в последующих процессах: САМ-системах создания программ для станков с ЧПУ, СММ-системах (КИМ – координатно-измерительных машинах), сборке, контроле. Т.е. эта информация не переводится вручную в чертежи: это встроено в общую PLM-логику ENOVIA. Для специализированных задач CATIA предлагает отдельные отраслевые ролевые приложения: композиты (формирование пакетов, раскрой, укладка; активно используется в авиастроении и автопроме), кабельные сети и жгуты,

трубопроводы, а также модули для оптико-механических систем и интеграции с ECAD/EDA-средствами (совместная трассировка, согласование корпусов и плат и т.д.)

Autodesk продвигает подход к MBD/МОП в машиностроении через Inventor и Fusion (PMI-аннотации, ассоциативные размеры, 3D-документация) и перенос этой информации в САМ и контроль, а в строительстве - через BIM-модель как носитель полного набора эксплуатационной информации. В сфере специализации Autodesk фокусируется на CAD/CAE для архитектуры и инфраструктуры (BIM), а также на ECAD-связке через сторонние и партнерские интеграции, тогда как нишевые отраслевые CAD для композитов и оптики чаще закрываются экосистемой партнеров (включая специализированные САМ/CAE-модули).

Ansys сам по себе не является классическим MCAD-поставщиком, но активно развивает специализированные CAD/пред-процессоры вокруг симуляции: Motor-CAD для электромашин (электромагнетизма + тепло + механика в одной среде), специализированные средства подготовки геометрии и интеграции с MCAD (ALinks) и мощные ECAD/EDA-интеграции. Через партнеров и отраслевые решения используются специализированные CAD для электроники (платы, корпуса) и мехатроники, а MBD-информация из сторонних CAD (NX, CATIA и др.) подтягивается в Ansys как часть общей модели для многофизического анализа и оптимизации.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Необходимо поддерживать российские разработки не только в области «универсальных» машиностроительных САПР (MCAD), но и отраслевые вертикальные решения CAD/ECAD/EDA/BIM с глубоким функционалом.
- При этом необходимо сохранять совместимость и обмен данными между вертикальным отраслевыми и специфическими нишевыми решениями через технологии PLM и цифровых двойников.

1.9. Усиление роли BIM/АЕС и сближение инженерного и инфраструктурного контуров

Хотя BIM/АЕС долгое время воспринимались как отдельный сегмент, мировой рынок движется к сближению проектирования изделий, производственных систем и инфраструктурных объектов через общие принципы датацентричного управления, облачных платформ, цифровых двойников и искусственного интеллекта^{8,10,15}. Это особенно важно для сложных промышленных объектов, где жизненный цикл изделия, производственной линии, здания и инженерной инфраструктуры фактически пересекаются^{10,11}.

Что делают лидеры рынка

Autodesk наиболее последовательно показывает это сближение в стратегии Forma: одна облачная среда должна связывать планирование, BIM-

проектирование, управление данными, строительство и эксплуатацию. При этом цифровой двойник на базе Tandem выступает продолжением BIM-модели, а не отдельным внешним слоем^{8,9,10,11}.

Dassault Systèmes продвигает общую логику виртуальных двойников и иммерсивных технологий применительно не только к изделиям, но и к процессам, системам и пространственным объектам, что делает платформу релевантной также для инфраструктурных сценариев^{4,16}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- При развитии отечественного инженерного ПО важно не разводить жестко машиностроительный и инфраструктурный треки. Напротив, стоит поддерживать общие платформенные технологии управления данными, моделями, цифровыми двойниками и совместной работой, на базе которых могут строиться как PLM/CAD/CAE-решения, так и BIM/AEC/ТИМ-системы^{8,10,15}.

1.10. Виртуальная и дополненная реальность (VR/AR/MR) в инженерном контуре

В мировой повестке технологии виртуальной, дополненной и смешанной реальности (VR/AR/MR) перестают быть «демонстрационным дополнением» и становятся практическим инструментом проектных ревью, проверки собираемости изделий, эргономического анализа, обучения, сопровождения монтажных работ и работы с цифровыми двойниками^{4,16}. Эти технологии особенно важны там, где стоимость ошибки высока, а объект структурно сложен, пространственно насыщен и сложен для визуализации: авиация, машиностроение, энергетика, судостроение, капитальное строительство и инфраструктура^{4,10}.

- Расширяется применение технологий виртуальной и смешанной реальности VR/AR для совместных дизайн-ревью, решения задач в области эргономики, проверки сборки/монтажа, планирования строительства и обучающих симуляторов³⁴.
- Интеграция VR/AR-клиентов напрямую с PLM, BIM-системами, системами цифровых двойников для работы с «живой» моделью, а не с экспортированными статичными файлами.
- Использование AR в производстве и обслуживании для интерактивных инструкций, электронных руководств эксплуатации изделий ИЭТР/ИЕТМ, подсказок по ремонту и диагностике.

Что делают лидеры рынка

Dassault Systèmes включает технологии виртуальной, дополненной и смешанной реальности (VR/AR/MR) в состав своей платформенной стратегии и напрямую увязывает их с виртуальными двойниками и ИИ. Это показывает, что иммерсивность рассматривается не как отдельный рынок, а как форма

взаимодействия с данными и моделями внутри общей инженерной платформы⁴.

Siemens в публичных материалах по цифровому производству и цифровой нити подчеркивает роль иммерсивной инженерии и человеко-ориентированных 3D-моделей при планировании сборочных процессов и рабочих мест, в том числе с использованием ИИ-поддержки^{17,18}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Для отечественного ПО технологии виртуальной, дополненной и смешанной реальности (VR/AR/MR) имеет смысл развивать не как самостоятельные решения, а как встроенный способ взаимодействия с PLM, CAD/BIM, цифровыми двойниками, ИЭТР/ИЕТМ и технологической подготовкой производства^{4,17}.
- Необходимо учитывать поддержку технологий VR/AR/MR как важный элемент оценки зрелости PLM, BIM-платформ, платформ цифровых двойников и систем ИЭТР/ИЕТМ при расстановке приоритетов между проектами
- Необходимо стимулировать совместимость VR/AR/MR-решений с российским инженерным ПО и эксплуатационными системами.

1.11. Автоматизация технологической подготовки, производства и сервисного контура (CAPP, CAM, ИЭТР/ИЕТМ, SCM-системы управления себестоимостью)

- Рост уровня автоматизации CAPP/CAM: авто-генерация управляющих программ, оптимизация траекторий и режимов резания, учет фактического состояния станков и инструмента.
- Цифровизация сервисного контура: автоматизированная подготовка интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР/ИЕТМ), использование структурированных данных об изделиях в PLM-системах, системах цифровых двойников, адаптация документации под конфигурацию конкретного изделия.
- Инструменты SCM-систем управления себестоимостью продукции/изделий, встроенные в PLM/ERP, для оценки себестоимости на ранних стадиях проектирования и сквозной экономической оптимизации решений.

Что делают лидеры рынка

Siemens развивает связку NX CAPP/CAM + Teamcenter Manufacturing как сквозную платформу технологической подготовки: автоматизированный выбор оснастки и режимов, генерация управляющих программ (УП), проверка на цифровом оборудовании, управление маршрутами и техпроцессами в PLM, вплоть до передачи в MES. В сфере сервисного контура компания делает ставку на интеграцию эксплуатационной документации и интерактивных руководств в PLM и SLM-модули управления жизненным циклом сервисного

обслуживания (Service Lifecycle Management), связывая ИЭТР/IETM с конфигурацией конкретного изделия и цифровым двойником.

Dassault через DELMIA развивает CAPP/CAM/MPM-технологии как часть 3DEXPERIENCE: моделирование операций, ресурсов и потоков, виртуальная отладка линий, автоматизированная генерация УП и планов сборки, тесно связанная с CATIA и ENOVIA. В сервисном и стоимостном контуре реализуются инструменты ILS/SLM и PCM: планирование технической поддержки, управление эксплуатационными данными и расчет полной стоимости жизненного цикла изделия на базе единой PLM-модели, что позволяет оптимизировать конструкцию и техпроцессы не только по техническим, но и по экономическим критериям.

PTC использует Creo с модулями NC/CAM и Windchill MPMLink для управления техпроцессами, маршрутами, оснасткой и ресурсами, обеспечивая сквозную интеграцию между конструкторской моделью, технологической подготовкой и производством. В экосистеме PTC развиваются решения для сервисного контура (Service Lifecycle Management, интеграция с IoT-платформой), где эксплуатационные данные и ИЭТР/IETM связываются с PLM, а блоки управления себестоимостью и модуль контроллинга в ERP используются для расчета плановой и фактической себестоимости, анализа отклонений и поддержки управленческих решений.

SAP и другие крупные ERP-платформы не делают CAPP/CAM, но закрывают ключевой пласт PCM: модули контроллинга (информационно-аналитическая поддержка процессов принятия решений и контроль за эффективностью работы) и управления затратами позволяют формировать плановую и фактическую себестоимость продукции, анализировать отклонения и пересчитывать себестоимость при изменении производственной программы. В ряде внедрений (например, сталеплавильное производство) модуль контроллинга SAP R/3 описывается как центральный инструмент управления себестоимостью, интегрированный с производственными данными и используемый руководством для оперативного управления программой выпуска.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Необходимо отдавать приоритет проектам, в которых обеспечена интеграция между такими системами, как CAD/CAE/PLM, CAPP/CAM, MES, сервисные системы, включая единые модели ресурса и себестоимости.
- Приоритизировать форматы и стандарты структурированной техдокументации (методы и принципы, схожие с концепцией стандарта S1000D, который представляет собой международную спецификацию для производства технической документации с использованием общей базы данных).

1.12. Облачные и гибридные архитектуры инженерного программного обеспечения

Инженерное ПО ускоренно переходит к облачным и гибридным моделям развертывания. При этом речь идет не только о переносе интерфейсов в браузер, но и о пересборке архитектуры в сторону масштабируемых и высокопроизводительных вычислений, совместной работы, распределенного доступа к моделям и данным, а также о переносе тяжелых расчетов и аналитики в облачную инфраструктуру^{4,13,14}.

- Происходит расширение использования моделей облачного и гибридного развертывания ИТ-систем классов PLM, CAD/CAE, BIM, SPDM, платформ цифровых двойников, включая web-клиенты, аренду мощностей и сервисную модель.
- Одновременное усиление требований к edge-решениям для цифровых двойников, САМ, систем реального времени, когда расчёты и аналитика выполняются максимально близко к оборудованию.
- Контейнеризация, микросервисы, DevOps/DevSecOps-подходы для быстрой эволюции сложных инженерных платформ.

Комментарий: DevOps (Development & Operations — разработка и эксплуатация) — это организационная методология и культурная философия, которая объединяет команды разработки (Dev) и эксплуатации (Ops). Её цель — ускорить доставку ПО, повысить его качество и сократить число ошибок. DevSecOps (Development, Security, Operations — разработка, безопасность, эксплуатация) — это расширение DevOps, которое добавляет акцент на безопасность. Его цель — интегрировать безопасность в каждый этап жизненного цикла разработки ПО (SDLC).

Что делают лидеры рынка

Dassault Systèmes строит 3DEXPERIENCE как масштабируемую облачную платформенную инфраструктуру для работы с данными, ИИ, моделированием и совместной инженерией. В описании стратегии подчеркивается, что платформа выступает не просто как хранилище, а как защищенный и масштабируемый центр знаний, поддерживающий ресурсоемкие ИИ- и симуляционные приложения⁴.

Autodesk развивает Forma как облачную, интегрированную и сквозную платформу для управления строительными проектами, которая объединяет различные инструменты и данные в единой среде, изначально со встроенными ИИ-инструментами для проектирования, и этапов строительства и эксплуатации. Особое значение имеет двусторонняя связь облачного контура Forma с настольными системами вроде для BIM-проектирования зданий Revit, что хорошо демонстрирует переход к гибридной модели «облако + тяжелые профессиональные клиенты»^{8,9,15}

Ansys делает ставку на использование вычислительных мощностей в облаке для инженерных расчетов, что позволяет просчитывать большое

количество вариантов проектных решений за короткое время, а также на использование GPU-ускорения и высокопроизводительных вычислений для цифровой инженерии^{13,14}.

Hexagon строит облачную платформу цифровой реальности Nexus на сочетании собственных технологий с облачными технологиями и технологиями искусственного интеллекта Microsoft, делая упор на быстрое развертывание интеграционных и аналитических сценариев по всей производственной цепочке¹². В частности, в платформе реализованы решения для анализа трендов метрологических данных, решения для оптимизации проектирования процессов аддитивного производства, приложение на основе машинного обучения, которое прогнозирует характеристики новых материалов до их изготовления, а также облачное приложение для управления данными о материалах.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Отечественные решения должны изначально разрабатываться под гибридную архитектуру: локальное развертывание для критичных и режимных контуров, отечественные облака для совместной работы и аналитики, а также поддержка распределенных расчетов и общей среды данных, а также решения, которые поддерживают граничные вычисления (edge)^{4,8,13}.
- Встраивать требования к DevSecOps и контейнеризации в методические рекомендации и критерии отбора ПО.

1.13. Безопасность, доверие и суверенитет инженерных данных

- Рост значимости кибербезопасности, контроля доступа и сквозной аутентификации в ИТ-решениях таких классов, как PLM, BIM, цифровые двойники и другие, особенно в условиях распределенных цепочек кооперации.
- Особо внимание вопросам цифрового суверенитета: локализация хранения и обработки инженерных данных, отказоустойчивость при отключении иностранных компонентов.
- Появление требований к прослеживаемости изменений и доказуемости целостности моделей/документации (аудит, электронные подписи, доверенные среды).

Что делают лидеры рынка

Крупные вендоры инженерного ПО (Siemens, Dassault Systèmes, PTC, Autodesk и др.) в части кибербезопасности в первую очередь делают ставку на сквозную корпоративную аутентификацию и управление ролями. Они поддерживают интеграцию с корпоративными каталогами и технологиями единого входа SSO (single sign-on) (AD/LDAP, SAML/OAuth/OIDC), чтобы все PLM/CAD/CAE/BIM-сервисы использовали единые учетные записи, многофакторную аутентификацию и централизованное управление ролями и

группами; права доступа задаются по ролям (RBAC/ABAC) и в соответствии с единой для организации политикой безопасности, а не локально в каждом приложении.

Вторая ключевая линия — жесткое разграничение доступа и аудит действий: в платформах реализованы политики на уровне объектов данных (проекты, изделия, конфигурации, версии, документы), ведется детальный журнал действий пользователей и администраторов, усиливаются требования к проверке актуальности и обоснованности прав доступа. Параллельно вендоры подтягивают практики из мира ИБ и DevSecOps: безопасные протоколы и шифрование, сегментация сетей (особенно при связке с АСУ ТП/Иот), ограничения удаленного доступа, управление привилегированными учетными записями и регулярный контроль уязвимостей, что постепенно становится де-факто стандартом и для инженерных платформ.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Необходимо встроить критерии суверенитета и безопасности в базовые требования к поддерживаемым архитектурам и стекам базовых технологий, на которых построено российское инженерное ПО (СУБД, ОС, облака, криптосредства).
- Необходимо поддерживать развитие средств аудита и юридически значимого управления инженерной информацией.

1.14. Платформенность, экосистемность и маркетплейсы инженерных приложений

- Превращение платформ инженерного ПО, особенно таких классов как PLM или цифровые двойники, в **экосистемы** с маркетплейсами модулей, отраслевых надстроек, библиотек, ML-моделей, коннекторов.
- Расширение открытых SDK и низкокодowych средств для создания специализированных приложений поверх базовых платформ.
- Формирование сообществ разработчиков и партнеров вокруг платформ, а не только «закрытых» вертикальных решений.

Что делают лидеры рынка

Siemens развивает Teamcenter и связанный стек как открытую экосистему цифровой нити: платформа имеет развитые API, коннекторы к CAD/CAE/MES/ERP, а также набор отраслевых решений, создаваемых партнерами и интеграторами. Вокруг Teamcenter и портфеля цифровых двойников формируется сообщество партнеров и отраслевых разработчиков ПО, которые выпускают специализированные модули, надстройки и обеспечивают интеграцию с другими решениями, а сами продукты позиционируются как основа для построения решений, а не только как «коробка».

Dassault строит 3DEXPERIENCE как маркетплейс ролей и отраслевых приложений: к базовой платформе подключаются десятки отраслевых

приложений для различных ролей пользователей (role-based apps) и партнерских решений, включая вертикальные решения для авиастроения, транспорта, промышленного оборудования, строительства. В рамках стратегии виртуальных двойников платформа предоставляет единый магазин приложений и API для сторонних разработчиков, формируя сообщество партнеров вокруг общей модели данных и сервисов визуализации, симуляции и аналитики.

PTC позиционирует Windchill и IoT-платформу ThingWorx как ядро экосистемы цифровой нити, куда подключаются как собственные продукты (Creo, Codebeamer и др.), так и партнерские решения. Для ThingWorx и PLM-платформы доступны SDK, расширения, шаблоны приложений и коннекторы, что позволяет партнерам создавать отраслевые модули, интерфейсы цифровых двойников и прикладные сервисы машинного обучения поверх базового стека PTC.

SAP строит экосистему цифровых двойников на основе SAP Business Technology Platform, SAP Asset Intelligence Network и интеграции с PLM/ERP/SCM-модулями. Партнеры и независимые разработчики могут публиковать отраслевые приложения, коннекторы к оборудованию, аналитические и ML-модели в каталоге SAP Store, что превращает SAP-стек в платформу для построения отраслевых решений по управлению жизненным циклом активов и цифровым двойникам.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Необходимо отдавать предпочтение и проектировать отечественные платформы ПО (PLM, CAD, CAE, BIM и др.) как экосистемы с поддержкой сторонних разработчиков.
- Встраивать в меры поддержки требования к открытым SDK, API и документации.

1.15. Отраслевая специфика PLM/PDM-систем

Раздел содержит краткое описание отраслевой специфики PLM/PDM-систем и глобальных технологических трендов их развития в семи отраслях, которые имеют существенную специфику в сравнении с «классическим» машиностроительным производством: судостроение, металлургия, химия, фармацевтика, электроника и микроэлектроника, легкая промышленность, пищевая промышленность. Дополнительно приведены краткие обзоры того, что делают лидирующие разработчики соответствующих классов ПО для реализации этих трендов, с акцентом на Siemens, Dassault Systèmes, PTC, Aras, Oracle Agile PLM for Process, Arena и специализированные отраслевые PLM-решения^{35,37,41,44,57}.

Во всех рассматриваемых отраслях PLM/PDM постепенно развиваются от систем хранения данных и управления изменениями к платформам сквозной цифровой нити, которые соединяют требования, состав изделия или продукции, рецептуры, технологические маршруты, качество, нормативное

соответствие, данные цепочки поставок и эксплуатационную обратную связь^{37,40,41,59}. При этом отраслевая специфика все сильнее определяется не только типом изделия или продукции, но и типом нормативной среды: для дискретного машиностроения критичны конфигурационное управление и модульность, для процессных отраслей - рецептуры, прослеживаемость партий, сертификация и управление качеством^{38,44,50,52}.

PLM/PDM-системы в разных отраслях все меньше различаются только по интерфейсу и все больше — по типу управляемого объекта: судно, материал, формула, препарат, электронное изделие, коллекция или рецептура. Именно тип объекта, уровень нормативной нагрузки, глубина кооперации и связь с системами управления качеством и производством определяют отраслевую специфику PLM/PDM и направления их эволюции^{38,49,54,57}.

Глобально рынок движется к трем большим моделям. Первая - дискретная конфигурационная PLM-модель для сложных изделий и программ, вторая - PLM для процессных отраслей с функционалом по работе с формулами, рецептурой, спецификациями, третья - отраслевые специализированные PLM-платформы для сегментов с быстрыми циклами, вроде индустрии моды или производства продуктов питания. Во всех случаях усиливаются цифровая нить, прослеживаемость, управление изменениями, качество, нормативное соответствие и интеграция с производственными и цепочечными системами^{37,40,50,57,59}.

Судостроение

Для судостроения PLM/PDM-системы должны управлять чрезвычайно сложной иерархией состава изделия, длительными программами строительства, кооперацией большого числа поставщиков и верфей, а также параллельным ведением проектирования корпуса, насыщения, кабельных трасс, трубопроводов, оборудования и производственной подготовки^{35,38,39}. Ключевые мировые тренды здесь - переход к цифровому судну как единой конфигурационной модели, интеграция специализированных судостроительных CAD с PLM, управление междисциплинарными изменениями, цифровая нить от проектирования к закупкам и производству, а также поддержка жизненного цикла обслуживания флота^{35,36,39}.

Siemens развивает PLM for Shipbuilding на базе Teamcenter и связанный инженерный стек как средство целостной оптимизации проектирования, строительства и сервисной поддержки судов. Компания делает акцент на общей среде взаимодействия, синхронизации работ, управлении цифровой нитью и связывании ПО для проектирования судов и специфического ПО управления верфями в едином контуре^{35,40}.

Aras (американская компания, специализирующаяся на разработке программного обеспечения для управления жизненным циклом продуктов) продвигает судостроительную PLM-систему как платформу для управления

требованиями, программами, изменениями и обменом данными с поставщиками в крупных морских и оборонных программах. Особый акцент делается на безопасном обмене данными в кооперации, управлении контрактными требованиями и адаптивности платформы под сложные программы строительства флота^{38,48}.

В экосистеме рынка также заметна практика соединения специализированных судостроительных CAD-систем, например AVEVA Marine, с корпоративными PLM-платформами, в том числе Teamcenter, через нейтральные интеграционные слои. Это отражает общий тренд отрасли: PLM становится системным «хребтом» проекта, а специализированные судостроительные средства проектирования подключаются к нему как источники инженерной модели³⁹.

Металлургия

Для черной и цветной металлургии, включая добычу, обогащение, выплавку, прокат и выпуск конечных металлических изделий, специфика PLM/PDM заключается в более тесной связи с процессным производством, управлением рецептурой шихты и сплавов, качеством, паспортами продукции, техрегламентами и прослеживаемостью сырья и полуфабрикатов^{56,63}. В этой отрасли PLM чаще развивается не как чисто «конструкторская» система, а как часть более широкой цифровой нити, объединяющей материалы, рецептуры, нормативные характеристики, испытания, качество, лабораторные данные и производственные ограничения^{38,40}.

Глобальные тренды включают создание единого цифрового описания материала и продукции, управление спецификациями и требованиями клиента, интеграцию с LIMS, MES и SCM-системами, а также усиление роли устойчивости цепочек сырья и комплаенса по материалам и примесям. Для предприятий полного цикла возрастает значение управления качеством и происхождением материалов на всем пути от сырья до готового металлоизделия^{38,51,59}.

Siemens продвигает Xcelerator и Teamcenter как платформу, способную связывать инженерную, производственную и эксплуатационную среду, включая аналитику полного цикла от разработки к производству и обратно. Для металлургии это важно в контексте сквозного управления материалами, качеством, технологическими маршрутами и производственными ограничениями в единой цифровой среде⁶.

Dassault Systèmes через ENOVIA и 3DEXPERIENCE делает ставку на интеграцию продуктового определения, списка материалов BOM (Bill of Materials), изменений, качества и нормативного соответствия. Для металлургических и интенсивных с точки зрения использования материалов отраслей особенно значимы возможности Materials Compliance Central (продукт из портфеля решений ENOVIA, предназначенный для управления соответствием продукции экологическим нормам), сценарного анализа

соответствия требованиям и повторного использования соответствующих нормативов компонентов и материалов в сложных цепочках поставок^{41,42,51}.

Aras представляет интерес как гибкая PLM-платформа для сценариев непрерывного производства, для которых характерно интенсивное использование материалов, где требуется связать документы, требования, формулы, поставщиков, качество и изменения в едином объектном контуре. Такая логика особенно применима к металлургии, где спецификация материала часто важнее чисто геометрического описания изделия^{47,59}.

Химия

В химической отрасли, включая удобрения, пластмассы, полимеры, композиты и иную химическую продукцию, PLM/PDM должно управлять прежде всего формулами, рецептурами, технологическими параметрами, регуляторными ограничениями, паспортами безопасности, испытаниями, качеством и изменениями сырья^{50,52}. В отличие от дискретных отраслей здесь критична не геометрия изделия как таковая, а управление составом, свойствами, допусками, условиями производства и соответствием веществ и продукции требованиям разных рынков^{52,56}.

Ключевые мировые тренды — переход к PLM-системам, которые ориентированы на работу с химическими формулами и спецификациями, интеграция PLM с лабораториями и производством, оценка влияния изменения сырья и упаковки, управление устойчивостью и экодизайном, а также автоматизация регуляторного анализа по веществам и ограничениям^{50,51,52}.

Oracle в Oracle Agile PLM for Process исторически развивает именно процессный PLM-подход для химии, пищевой отрасли и других рецептурных производств. В функциональности решения выделяются трассировка продуктов, затронутых изменением рецептуры или упаковки, интеграция разработки рецептуры и маркировки, автоматизированный контроль соответствия требованиям и средства быстрой оценки влияния изменений на связанные продукты и рынки⁵⁰.

Aras продвигает специализированную под химическую промышленность PLM-систему как платформу для управления формулами, документами, требованиями и платформу для кросс-функциональных рабочих процессов между R&D, качеством, регулаторикой, производством, закупками и поставщиками. Это хорошо соответствует современному тренду на объединение химических формул, документов и процессов изменений в одном цифровом контуре^{52,48}.

Dassault Systèmes через ENOVIA и решения по контролю соответствия материалов требованиям предлагает инструменты для оценки соответствия веществ, управления декларациями поставщиков и анализа влияния новых ограничений на продуктовый портфель. Для химии и композитных материалов это важно в контексте REACH-подобных требований и контроля опасных веществ на всем жизненном цикле продукта^{42,51}. *Комментарий: REACH-подобные требования — это нормативные положения, которые схожи с*

положениями регламента REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) — нормативного акта Европейского союза, регулирующего обращение химических веществ.

Фармацевтика

Для фармацевтики специфика PLM/PDM определяется жесткой нормативной средой, необходимостью полного аудиторского следа, управлением рецептурой и составом, вариативностью упаковки и маркировки по рынкам, а также тесной связью разработки, качества, валидации, серийного производства и прослеживаемости^{44,45,49}. В этой отрасли PLM/PDM фактически сближается с QMS-системами контроля качества и регуляторным управлением, поскольку для вывода продукта на рынок критичны контроль версий, изменения, электронные подписи, история документации и управляемая связь между продуктовой записью и качеством^{44,45}.

Глобальные тренды включают сближение систем PLM и QMS, сквозную прослеживаемость состава, упаковки и серий, управление соответствием нормативным требованиям, а также интеграцию с производством, поставщиками, сервисами сериализации и процессами отслеживания используемых компонентов^{44,45,49}.

PTC Arena является одним из наиболее показательных лидеров в этой области за счет объединения облачных PLM и QMS-систем. Arena прямо позиционирует решение как средство обеспечения соответствия нормативным требованиям США и других требований, связывая список материалов BOM, изменения, документы, процессы корректирующих, предупреждающих действий, подготовки отчетов о несоответствии, аудиты, возвраты изделий и электронные подписи в едином продуктово-качественном контуре^{44,45}.

Dassault Systèmes ENOVIA делает акцент на процессах контроля, обеспечения соответствия требованиям, контроле качества и связи с более широкой 3DEXPERIENCE-платформой, включая проектирование, моделирование и производство. Для фармацевтики и науках о жизни важна именно такая интеграция - не изолированный документооборот, а единая управляемая среда разработки, соответствия и изменений^{41,42,43}.

Siemens используется в фармацевтической промышленности и контуре науки о жизни как часть более широкой цифровой нити, соединяющей отслеживаемость, разработку, производство и цепочки поставок. Практика интеграции решений по отслеживанию компонентов Siemens и SAP показывает, что лидеры рынка стремятся связать PLM/PDM не только с разработкой, но и с полным контуром серийного производства и прослеживаемости¹⁵.

Электроника и микроэлектроника

В электронике и микроэлектронике PLM/PDM должно управлять сверхбыстрыми циклами изменений, сложными составами изделия, интеграцией с MCAD и ECAD/EDA-системами, жизненным циклом

компонентов, соответствием требованиям по веществам, экспортному контролю, а также связью аппаратной части, встроенного ПО и производства^{37,40,44}. Для этой отрасли характерны частая смена компонентов, риски устаревания элементной базы, многоконфигурационные BOM, тесная связь с поставщиками компонентов и необходимость прослеживаемости изменений на уровне каждой позиции^{10,17}.

Глобальные тренды включают усиление цифровой нити между механикой, электроникой и программным обеспечением, управление соответствием RoHS/REACH и экспортным ограничениям, интеграцию с внешними компонентными базами, а также переход к более гибким, облачным и коллаборативным PLM-средам для быстрых продуктовых циклов^{37,60,44}. *Комментарий: RoHS — директива, которая ограничивает использование определённых опасных веществ в электрическом и электронном оборудовании (EEE). REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) - регламент, который регулирует производство, импорт и оборот всех химических веществ на территории ЕС.*

Siemens - один из наиболее сильных игроков именно в кросс-функциональном проектировании, поскольку платформа Xcelerator интегрирует проектирование в области механических, электрических и электронных систем и мультифизическое проектирование в процесс создания всеобъемлющего цифрового двойника. Для электроники и микроэлектроники это критично: PLM становится основой для согласования механической, электронной и программной частей изделия в одном контуре⁶.

Dassault Systèmes через ENOVIA и функции контроля соответствия нормативным требованиям поддерживает управление списком материалов BOM, изменениями, IP, качеством и нормативным соответствием для высокотехнологичных компаний. Продукт Materials Compliance Central специально ориентирован на высокотехнологичные компании и автомобилестроение, обеспечивая анализ соответствия, анализ по запрещенным веществам и работу с декларациями поставщиков^{42,51}.

PTC Arena сильно представлена в отрасли высокотехнологичного производства электроники благодаря облачным PLM/QMS-системам и интеграции с компонентными базами типа SiliconExpert и Octopart. Компания делает акцент на управлении соответствием нормативам RoHS, REACH, WEEE, Conflict Minerals, ITAR/EAR, а также на прозрачности списка материалов BOM, изменений и событий контроля качества для быстро меняющихся электронных изделий⁴⁴.

Agas интересен здесь как гибкая цифровая нить для сложных изделий с высокой степенью трассируемости требований, версий, BOM и изменений, особенно там, где требуется адаптировать процессы под уникальные корпоративные стандарты и длинные цепочки кооперации^{47,59}.

Легкая промышленность

В легкой промышленности (производство текстиля, одежды, обуви, кожгалантереи, изделий из меха, средств индивидуальной защиты и пр.) PLM/PDM-системы ориентированы не столько на сложную инженерную геометрию, сколько на управление коллекциями, стилями, вариантами, материалами, цветами, техпакетами, поставщиками, календарями вывода коллекций, управление стоимостью и устойчивостью поставок^{57,61,62}. Здесь особенно важны высокая скорость обновления ассортимента, большая номенклатурная вариативность, широкая кооперация поставщиков и одновременное управление дизайном, выбором поставщиков, себестоимостью и нормативным соответствием материалов^{57,61,62}.

Мировые тренды включают переход к PLM-системам, специфическим для сферы торговли и индустрии моды, интеграцию дизайна и информации о сырье и комплектующих, управление устойчивостью и соответствием материалов требованиям, более тесную работу с поставщиками и использование ИИ для ускорения вывода изделий на рынок и повышения прозрачности цепочек поставок^{57,62}.

PTC FlexPLM является одним из наиболее признанных лидеров PLM-систем для розничной торговли. Компания подчеркивает, что FlexPLM рассчитан на индустрию моды, одежды, аксессуаров и обуви, управляет десятками тысяч стилей и товарных единиц (SKU), поддерживает совместную работу корпоративного уровня и соединяет дизайн, мерчандайзинг, процесс поиска и выбора поставщиков, производство и аналитические функции на одной платформе⁵⁷.

В отраслевой экосистеме широко применяются также Centric Software и DeSL, которые позиционируются как оснащенные ИИ-функциями системы и целостные платформы для индустрии моды, предметов роскоши, обуви и торговли различными категориями товаров. Их развитие отражает общий тренд рынка: легкая промышленность переходит к специализированным PLM-платформам, оптимизированным под быстрый выпуск коллекций, глобальную кооперацию и устойчивость поставки материалов⁶².

С точки зрения более общей PLM-логики PTC остается важным игроком и через FlexPLM, и через более широкую PLM-экосистему, показывая, что в легкой промышленности лидируют не универсальные PLM-платформы в чистом виде, а отраслевые решения, глубоко адаптированные под специфику вывода продуктов на рынок^{37,57}.

Пищевая промышленность

Для пищевой промышленности PLM/PDM-системы должны управлять рецептурами, качеством, ингредиентами, упаковкой, маркировкой, аллергенами, нормативным соответствием по рынкам, масштабированием рецептур от лаборатории к производству и прослеживаемостью партий^{53,54,50,63}. Здесь PLM все чаще играет роль связующего звена между R&D, лабораториями, регуляторикой, маркетингом, производством и цепочкой

поставок, а центральным объектом управления становится не деталь или сборка, а рецептура, спецификация и упаковочный вариант^{54,50,63}.

Ключевые мировые тренды - управление жизненным циклом ингредиентов для процесса разработки состава продукта, тестирования, комплаенса и производства, автоматизация процессов составления заявлений на этикетке, отслеживание партий, анализ влияния изменений в рецептуре и других факторов на качество и другие характеристики при изменении сырья или упаковки, а также обеспечение беспрепятственного обмена данными между функциями разработки и производства^{54,50,58}.

Siemens прямо продвигает PLM для пищевой промышленности как средство соединения управления рецептурой, соответствия нормативным требованиям и производства, уменьшения ситуаций, когда требуется перевыпуск продукции из-за проблем с качеством и более надежного масштабирования производства при выводе новых продуктов на рынок. В материалах Siemens подчеркивается, что интегрированное управление жизненным циклом позволяет проводить изменения более согласованно и снижать барьеры между R&D, качеством и производством^{53,54}.

Oracle Agile PLM for Process остается одним из характерных отраслевых примеров процессной PLM для пищевой промышленности. В решении акцентируются функциональные возможности прослеживаемости и комплаенса, интеграция рецептуры и производства маркировки, функционал дашборда для анализа влияния изменений, а также автоматическое определение корректности маркировки по нескольким наборам нормативных правил¹⁶.

Dassault Systèmes демонстрирует фокус на ИИ-приложениях, работе с исходным сырьем и управлением изменениями в упаковке, демократизации работы с данными, нормативному соответствию и единых цифровых процессах для пищевой отрасли. Это показывает движение 3DEXPERIENCE/ENOVIA в сторону более выраженного функционала для непрерывных, процессных производств и работы с формулами производства продукции для отрасли⁵⁸.

1.16. Отраслевая специфика CAD-систем

Раздел содержит краткое описание отраслевой специфики CAD-систем и глобальных технологических трендов их развития в отраслях, которые имеют существенную специфику в сравнении с «классическим» машиностроительным производством: судостроение и легкая промышленность

Отраслевая специфика CAD-систем особенно ярко проявляется в тех секторах, где объект проектирования тесно связан либо с производственным циклом и насыщенной междисциплинарной инженерией, либо с высокой скоростью обновления продуктового ряда и вариативностью изделия. Именно поэтому судостроение и легкая промышленность требуют не просто «универсального CAD», а специализированных сред, в которых отражены

особенности геометрии, состава изделия, подготовки производства, нормативных ограничений и кооперации с поставщиками^{63,64,65,66,78,83}.

При этом в обеих отраслях глобальные тренды состоят в более тесной интеграции CAD с PLM/PDM-систем, цифровыми двойниками, облачными и коллаборативными сервисами, а также в ускорении перехода от проектирования к производству. Различие состоит в том, что в судостроении акцент делается на цифровую непрерывность сложного инженерного объекта и производственную готовность модели, а в легкой промышленности — на 2D/3D-визуализацию, виртуальные образцы, быструю итерацию и сокращение количества физических прототипов^{64,66,67,79,80,82,86}.

Судостроение

В судостроении CAD-система должна поддерживать не только формообразование корпуса, но и детальное проектирование насыщения: трубопроводов, кабельных трасс, воздухопроводов, оборудования, конструкций, отсеков и производственных данных для верфи. В отличие от большинства других отраслей, здесь одна и та же цифровая модель должна быть пригодна как для междисциплинарного инженерного проектирования, так и для подготовки производства, монтажа, закупок и последующего сопровождения судна в период эксплуатации^{63,64,65,66,67}.

Ключевые мировые тренды развития CAD в судостроении включают: переход к единой 3D-модели судна как источнику достоверных данных; интеграцию CAD и PLM-систем; усиление параметрического проектирования и проектирования от общего к частному (top-down-проектирования); автоматизированную выдачу моделей, готовых для использования в производстве; развитие коллаборативной работы между проектантами, верфью, поставщиками и заказчиком; а также переход к концепции цифровой верфи и цифрового судна^{63,64,65,66,72,75}.

Siemens развивает CAD-системы для судостроения на базе NX и Foran как сквозную среду проектирования судов от концепции до выпуска производственной информации. В материалах Siemens подчеркивается, что NX CAD и Foran дают отрасли полный набор CAD-средств для создания изделий от проектирования до производства, то есть акцент смещен от изолированного 3D-проектирования к непрерывной инженерной и производственной модели судна^{64,73}.

AVEVA продвигает Integrated Shipbuilding (комплексное решение от компании AVEVA, предназначенное для оптимизации процессов проектирования, закупок, производства и управления информацией в судостроительной отрасли) и связанный набор решений Hull and Outfitting, E3D Design, Unified Engineering и Unified Operations Center for Marine как наиболее полный интегрированный контур для процессов судостроения. Компания делает ставку на бесконфликтном междисциплинарном проектировании, датацентричном инжиниринге и сквозной видимости информации между верфями и цифровым судном, тем самым связывая CAD,

инженерные данные и операционную среду верфи в единой логике цифровой судостроительной платформы^{65,74}.

Cadmatic занимает сильные позиции как специализированный разработчик CAD-систем для судостроения. Компания фокусируется на поддержке всех стадий проектирования - от концепции и общего проектного решения до детального наполнения судна механическими, электрическими, трубопроводными и другими системами, проектирования корпуса и оболочки судна, проектирования судовых электроэнергетических систем, подготовки документации для производства. Компания также делает акцент на интеграции CAD и PLM, консистентности данных, взаимодействии в реальном времени и пригодности проектировочных решений для производства. Особенно показательно, что в контур Cadmatic включены не только модули Hull (корпус) и Outfitting (наполнение), но и eShare как визуальная коллаборативная среда, а также Wave как сфокусированная на отраслевой специфике судостроения PLM-платформа^{63,66,76}.

В целом лидеры рынка судостроительных CAD движутся к одной модели: специализированная отраслевая CAD-система уже не рассматривается как отдельный инструмент геометрического моделирования. Она становится ядром цифровой инженерной модели судна, связанной с производством, закупками, контролем коллизий, управлением изменениями и эксплуатационной цифровой средой верфи^{64,65,66,74}.

Легкая промышленность

В легкой промышленности CAD-системы ориентированы прежде всего на 2D-конструирование, градацию размеров, раскладку лекал, 3D-визуализацию посадки, виртуальные образцы, моделирование поведения ткани и быстрый обмен данными между дизайном, конструктором, поставщиком и производством. В отличие от тяжелой инженерии, здесь критичны не сложные междисциплинарные сборки, а высокая скорость вывода коллекций, массовая вариативность моделей, частые изменения тканей, цветов и размерных рядов, а также минимизация стоимости и сроков разработки образцов^{78,79,80,81,82,83,86}.

Основные мировые тренды в CAD для легкой промышленности — это переход от чисто 2D-паттернмейкинга к связке 2D/3D, широкое использование виртуальных прототипов и цифровых двойников изделий, сокращение числа физических образцов, реалистичная симуляция ткани, интеграция CAD с PLM и производственными системами, а также совместная работа распределенных команд над единым цифровым изделием. Дополнительно усиливается совместимость между разными CAD/3D-системами для индустрии моды через DXF, OBJ и другие форматы обмена, что отражает зрелость цифровой экосистемы индустрии моды^{67,78,79,80,82,87,89}.

Компания Lectra остается одним из наиболее сильных игроков за счет ИТ-решений Modaris и Gerber AccuMark. Modaris позиционируется как продвинутая система для производителей модных изделий и 2D/3D-

проектирования, которое поддерживает создание базовых и финальных лекал, согласование 3D-прототипов и ускорение процессов разработки продукции. В версиях Modaris последних лет делается упор на совместную работу, бесшовном обмене данными в рамках все цепочки поставок, ускорение предсерийного согласования, одновременную работу в 2D и 3D и более реалистичную виртуальную симуляцию ткани и посадки^{78,79,80,81,88}.

Программное обеспечение Gerber AccuMark, которое после приобретения компании Gerber также входит в стек Lectra, продвигается как специфическая и лидирующая в индустрии моды CAD-система и полностью интегрированный инструментарий CAD-приложений: от формирования концепции до создания изделий. В решении реализован функционал создания шаблонов (выкроек), градуировки (адаптации базовой выкройки под разные размеры), создания маркеров (оптимизация размещения деталей выкройки на ткани для минимизации отходов при раскрое), функционал использования компьютерных технологий для создания и визуализации выкроек в двух- или трехмерном пространстве 2D/3D, а также интеграция с ИТ-решениями компании Gerber Technology - AccuPlan, AccuMark 3D и YuniquePLM (программные решения, используемые в индустрии моды для оптимизации производственных процессов, повышения эффективности и сокращения времени вывода продукции на рынок, которые интегрированы в комплексные цифровые платформы и охватывают весь цикл разработки и производства одежды). Это показывает сближение классического CAD для лекал с цифровой цепочкой разработки коллекции и подготовки производства^{83,84,85}.

Browzwear представляет другой полюс рынка: платформенный подход к цифровой разработке одежды. Компания позиционирует себя как поставщик ПО для создания, визуализации, моделирования и разработки одежды с помощью цифровых технологий, которое помогает компаниям индустрии моды проектировать, производить, продавать продукцию в рамках интегрированных процессов. Особый акцент делается на 3D-симуляции, основанной на физике явлений, цифровых двойниках, ИИ-моделях для проверки посадки по размерному ряду, совместной работе дизайнеров, технических конструкторов и поставщиков вокруг одной 3D-модели, а также интеграции с PLM, ERP-системами и фабриками^{82,90,91}.

В отраслевой экосистеме также устойчиво присутствуют Optitex (CAD-система автоматизированного проектирования, предназначенная для 2D- и 3D-конструирования одежды, оптимизации раскроя и виртуальной примерки американской корпорации Electronics For Imaging), CLO 3D (программный комплекс компании CLO Virtual Fashion для создания трехмерных цифровых прототипов одежды) и другие 3D-среды для отрасли моды, которые часто используются совместно с классическими 2D CAD-системами. CLO 3D, Browzwear, Optitex, Lectra и Gerber рассматриваются как стандартный набор цифровых инструментов для 3D-проектирования одежды и изделий индустрии моды, а совместимость через DXF/OBJ описывается как важный элемент цифрового процесса разработки изделия^{67,71,87,89}.

В легкой промышленности лидеры рынка фактически формируют новую норму: CAD - это уже не только средство построения лекал, а основа цифровой разработки изделия легкой промышленности, где 2D-конструкторская логика, 3D-визуализация, виртуальная примерка, цифровой двойник изделия и связь с PLM/производством объединяются в единый процесс. Именно поэтому главный мировой тренд здесь - это переход от «CAD для конструирования» к цифровой платформе разработки продуктов для индустрии моды, одежды и пр.^{78,82,83,90}.

1.17. Выводы в отношении инженерного ПО

Глобальные технологические тренды в инженерном промышленном программном обеспечении показывают, что мировые лидеры уже ушли от конкуренции отдельными CAD-, CAE- или PLM-продуктами и перешли к конкуренции платформами цифровой инженерии, объединяющими данные, модели, процессы, расчеты, искусственный интеллект и цифровые двойники^{1,4,14}. В этой связи для развития отечественного инженерного ПО наибольшее значение имеют платформизация, датацентричная архитектура, сквозная цифровая нить, интеграция ИИ, поддержка цифровых двойников, открытая интероперабельность и гибридные модели развертывания^{3,8,12}.

Если эти направления будут положены в основу политики, то приоритетами станут не только создание отдельных импортозамещающих аналогов, но и формирование отечественных платформенных экосистем, способных обеспечить цифровую непрерывность жизненного цикла изделия и интеграцию инженерного контура с производством, логистикой, сервисом и эксплуатацией^{2,4,14}.

Подводя итог этому разделу, если ориентироваться на ближайшие 3-5 лет, наиболее критичными для российских приоритетов в области инженерного ПО являются:

- цифровая нить и датацентричные решения, основанные на функционале систем классов PLM, MDM прежде всего
- интеграция технологий искусственного интеллекта в инженерное ПО
- цифровые двойники (изделий и инфраструктуры)
- мультидоменная системная инженерия
- экосистемный характер платформ инженерного ПО

Источники информации

1. PLM digital thread - power innovation with Teamcenter - <https://blogs.sw.siemens.com/teamcenter/plm-digital-thread-teamcenter/>
2. Teamcenter PLM software - Siemens - <https://www.siemens.com/en-us/products/teamcenter/>
3. 2025 ABI Research: Teamcenter #1 PLM - <https://blogs.sw.siemens.com/teamcenter/teamcenter-ranked-best-plm-2025/>

4. Dassault Systèmes Generative AI Strategy Explained - <https://www.technia.com/en/resources/dassault-systemes-generative-ai-strategy/>
5. 3DEXPERIENCE World 2025: What's New from Dassault Systèmes - <https://beyondplm.com/2025/02/25/3dexperience-world-2025-whats-new-from-dassault-systemes/>
6. PTC Creo MBSE Solutions: Streamline Model-Based Engineering - <https://3hti.com/creo/ptc-powering-future-of-mbse/>
7. Multi-CAD: MBD/MBE as the On-Ramp to the Digital Thread - <https://www.youtube.com/watch?v=3jKGI7VDubo>
8. AU 2025: AI at the Forefront of Industry Transformation - <https://www.research.autodesk.com/blog/ai-and-industry-transformation-at-au-2025/>
9. Autodesk targets BIM with Forma Building Design - <https://aecmag.com/bim/autodesk-targets-bim-with-forma-building-design/>
10. Digital twins in Autodesk Forma - <https://www.autodesk.com/learn/ondemand/tutorial/digital-twins-in-autodesk-construction-cloud>
11. Autodesk expands Forma AI platform - <https://www.industrialisedconstruction.co.uk/2025/09/25/autodesk-expands-forma-ai-platform/>
12. Hexagon to participate in 'Hanover Messe 2025' - <https://www.venturesquare.net/en/983469/>
13. Ansys 2025 R1: Revolutionizing Your Digital Engineering Journey with Simulation - <https://www.youtube.com/watch?v=h3mqX16Ev6A>
14. Ansys 2025 R1 Update Expands Cloud and AI Functionality - <https://www.digitalengineering247.com/article/ansys2025-r1-update-expands-cloud-and-ai-functionality>
15. ENR September 29, 2025: BIM - https://digital.bnppmedia.com/publication/?i=853298&article_id=5046825&view=articleBrowser
16. Events & e-Seminars - Dassault Systèmes - <https://events.3ds.com>
17. Siemens at EMO 2025: The AI-Powered Digital Thread - <https://www.youtube.com/watch?v=CEGcVlQdds4>
18. Siemens at Hannover Messe 2025: Digital Manufacturing at the Forefront with AI - <https://blogs.sw.siemens.com/nx-manufacturing/siemens-at-hannover-messe-2025-digital-manufacturing-at-the-forefront-with-ai-digi/>
19. 2025.4.17: Weaving the Digital Thread: Hexagon Nexus, a Cloud Platform - https://metalinc.com/2025/04/17/20250417_commentary_hexagon_mi_digital_thread/
20. Анализ размера и доли рынка программного обеспечения для управления жизненным циклом продукта - тренды роста и прогнозы (2025 - 2030) – URL: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/product-lifecycle-management-software-market> (дата обращения: 12.05.2026)

21. Инженерное программное обеспечение (рынок России) – URL: <https://www.tadviser.ru/a/138596>
22. Сектор Медиа. Автоматизация, BIM, PLM: три главных тренда в проектировании – URL: <https://sectormedia.ru/news/metalloobrabotka/avtomatizatsiya-bim-plm-tri-glavnykh-trenda-v-proektirovanii/>
23. COSYSOFT. Зарубежный опыт цифровизации промышленности: про какие тренды в MES стоит знать российским компаниям – URL: <https://cosysoft.org/blog/lc0bxajvo1-zarubezhnii-opit-tsifrovizatsii-promishl>
24. Управляем предприятием. Стратегические тенденции развития ИТ. Часть 3. Видение мировых экспертов – URL: <https://upr.ru/article/strategicheskie-tendentsii-razvitiya-it-chast-3-videnie-mirovykh-ekspertov/>
25. Управление данными - движущая сила рынка PLM - URL: <https://www.itweek.ru/industrial/article/detail.php?ID=71944>
26. Бойко Т.А. Анализ основных тенденций развития PLM-систем
27. Инженерное программное обеспечение (рынок России) – URL: <https://www.tadviser.ru/a/138596> (дата обращения 12.05.2026)
28. Сектор Медиа. Автоматизация, BIM, PLM: три главных тренда в проектировании – URL: <https://sectormedia.ru/news/metalloobrabotka/avtomatizatsiya-bim-plm-tri-glavnykh-trenda-v-proektirovanii/>
29. COSYSOFT. Зарубежный опыт цифровизации промышленности: про какие тренды в MES стоит знать российским компаниям - URL: <https://cosysoft.org/blog/lc0bxajvo1-zarubezhnii-opit-tsifrovizatsii-promishl>
30. Управляем предприятием. Стратегические тенденции развития ИТ. Часть 3. Видение мировых экспертов – URL: <https://upr.ru/article/strategicheskie-tendentsii-razvitiya-it-chast-3-videnie-mirovykh-ekspertov/>
31. Корус Консалтинг. Технологии для «умных фабрик». ИТ в промышленности: тренды, перспективы, комментарии – URL: <https://korusconsulting.ru/press-centr/tekhnologii-dlya-umnykh-fabrik-it-v-promyshlennosti/>
32. И.Дежина, А.Пономарев, А.Фролов. Перспективные производственные технологии в России: контуры новой политики
33. Инженерное программное обеспечение (рынок России) – URL: <https://www.tadviser.ru/a/138596>
34. Будущее промышленности: долгосрочные тренды в области AR/VR – URL: <https://www.it-world.ru/cionews/3nmrhg62ptwk8o0sck0ggsowk8ow4k0.html>
35. PLM for Shipbuilding solution - https://www.plm.automation.siemens.com/classic/en_gb/marine/plm-for-shipbuilding/
36. Siemens Strikes Gold Again in CAD and PLM With a Big Win in Shipbuilding - <https://www.engineering.com/siemens-strikes-gold-again-in-cad-and-plm-with-a-big-win-in-shipbuilding/>

37. Siemens, PTC, and Dassault Systèmes Named Leaders in ABI's PLM Assessment for Large Discrete Manufacturers - <https://www.abiresearch.com/press/siemens-ptc-and-dassault-systemes-named-leaders-in-abis-plm-assessment-for-large-discrete/>
38. PLM for the Shipbuilding Industry | Aras - <https://aras.com/en/industries/shipbuilding>
39. AVEVA to Teamcenter - Using the vendor-neutral and open digital integration platform for PLM in shipbuilding - <https://www.youtube.com/watch?v=CTzmkGYaL3c>
40. Siemens Xcelerator digital transformation - <https://www.sw.siemens.com/en-US/digital-transformation/>
41. Product Lifecycle Management with ENOVIA - <https://www.3ds.com/products/enovia>
42. 3DEXPERIENCE ENOVIA - <https://www.3ds.com/products/enovia/3dexperience>
43. Product Lifecycle Management (PLM) and the Role of Dassault Systèmes ENOVIA - <https://edvaldoguimaraes.com.br/2025/08/26/product-lifecycle-management-plm-and-the-role-of-dassault-systemes-enovia/>
44. Regulatory and Compliance Software | Arena - <https://www.arenasolutions.com/solutions/compliance-management/>
45. Medical Device Industry — Arena QMS - <https://www.arenasolutions.com/industries/medical-device/>
46. The Aras PLM Platform - <https://aras.com/en/resources/all/brochure-aras-plm-platform>
47. PLM Software Capabilities | Aras - <https://aras.com/en/capabilities>
48. Product Lifecycle Management (PLM) Platform | Aras - <https://aras.com/en/why-aras/platform-as-a-service>
49. End-to-End Supply Chain Traceability & Compliance - <https://indx.com/solution/strengthen-traceability-compliance>
50. Oracle offers new product lifecycle management capabilities for process manufacturers - <https://www.controleng.com/oracle-offers-new-product-lifecycle-management-capabilities-for-process-manufacturers/>
51. Dassault Systèmes Empowers Manufacturers to “Design for the Environment” - <https://www.3ds.com/newsroom/press-releases/dassault-systemes-empowers-manufacturers-design-environment>
52. Chemical Manufacturing PLM | Aras - <https://aras.com/en/industries/chemical>
53. PLM for food & beverage | Siemens - <https://resources.sw.siemens.com/en-US/infographic-future-proof-your-food-and-beverage-innovation-with-digital-transformation/>
54. Transform your product lifecycle in the food and beverage industry - <https://resources.sw.siemens.com/en-US/e-book-integrating-business-processes-to-transform-your-product-lifecycle/>
55. Food & Beverage Manufacturing Solutions - <https://indx.com/industries/food-beverage>

56. Best PLM Software & Their Main Industry Applications - <https://www.chemcopilot.com/blog/best-plm-software-amp-their-main-industry-applications>
57. FlexPLM Retail PLM Solution - <https://www.ptc.com/en/industries/retail/flexplm>
58. Food & Beverage PLM Conference 2024 - <https://events.3ds.com/food-beverage-plm-conference-2024>
59. Product Lifecycle Management (PLM) Software | Aras - <https://aras.com/en/capabilities/product-lifecycle-management>
60. PTC, Siemens, and Dassault Systèmes Take the Lead in ABI Research's PLM for Large Manufacturers Competitive Ranking - <https://www.abiresearch.com/press/ptc-siemens-and-dassault-systemes-take-the-lead-in-abi-researchs-plm-for-large-manufacturers-competitive-ranking/>
61. FlexPLM and retail/apparel product development overview - <https://www.slideshare.net/slideshow/fdocumentsusptcflexplmppt/255296410>
62. The Interline supplier category PLM - <https://www.theinterline.com/supplier-category/plm/>
63. PLM Primer: The Right Solution For F&B - <https://www.manufacturing.net/home/article/13240742/plm-primer-the-right-solution-for-fb>
64. Shipbuilding Design Software - Cadmatic - <https://cadmatic.com/en/solutions/shipbuilding/>
65. Marine CAD - Siemens - <https://plm.sw.siemens.com/en-US/nx/cad-online/workflows/marine-design-solutions/>
66. Shipbuilding industry solutions - AVEVA - <https://www.aveva.com/en/industries/manufacturing/ship-building/>
67. Marine Engineering Software - Cadmatic - <https://cadmatic.com/en/who-we-serve/marine/>
68. Maximize Compatibility in 3D - What Clo, Browzwear, Optitex and others can exchange - <https://www.youtube.com/watch?v=QrZDpipI0uM>
69. Shipbuilding Market - <https://www.vantagemarketresearch.com/shipbuilding-market>
70. Digital Shipyard Market Size, Growth & Trends Report 2034 - <https://www.imarcgroup.com/digital-shipyard-market>
71. Forecasting trends & challenges for a 4.0 Shipbuilding industry - https://www.seaeurope.eu/wp-content/uploads/2025/08/2020.11.30_USWE-Project-Report_Forecasting-trends-and-challenges-for-a-4.0-shipbuilding-industry.pdf
72. 3D Fashion Design - https://sicip.gov.bd/wp-content/uploads/2026/01/Final_CBLM_3D-Fashion-Design_All_Module_1766467717618.pdf
73. Ship Design CAD for Marine industry with Foran | Siemens - <https://www.siemens.com/en-us/products/designcenter/nx-cad-software/workflows/marine-design/>

- 74.Ship Design CAD for Marine industry with Foran - Siemens - <https://www.siemens.com/en-gb/products/designcenter/nx-cad-software/workflows/marine-design/>
- 75.Marine Engineering Software & Solutions | AVEVA - <https://www.aveva.com/en/industries/marine/>
- 76.Shipbuilding Design Software - Cadmatic (expanded description) - <http://cadmatic.com/en/solutions/shipbuilding/>
- 77.CADMATIC Wave and eShare marine platform details - <https://cadmatic.com/en/solutions/shipbuilding/>
- 78.Best AI pattern making tool 2026 - compatible with CLO3D, Browzwear, Gerber, Lectra, Optitex - <https://fashioninsta.ai/blog/best-ai-pattern-making-tool-fashioninsta-integrates-clo3d-cad-systems>
- 79.Modaris | Fashion Patternmaking & 2D/3D Design Software - <https://www.lectra.com/en/fashion/products/modaris>
- 80.Lectra launches Modaris V8 - <https://apparelresources.com/technology-news/manufacturing-tech/lectra-launches-modaris-v8/>
- 81.Lectra's Modaris redefines the realism of 3D virtual prototyping - <https://www.texintel.com/press-room/lectras-modaris-redefines-the-realism-of-3d-virtual-prototyping-and-speeds-up-the-time-to-market/>
- 82.Lectra brings the 3D Revolution to the Fashion Industry - <https://www.texdata.com/news/Software/7042.Lectra-brings-the-3D-Revolution-to-the-Fashion-Industry.html>
- 83.Browzwear | Digital Apparel Design & Development Software - <https://browzwear.com>
- 84.Gerber AccuMark: An industry-leading Fashion CAD software - <https://www.lectra.com/en/fashion/products/gerber-accumark-fashion>
- 85.Gerber AccuMark CAD system features overview - https://www.linkedin.com/posts/m-kashif-amin-48478b2b8_gerber-accumark-is-one-of-the-leading-cad-activity-7344048668490022912-4E
- 86.Gerber's AccuMark family to boost productivity - <https://apparelresources.com/technology-news/manufacturing-tech/gerbers-accumark-family-to-boost-productivity-by-10/>
- 87.DeSL and Browzwear Partnership Bridges PLM and Digital Workflow - <https://www.theinterline.com/2025/01/28/desl-and-browzwear-partnership-bridges-plm-and-digital-workflow/>
- 88.The Tools of Digital Fashion Design - <https://www.ifaparis.com/the-school/blog/tools-digital-fashion-design-technology-revolutionizes-fashion>
- 89.Modaris V2025.1 - <https://www.lectra.com/en/replay-nueva-version-modaris-202501>
- 90.Calling all apparel pros: CLO3D, Browzwear, Gerber, Lectra, Optitex discussion - https://www.linkedin.com/posts/tiffany-smith-633219177_fashiontech-cad-patternmaking-activity-7300918840715038720-wbBE

- 91.Digital Twin vs. Virtual Twin: Benefits for Fashion Design -
<https://browzwear.com/blog/what-are-the-benefits-of-using-a-digital-twin>
- 92.Browzwear and digital twin collaboration in fashion workflows -
<https://www.theinterline.com/2025/01/28/desi-and-browzwear-partnership-bridges-plm-and-digital-workflow/>

2 Глобальные технологические приоритеты в области ПО управления технологическими и производственными процессами (MES, АСУ ТП и др.)

В этом разделе приведен анализ ключевых глобальных технологических трендов, которые сегодня определяют развитие классов программного обеспечения АСУ ТП (SCADA), MES, APC (системы усовершенствованного управления технологическими процессами), RTO (системы оптимизации технологических процессов), CMMS (системы компьютерного управления обслуживанием оборудования), APS (системы производственного планирования) и смежных классов индустриального ПО, которые имеет смысл учитывать при формировании российской технологической политики и приоритетов развития ДК НИПО. Эти тренды сформулированы на уровне «сквозных» трендов, а не по каждому классу отдельно.

На глобальном рынке промышленного программного обеспечения заметен переход от разрозненных систем автоматизации к платформенным экосистемам, которые объединяют производственное исполнение, диспетчеризацию, планирование, анализ данных, предиктивную аналитику и цифровые двойники в едином технологическом контуре^{1,5,6}. Наиболее активными разработчиками в этой области остаются Siemens, AVEVA, Emerson/AspenTech, Honeywell, Rockwell Automation, Schneider Electric, ABB и ряд специализированных поставщиков решений по APS, ТОиР, качеству и промышленной аналитике^{2,4,5,6}.

2.1. Сквозное управление производством: интеграция MES, APS, IoT и ТОиР

Одним из ключевых мировых трендов является переход от отдельно стоящих MES-систем к комплексным производственным платформам, которые объединяют исполнение производственных заказов, планирование, диспетчеризацию, управление качеством, управление техническим обслуживанием и аналитику. На практике это означает движение к архитектуре, в которой производственные данные и решения связываются от уровня оборудования до корпоративных систем по модели, близкой к ISA-95^{5,7,8,9}.

- Переход от отдельно стоящих MES-систем, отвечающих исключительно за планирование и поддержку производственного процесса, к платформам оперативного управления производством, которые объединяют диспетчеризацию, APS-планирование, контроль качества, ТОиР/CMMS и аналитику в единой среде^{1,2}.
- Углубленная интеграция между ERP, MES, SCADA/PLC и IoT-платформами по модели стандарта ISA-95, чтобы строить замкнутые контуры оптимизации и непрерывного улучшения^{3,4}.
- Фокус на повышении эффективности уже действующих производств (повышение показателей общей эффективности использования оборудования ОЕЕ, снижение простоев, потерь и энергопотребления), а не

только на внедрении цифровых технологий на новых производственных площадках⁵.

Что делают лидеры рынка

Siemens развивает Opcenter X (модульное облачное решение для управления производственными операциями - Manufacturing Operations Management (MOM), разработанное специально для малого и среднего бизнеса), как платформу, связывающую планирование, исполнение, качество и аналитику в единой среде, а в связке с Industrial Edge и Insights Hub — как основу интеграции ИТ- и ОТ-контуров. Компания подчеркивает, что Opcenter X обеспечивает сквозную видимость производственных операций, увязку машинных показателей с бизнес-метриками и возможность автоматической корректировки расписаний и производственных параметров на основе данных в реальном времени^{10,11,12,13}.

AVEVA строит интегрированный контур вокруг облачной платформы промышленной аналитики и цифровизации CONNECT и PI System (AVEVA PI System, ранее известная как OSIsoft PI System — это платформа для управления данными в реальном времени. Она предназначена для сбора, хранения, нормализации, обогащения и визуализации операционных данных), делая ставку на сбор, очистку, нормализацию и визуализацию производственных данных из разных источников, включая MES, SCADA и лабораторные системы. Важным акцентом является контекстуализация данных и предоставление роли-ориентированной аналитики для сотрудников производственных, сервисных и инженерных подразделений^{14,15,16}.

Emerson/AspenTech связывают DeltaV (система автоматизации, которая используется для управления производственными процессами), AspenTech Inmation (система управления промышленными данными, которая позволяет централизовать, обрабатывать, дополнять и хранить разнородные данные), системы планирования и APC-решения по усовершенствованному управлению технологическими процессами в единый контур «от датчика до совета директоров». В дорожной карте продуктов компания подчеркивает сквозное улучшение от уровня производственных активов и процессов до уровня цепочки поставок, включая производственную оптимизацию, обслуживание оборудования и замкнутые контуры взаимодействия MES, APC и систем управления^{17,18,19}.

Honeywell и Rockwell Automation также последовательно развивают интегрированные производственные платформы, объединяющие исполнение, качество, производственную аналитику и обслуживание. Рынок в целом движется именно к таким операционным платформам производства, а не к отдельным локальным системам автоматизации^{1,2,7}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Поддержка отечественного ПО в этом направлении должна ориентироваться на создание платформ оперативного управления

производством, изначально интегрирующих MES, APS, IoT, CMMS-системы компьютерного управления обслуживанием оборудования и промышленную аналитику. Критически важны единая модель данных, стандартные интерфейсы и поддержка сквозного исполнения и обратной связи от оборудования к управленческому контуру^{7,8,10}.

- Необходимо отдавать приоритет поддержке создания российских «операционных платформ производства» (MES/APS/IoT/TOIP) вместо точечных классов ПО управления производством.
- Необходимо задавать в требованиях к проектам обязательную интеграцию на уровне модели ISA-95 и единой модели данных.

2.2. IoT-платформы и периферийные вычисления как основа сбора и предобработки данных

Следующий значимый тренд — развитие IoT-платформ как стандартного слоя между оборудованием в цехе, АСУ ТП/SCADA и MES/ERP/аналитикой. Одновременно усиливается роль периферийных вычислений, позволяющих выполнять предобработку данных, локальную аналитику и реакцию на события с минимальной задержкой непосредственно рядом с оборудованием^{3,4,20}.

- Масштабное подключение интеллектуальных датчиков, счетчиков и контроллеров, переход от локальных сигналов к полноценным IoT-сетям²⁵.
- Развитие edge-аналитики: обработка данных по вибрации, температуре, давлению и другим параметрам ближе к оборудованию для сокращения задержек и нагрузки на сеть⁶.
- IoT-платформы становятся стандартным технологическим слоем или уровнем между АСУ ТП/SCADA/PLC и MES/ERP/аналитикой.

Что делают лидеры рынка

Siemens продвигает Industrial Edge как платформу периферийных вычислений для безопасного и стандартизованного сбора данных от разнородного оборудования, оркестрации edge-приложений и связи с вышестоящими системами. В архитектурных материалах компании показана связка Industrial Edge, Unified Namespace, MQTT и WinCC OA/других SCADA, что позволяет организовать масштабируемый, вендор-независимый поток данных от уровня поля до уровня предприятия^{11,12,21,22}.

AVEVA строит IoT-логику вокруг CONNECT и PI System, предоставляя инструменты агрегации телеметрии, ее очистки, хранения, обогащения и последующей аналитики. CONNECT позиционируется как открытая и нейтральная облачная среда, объединяющая данные, визуализацию, аналитику, цифровые двойники и сервисы искусственного интеллекта и машинного обучения, при этом сохраняя гибридный сценарий использования с локальными системами^{14,15,23}.

Emerson/AspenTech используют AspenTech Inmation как промышленную платформу (фабрику данных), которая реализует архитектурный подход к

управлению данными, объединяющий разрозненные источники информации в единую экосистему (data fabric) для доставки потоковых производственных данных от распределенной системы управления (PCU) DeltaV, анализаторов и других источников к корпоративным и облачным сервисам. Показательным является соглашение Emerson с TotalEnergies (французская энергетическая компания), в рамках которого Inmation используется как основа для централизованного, безопасного доступа к миллионам точек данных и последующего масштабирования ИИ-сценариев^{17,19,24}.

Schneider Electric и ABB в аналогичном направлении развивают собственные edge- и IoT-платформы, встраивая их в логику открытых протоколов, промышленной аналитики и гибридных архитектур. Это подтверждает, что IoT уже перестал быть дополнением к АСУ ТП и становится обязательным слоем промышленной информационной архитектуры^{3,4,20}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- В числе ключевых приоритетов должны быть отечественные IoT-платформы с поддержкой edge-вычислений, нормализации телеметрии, событийной обработки и безопасной интеграции с MES/SCADA/ERP. Также важно опережающее развитие реализации в отечественном ПО стандартов OPC UA, MQTT и промышленных брокеров сообщений^{3,11,14}.
- Необходимо отдавать приоритет формированию и развитию отечественных IoT-платформ с поддержкой периферийных вычислений и интеграцией в российский стек технологий, таких как АСУ ТП, ПЛК.
- Необходимо стандартизировать протоколы (OPC UA, MQTT и др.) и модели телеметрии для промышленности и ЖКХ.

Комментарий: OPC UA - платформонезависимый стандарт для безопасного и надежного обмена данными в промышленной автоматизации и других областях. Он обеспечивает интеграцию между устройствами, датчиками, контроллерами (ПЛК) и системами верхнего уровня (SCADA, MES, ERP).

2.3. Эволюция SCADA/АСУ ТП и HMI (технологии человеко-машинных интерфейсов): открытые стандарты, гибридные архитектуры, ИИ

SCADA и HMI эволюционируют от локальных и во многом закрытых систем к распределённым архитектурам, использующим открытые протоколы, унифицированные пространства имен данных, web-технологии, облачные сервисы и элементы искусственного интеллекта. При этом ядро функций управления и высокой надежности по-прежнему сохраняется в локальном контуре, а визуализация, аналитика и долговременное хранение всё чаще выносятся в гибридный слой^{4,20,21}.

- Переход от монолитных АСУ ТП/SCADA-систем к распределенным архитектурам с унифицированным пространством имен данных (UNS) и

открытыми протоколами: OPC UA, MQTT, модели публикации/подписки (Pub/Sub-модели)²⁶.

Комментарий: унифицированное пространство имен (Unified Namespace, UNS) в системах АСУ ТП — это стандартизированный подход к именованию и структурированию данных в реальном времени, который объединяет различные системы, устройства и компоненты промышленной среды. Он обеспечивает единый способ адресации, единую модель данных для всех устройств IIoT, SCADA, MES-систем, поиска и доступа к данным, независимо от их физического расположения или типа.

- Гибридные решения: критическое управление остается локально, а аналитика, архивы и визуализация частично выносятся в частные и публичные облака.
- Появление «умных» человеко-машинных интерфейсов (HMI): адаптивные интерфейсы, встроенный ИИ для подсказок оператору, обнаружения аномалий и поддержки решений в реальном времени.

Что делают лидеры рынка

Siemens демонстрирует архитектуру, в которой Industrial Edge обеспечивает безопасный сбор данных, MQTT-брокер и UNS формируют единое пространство обмена данными, а WinCC OA либо другие SCADA-системы выполняют функции верхнего уровня диспетчеризации, визуализации, управления событиями и отказоустойчивости. В документации Siemens отдельно подчеркиваются безопасная оркестрация edge-приложений, стандартизированный поток данных и поддержка гибридных сценариев интеграции^{11,12,21,22}.

AVEVA продолжает развивать экосистему SCADA/HMI в логике гибридной индустриальной платформы: локальные системы операционного управления дополняются облачной аналитикой, централизованной обработкой данных, цифровыми двойниками и ИИ/ML-сервисами в CONNECT. За счет этого визуализация перестает быть только экраном оператора и становится частью распределенной среды промышленного интеллекта^{14,15,23}.

Emerson в сочетании DeltaV и AspenTech (см. выше) делает акцент на интеграции управления, моделей, аналитики и операционных данных в одном контуре, а Rockwell Automation и Honeywell развивают web-ориентированные HMI/SCADA-среды с удаленным доступом, аналитикой и промышленной диагностикой. Это отражает общий тренд на гибридные SCADA/HMI-платформы, в которых ИИ помогает обнаруживать аномалии, а интерфейсы становятся адаптивными и роль-ориентированными^{17,18,20}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Перспективные отечественные SCADA/HMI-системы должны строиться вокруг открытых стандартов обмена, поддержки web-интерфейсов, гибридных архитектур и возможности безопасной работы с edge- и облачными сервисами. Дополнительным требованием должна стать

поддержка «умного» HMI с контекстной аналитикой и встроенными механизмами обнаружения аномалий^{20,21,23}.

- Ввести приоритет использования открытых стандартов обмена данными и требований к UNS-подходу для отечественных SCADA/HMI.
- Поддерживать проекты, в которых используются строенные механизмы и технологии ИИ и машинного обучения в системах классов HMI и SCADA при одновременном соблюдении жестких требований к надежности.

2.4. Интеграция ИИ, продвинутой аналитики, APC и RTO-систем управления и оптимизации технологическими процессами в контуры управления процессами

Мировой рынок последовательно движется к объединению классических систем регулирования и оптимизации с искусственным интеллектом, предиктивной аналитикой и цифровыми двойниками процессов. APC и RTO-системы управления и оптимизации производственных процессов все чаще рассматриваются не как изолированные специализированные решения, а как часть единой архитектуры производственного интеллекта, использующей IoT-данные, модели процессов и взаимодействие с MES и SCADA^{17,18,19}.

- Расширение применения технологий искусственного интеллекта и машинного обучения, в частности, в предиктивной аналитике, обнаружении аномалий, прогностическом обслуживании и динамической оптимизации режимов работы оборудования¹.
- Рост важных классов: APC (усиленное регулирование), RTO (реал-тайм оптимизация), которые опираются на IoT-данные и модели процессов, связываясь с MES и SCADA.
- Использование цифровых двойников технологических установок в связке с APC/RTO для симуляции и оптимизации переходных режимов и сложных сценариев²⁷.

Что делают лидеры рынка

Emerson/AspenTech выступают одним из наиболее явных лидеров в этой области. В дорожной карте продуктов выделяются Dynamic Optimization, DMC3 Advanced Process Control, Aspen Mtell и связанные решения, которые формируют контур от моделирования и усовершенствованного управления до прогностического и предписывающего обслуживания. Компания подчеркивает, что промышленный ИИ в этих решениях должен иметь встроенные «ограждающие рамки» и отраслевую надежность, а не быть универсальным ИИ без контекста^{17,18}.

Siemens использует сочетание Opcenter, Industrial Edge и аналитических сервисов для локального и облачного применения ИИ, включая обнаружение аномалий, анализ качества, поддержку принятия решений и адаптацию производственных сценариев на основе данных в реальном времени.

Принципиально важно, что такие функции выстраиваются поверх реального потока производственных данных, а не над статическим архивом^{10,11,13}.

AVEVA развивает технологии ИИ, машинного обучения и анализа промышленных данных как встроенный слой CONNECT, сочетающий сбор и обогащение данных, визуализацию, моделирование и интеллектуальную аналитику. В результате предиктивная аналитика, рекомендации операторам и сценарии оптимизации становятся доступными не только в нишевых приложениях, но и в общей промышленной информационной среде^{14,15,23}.

Honeywell и ABB также развивают встроенные механизмы производственной аналитики и оптимизации в технологическом контуре, включая рекомендации оператору и адаптацию режимов работы. Это подтверждает, что ИИ и APC/RTO движутся к тесной конвергенции^{17,18,20}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Для отечественного ПО важно создавать не только отдельные APC/RTO-системы, но и общую инфраструктуру их подключения к MES/SCADA/ИИТ. Отдельный приоритет должен быть у встроенных средств промышленного ИИ, ориентированных на объяснимость, контроль качества моделей и безопасность применения в реальном производственном контуре^{17,18,23}.
- Необходимо уделить особое внимание развитию отечественных APC/RTO-решений, опирающихся на российские математические пакеты и ИИТ-платформы.
- Необходимо включать требования к системам класса MES/АСУ ТП открытых API для подключения алгоритмов оптимизации и сторонних ML-сервисов.

2.5. Цифровые двойники производств, линий и объектов инфраструктуры

Одним из сильнейших глобальных трендов является использование цифровых двойников не только на этапе проектирования, но и в контуре оперативного управления производством и инфраструктурой. На уровне фабрик и установок цифровые двойники применяются для отладки сценариев, оценки производительности, проверки логики управления, оптимизации обслуживания и анализа влияния изменений в расписании и ресурсах^{14,17,18}.

- Смещение фокуса от статических схем к моделям производственных линий и инженерной инфраструктуры, обновляемым по данным ИИТ/SCADA/MES³.
- Использование цифровых двойников для проверки производственных сценариев, отладки логики ИИТ/SCADA, оценки влияния изменений расписания (APS) и планового ТО (CMMS) на показатели.
- В классах ПО управления зданиями BMS/BAS/FM – применение цифровых двойников зданий для управления энергоэффективностью, предиктивного обслуживания инженерных систем и сценарного управления объектами.

Что делают лидеры рынка

Siemens связывает цифровые двойники производства с платформой периферийных вычислений Industrial Edge, решением для унифицированного управления производственными операциями (MOM) Opcenter и платформой цифровых операций, создавая контур, в котором реальные машинные данные, контекст MES и аналитика используются для улучшения производительности, качества и использования ресурсов. Производственный двойник фактически становится средством постоянного обучения фабрики по мере накопления операционных данных^{10,11,13}.

AVEVA интегрирует цифровые двойники в облачную платформу промышленного ПО CONNECT как элемент промышленного интеллекта, объединяя визуализацию, данные из системы сбора и хранения промышленных данных PI System, технологии ИИ/ML и роль-ориентированные сценарии анализа. За счет этого цифровой двойник выходит за рамки инженерной модели и начинает использоваться как операционная модель активов и производственных систем^{14,15,23}.

Emerson/AspenTech используют связку моделирования процессов, DeltaV Mimic, Dynamic Optimization и AspenTech Inmation для построения цифровых представлений технологических объектов, применяемых в пусконаладке, оптимизации и поддержке операторов. В связке с промышленной фабрикой данных (data fabric) и промышленным ИИ такие двойники становятся частью замкнутого эксплуатационного цикла^{17,18,19}.

Schneider Electric и ABB аналогично интегрируют цифровые двойники с системами управления зданиями BMS/BAS/FM и операционными платформами, особенно в области инфраструктурных и энергетических объектов. Это показывает, что цифровой двойник становится универсальным механизмом для производства и инженерной инфраструктуры^{14,20}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Развитие отечественных платформ цифровых двойников для производств и инфраструктуры следует увязывать не только с BIM/PLM, но и с MES, SCADA, IoT, BMS/BAS и системами обслуживания, чтобы покрывать уровень производства и инфраструктуры. Приоритетом должны быть стандартизованные объектные модели оборудования, линий, участков и инженерных систем, пригодные для повторного использования в разных отраслях^{14,17,23}
- Необходимо поддерживать стандартизованные модели объектов (оборудование, линии, здания) для многократного тиражирования и использования в разных отраслях.

2.6. Программное обеспечение для ПЛК и унификация промышленного стека управления

Рынок промышленной автоматизации движется к конвергенции ПЛК, программируемых контроллеров автоматизации (РАС), edge-контроллеров и программно-определяемых компонентов автоматизации. Одновременно растет значение открытых сред разработки, межвендорной переносимости, стандартных языков IEC 61131-3 и IEC 61499, а также интеграции жизненного цикла программ ПЛК с DevOps/CI/CD-подходами^{4,20,21}.

- Конвергенция классических ПЛК, программируемых контроллеров автоматизации (РАС) и промышленных edge-контроллеров: выполнение логики, IoT-функций и аналитики на единых платформах.
 - *Комментарий:* 1) РАС (программируемый контроллер автоматизации) — это устройство, которое сочетает в себе возможности традиционного ПЛК с расширенными функциями и гибкостью. Оно предназначено для комплексного управления процессами в промышленности, включая управление движением механизмов и машин. 2) Edge-контроллер – это устройство или технология, используемая в промышленных автоматизированных системах для обработки данных и управления процессами в реальном времени непосредственно на периферии, максимально близко к источникам данных. Он сочетает функции мини-сервера, сетевого шлюза и промышленного компьютера.
- Рост значимости открытых и кроссплатформенных сред разработки для ПЛК, поддерживающих стандартные языки (IEC 61131-3, IEC 61499) и интеграцию с системами, которые обеспечивают процессы непрерывной интеграции, доставки и развертывания программного кода в рабочую тестовую или производственную среду (CI/CD - Continuous Integration, Continuous Delivery/Deployment).
- Смещение части логики управления и диагностики в программные компоненты поверх стандартного железа (software-defined automation).

Что делают лидеры рынка

Siemens развивает Industrial Edge и логику интеграции аппаратного и программного стека, где часть аналитики и ИИ-функций может перемещаться ближе к оборудованию. Показательно, что компания делает упор не только на собственные контроллеры, но и на стандартизованную оркестрацию приложений и сбор данных с разнородного оборудования автоматизации^{11,12,21,22}.

Компания Emerson в связке распределенной системы управления (PCU) DeltaV и продуктами компании AspenTech, предлагающей решения по моделированию и оптимизации производственных активов, показывает движение к модели, в которой логика управления, модели и аналитика взаимодействуют через общую инфраструктуру данных и приложений. За счет Inmation (система управления промышленными данными, которая позволяет

централизовать, обрабатывать, дополнять и хранить разнородные данные) и интеграции моделей с DeltaV создается основа для постепенного смещения части интеллектуальных функций из «центрального» контура в периферийные и встроенные программные компоненты^{7,19}.

Rockwell Automation, Schneider Electric и ABB развивают открытые среды программирования и управления контроллерами, а также более тесно связывают их с edge-сервисами и промышленной аналитикой. Это соответствует тренду на программно-определяемую автоматизацию и постепенный отход от полностью закрытых стеков управления^{4,20}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Для отечественного ПО критично развивать ПЛК-среды, поддерживающие стандартные языки, открытые интерфейсы, переносимость приложений и безопасное обновление ПО в продуктивном контуре. Также важно заранее закладывать совместимость ПЛК-сред с edge-платформами, ПоТ и инструментами безопасного жизненного цикла кода^{20,21}.
- Необходимо стимулировать разработку отечественных ПЛК-сред с открытыми инструментами и возможностью переносимости программ между вендорами.
- Проекты поддержки ПЛК должны быть связаны с развитием edge-вычислений, технологий ПоТ и средств безопасного обновления ПО в продуктивной среде на производстве.

2.7. Управление качеством, надежностью и ТОиР: CAQ/CAI (контроль качества), CMMS (обслуживание оборудования), HMS (диагностика оборудования)

Следующий тренд состоит в интеграции качества, надежности, обслуживания и диагностики оборудования в единую операционную среду. Качество все чаще контролируется не постфактум, а в ходе выполнения операций, а системы ТОиР и промышленной диагностики переходят от локальных задач к управлению всем жизненным циклом активов с использованием ПоТ и производственных данных^{7,8,17}.

- Интеграция CAQ/CAI-систем компьютерной проверки качества с MES, SCADA и лабораторными системами для автоматического контроля качества как в процессе производства, так и на выходе, а не только постфактум по результатам изготовления изделий и продукции.
- Эволюция CMMS-систем компьютерного обслуживания оборудования в сторону полноценного управления активами и ТОиР, связанного с фактическими ПоТ-данными, планом производства и ресурсными ограничениями.
- Развитие средств промышленной диагностики (HMS) — от локальных систем контроля и диагностики отдельных факторов таких, например, как

вибрация, к объединенным платформам анализа состояния парка оборудования.

Что делают лидеры рынка

Siemens в связке Opcenter, Industrial Edge и аналитических приложений развивает сценарии анализа производительности активов, контроля показателей в реальном времени и выявления отклонений, что напрямую влияет на качество и надежность. Приложение Performance Insight показывает, как промышленная аналитика становится средством непрерывного контроля состояния оборудования и производственных линий^{10,13}.

Компании Emerson и AspenTech совместно продвигают решения Mtell, AMS и Asset Performance Management как часть связанного контура предиктивного и предписывающего обслуживания. В дорожной карте продуктов подчеркивается, что техническое обслуживание, прогноз качества и сценарии «что если» становятся частью единого промышленного ИИ-контура с опорой на фабрики данных (data fabric) и данные процессов^{17,18}.

AVEVA использует PI System и CONNECT для агрегирования производственных и сервисных данных, обеспечивая единый информационный слой для анализа надежности, качества и состояния активов. Подход строится на сквозной доступности очищенных и обогащенных данных для производственных, сервисных и инженерных ролей^{14,15,16}.

IBM Maximo, Hexagon и ряд профильных поставщиков CMMS/HMS-систем также движутся к тесной увязке ТОиР с телеметрией и производственным расписанием, однако у крупных платформенных игроков тренд выражен наиболее системно^{7,17}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- В числе приоритетов должны быть отечественные платформы, объединяющие «процесс — качество — ТОиР — безопасность» в едином информационном контуре.
- Отдельно важна поддержка сквозной интеграции между CAQ/CAI, CMMS, HMS, IoT и MES/SCADA, чтобы качество и надежность управлялись на основе фактических данных, а не ручной отчетности^{7,17,18}.

2.8. Продвинутое производственное планирование (APS), синхронизация с MES и логистикой

На глобальном рынке APS перестает быть отдельным «плановым» модулем и все чаще становится частью более широкого контура оперативного управления производством. APS-системы начинают учитывать не только технологические маршруты и загрузку оборудования, но и ограничения логистики, доступность персонала, плановые ремонты, состояние оборудования и даже пространственное положение ресурсов^{7,8,9}.

- Уход от изолированных APS-систем производственного планирования к APS-системам, которые учитывают ограничения, связанные с оборудованием, персоналом, логистикой и ТОиР, и взаимодействуют с MES-системами в режиме почти реального времени.
- Использование сценарного моделирования и симуляции в APS-системах и MPM-системах моделирования, анализа и управления производственными процессами для оценки влияния разных стратегий расписания и маршрутизации.
- Связь APS с IoT/SCADA и LBS-системами определения местоположения объектов для оперативного пересчета планов при изменении доступности ресурсов и транспорта.

Что делают лидеры рынка

Siemens в рамках Opcenter X и смежных решений показывает, как планирование, исполнение и производственная аналитика могут работать в одной среде, а данные реального времени используются для корректировки исполнения и повышения устойчивости расписаний. Возможность связывать показатели оборудования и бизнес-результаты делает APS-системы не просто инструментом планирования, а частью операционного управления фабрикой^{10,13}.

Компании Emerson/AspenTech в производственном контуре и контуре управления цепочками поставок подчеркивают сочетание планирования, расписаний, перемещений, балансов, отчетности и динамической оптимизации с APC-системами оптимизации производственных процессов и работы оборудования (как правило, в непрерывном производстве). Это важный пример того, как производственное планирование (APS) и оптимизация двигаются вместе в сторону работы в реальном времени, особенно в индустриях непрерывного производства^{17,18}.

AVEVA и другие платформенные игроки интегрируют планирование с промышленной аналитикой, телеметрией и облачными сервисами, чтобы переходить от «жесткого расписания» к сценарному управлению. Тем самым APS-системы начинают опираться на тот же слой данных, что и MES, IoT и SCADA-системы^{14,15}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Для отечественных APS-систем и MPM-решений моделирования, анализа и управления производственными процессами важно ориентироваться на тесную синхронизацию с MES, IoT и логистическими системами, а также на поддержку сценарного моделирования и динамического пересчета планов. Без этого APS останется изолированным «плановым» приложением и не станет полноценной частью цифровой фабрики^{7,8,17}.

- Развивать APS-системы производственного планирования как ключевой элемент цифровой фабрики, тесно связанный с MES и корпоративной логистикой.
- Стимулировать использование моделирования и симуляции в отечественных APS/MPM-решениях.

2.9. LBS-системы определения местоположения объектов и пространственно-временная прослеживаемость ресурсов

Промышленные LBS-системы определения местоположения объектов (Location Based Services) и RTLS-системы позиционирования в реальном времени все чаще используются для точного отслеживания сырья, полуфабрикатов, инструмента, подвижных активов и персонала. Эти данные начинают использоваться не только для безопасности и инвентаризации, но и для оперативной логистики внутри предприятия, повышения точности APS/MES-систем и привязки к цифровым двойникам и аналитическим системам^{7,8}.

- Расширение применения LBS (RTLS, RFID, UWB, BLE, спутниковые и др.) для отслеживания местоположения сырья, полуфабрикатов, инструмента, готовой продукции и персонала.

Комментарии: 1) RTLS (Real-Time Locating System) — это автоматизированная система позиционирования в режиме реального времени, которая позволяет идентифицировать, определять координаты и отображать на плане местонахождение контролируемых объектов в пределах определённой территории; 2) UWB (Ultra-Wide Band, сверхширокая полоса, СШП) — это беспроводная технология передачи данных, которая использует сверхширокую полосу частот для несущего сигнала. Она позволяет передавать большое количество данных на небольшие расстояния при низком энергопотреблении; 2) BLE (Bluetooth Low Energy) — это технология беспроводной связи, разработанная как дополнение к классическому Bluetooth с акцентом на низкое энергопотребление. Она предназначена для устройств, которым важно минимизировать расход энергии при периодической или короткой передаче небольших объёмов данных на короткие расстояния.

- Интеграция LBS-технологий с ИТ-системами классов MES, APS, BMS/FM управления производством, производственного планирования, управления обслуживанием зданий и объектов недвижимости для оптимизации логистики внутри цехов и объектов, повышения безопасности и снижения потерь.
- Объединение геоданных с цифровыми двойниками и аналитикой для оценки загрузки пространств, путей движения, зон риска.

Что делают лидеры рынка

Крупные вендоры производственных платформ пока чаще интегрируют LBS как часть экосистемы, а не как полностью собственный продукт. Siemens, AVEVA, Rockwell Automation и Schneider Electric встраивают поддержку пространственных данных и событий из RTLS/RFID/UWB/BLE-решений в общую MES/IIoT/аналитическую архитектуру, чтобы использовать их для управления потоками материалов, безопасностью и оптимизации маршрутов^{10,14,20}.

В контексте цифровых двойников и инфраструктурных платформ пространственно-временные данные становятся частью общей модели объекта. Это особенно заметно в логике систем анализа промышленных данных и цифровых двойников, где местоположение и перемещение активов интерпретируются как производственный контекст, полезный для использования в APS-системах производственного планирования, BMS/FM-системах управления зданиями и промышленной аналитики^{14,15,23}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Для отечественных решений важно рассматривать LBS не как отдельную технологию позиционирования, а как стандартный источник контекста для MES, APS, BMS/FM-систем и цифровых двойников. Приоритет следует отдавать стандартизованным интерфейсам передачи геоданных и событий, а также их привязке к объектной модели производства и инфраструктуры^{14,20}.
- Включить LBS/RTLS как ключевой компонент зрелых цифровых производств и «умных» объектов инфраструктуры.
- Поддерживать формирование стандартов интеграции LBS-данных с MES/BMS/FM/DT-платформами.

2.10. Облака, гибридные модели и X-as-a-Service в промышленной автоматизации

Ещё один сильный тренд — переход промышленного ПО к гибридным архитектурам, где часть функций остается в локальном контуре или на периферии, а аналитика, долгосрочные архивы, роль-ориентированные сервисы и ИИ/ML выносятся в облачные среды. Распространение ИТ-решений, изначально созданных на облачных платформах, контейнеризации и микросервисного подхода меняет как способы развертывания MES и IIoT, так и модели поставки функциональности заказчикам^{10,14,23}.

- Распространение облачных и SaaS-моделей для MES, IIoT-платформ, CMMS, аналитики и диспетчеризации, особенно у средних предприятий и в сфере управления ЖКХ и инфраструктуры²⁸.
- Гибридные архитектуры: часть функций управления и технологий, отвечающих за человеко-машинные интерфейсы HMI остается в локальном исполнении или схемах edge-вычислений, а аналитика, отчетность, архивы и сервисы машинного обучения выносятся в облако.

- Использование контейнеризации и микросервисов для быстрой развертываемости, обновляемости и масштабируемости промышленного ПО.

Что делают лидеры рынка

Siemens продвигает основанные на облачной архитектуре MES/MOM-систему Opcenter X и сочетание edge-, облачных и корпоративных сервисов. В описании платформы подчеркивается, что часть ИИ работает на периферии для минимальной задержки, тогда как глобальная аналитика и исторические данные поднимаются в облако для межзаводского сравнения и централизованного управления^{10,11}.

AVEVA CONNECT позиционируется как облачная промышленная интеллектуальная платформа с гибридными возможностями, построенная на облаке Microsoft Azure и ориентированная на интеграцию локальных и облачных приложений. Подход CONNECT демонстрирует, как облако превращается не в «замену» промышленной автоматизации, а в координирующий слой для данных, визуализации, цифровых двойников и аналитики^{14,15,23}.

Emerson/AspenTech используют Inmation и Industrial Data Fabric как механизм доставки данных из локального технологического контура в корпоративные и облачные слои, сохраняя при этом управление в реальном времени там, где оно должно оставаться локальным. Это иллюстрирует общий рыночный переход к гибридным архитектурам, а не к полному переносу АСУ ТП в облако^{17,19,24}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Отечественные MES/IIoT/SCADA-платформы должны изначально поддерживать гибридные сценарии развертывания, контейнеризацию и микросервисную архитектуру там, где это оправдано. Также важно развивать отечественные облачные и edge-платформы как инфраструктурную базу для новых поколений промышленного ПО^{10,14,19}.
- Везде, где это возможно и не противоречит требованиям безопасности, отдавать приоритет отечественным решениям, ориентированным на гибридные сценарии с опорой на российские облака и локальные ЦОД.
- Формализовать требования к DevSecOps и контейнерной упаковке для промышленного ПО.

2.11. Кибербезопасность и суверенность контуров управления

Интеграция АСУ ТП, SCADA, MES, IIoT и облачных сервисов резко усиливает значение промышленной кибербезопасности. На мировом рынке наблюдается ужесточение требований к сегментации сетей, аутентификации, разграничению доступа, безопасным протоколам, контролю обновлений и

мониторингу событий безопасности в технологических и производственных контурах^{4,20,21}.

- Рост угроз для АСУ ТП, SCADA, IIoT, BMS/BAS и MES-систем, связанных с их интеграцией в корпоративные сети и облака.
- Ужесточение требований к сегментации, защищенным протоколам, управлению учетными записями и обновлениями, а также к мониторингу инцидентов в промышленных сетях.
- Важность цифрового суверенитета: минимизация критической зависимости от зарубежных компонентов в цепочке АСУ ТП/ПЛК/IIoT/MES.

Что делают лидеры рынка

Siemens в архитектуре Industrial Edge делает акцент на безопасной и стандартизированной оркестрации edge-приложений, защищенном сборе данных и управляемой интеграции гетерогенного набора устройств с промышленными и корпоративными системами. Важен сам подход: безопасность встроена в архитектуру как обязательный слой, а не как внешнее дополнение^{11,12,21,22}.

AVEVA подчеркивает, что CONNECT обеспечивает работу в безопасной, масштабируемой среде, при этом архитектура платформы строится как открытая, но управляемая среда интеграции приложений, данных и партнеров. Это особенно важно для гибридных сценариев, где безопасность должна охватывать и локальные, и облачные компоненты^{14,15,23}.

Emerson/AspenTech и Honeywell делают упор на безопасное соединение уровня управления и корпоративного уровня, контролируемое использование моделей и аналитики, а также на промышленную фабрику данных (data fabric) с централизованным, но безопасным доступом к технологическим данным. На практике это означает, что кибер-безопасность, изначально заложенная в промышленное ПО при его создании, становится стандартом для новых поколений промышленного ПО^{17,19,24}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Для отечественного промышленного ПО необходимо закладывать требования кибербезопасности, сегментации, аутентификации, суверенному стеку и управляемой интеграции уже на уровне базовой архитектуры. Отдельный приоритет должен быть у средств безопасного обмена данными между производственным, периферийным и облачным контурами^{11,14,19}.
- Требования к безопасности и суверенности (включая отечественные ОС, СУБД, криптосредства) должны быть встроены в обязательные критерии отбора и поддержки индустриального ПО.
- Поддерживать создание специализированных средств мониторинга и реагирования на инциденты в промышленных сетях.

2.12. Унифицированные модели данных и экосистемность решений

Формирование единого пространства производственных данных и переход к платформам с открытыми API, SDK, маркетплейсам модулей и партнерским экосистемами становится важнейшим направлением развития. Производственные решения все чаще строятся не как «коробки», а как расширяемые платформы, связывающие MES, SCADA, IoT, APS, CMMS, BMS/FM-системы и аналитику в общей экосистеме^{10,14,21}.

- Формирование единого пространства производственных данных, доступного MES, SCADA, IoT, APS, CMMS, BMS/FM и аналитике.
- Переход от «коробочных» систем к платформам с открытыми API, SDK и маркетплейсами приложений, алгоритмов и коннекторов.
- Важность совместимости с PLM/ERP/BIM-системами и платформами цифровых двойников для реализации сквозной цифровой нити от проектирования до эксплуатации.

Что делают лидеры рынка

Siemens использует Industrial Edge как платформу оркестрации приложений и коннекторов, а архитектура на базе единого цифрового пространства организации и именования производственных данных UNS (Unified Naming Service) и сетевом протоколе обмена сообщениями MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) позволяет выстраивать единое пространство данных для разных классов систем. Opcenter X и связанные облачные сервисы формируют базу для платформенной экосистемы, в которой данные, приложения и аналитика могут масштабироваться на уровне предприятия и группы предприятий^{10,11,21}.

AVEVA CONNECT прямо позиционируется как открытая и нейтральная архитектура, интегрирующая разные приложения, источники данных и партнеров. Это характерный пример превращения промышленной платформы в экосистему, где ценность создается не только собственными продуктами вендора, но и партнерскими приложениями, коннекторами и аналитическими сервисами^{14,15,23}.

Emerson/AspenTech строят экосистемную логику вокруг Industrial Data Fabric, APC-систем управления технологическими процессами, EAM/АРМ-систем управления активами и производственной оптимизации, показывая, как единый слой данных может соединять управление активами, контур процесса, модели, ИИ и цепочку поставок. Аналогичную логику развивают и другие крупные поставщики, что делает экосистемность обязательным признаком зрелой промышленной платформы^{17,18,19}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- При поддержке отечественного ПО необходимо требовать открытых API, документированных моделей данных, инструментов расширения и совместимости с внешними системами. Перспективные отечественные

MES/IIoT/SCADA/BMS-платформы должны проектироваться как элементы экосистемы, а не как закрытые локальные решения^{10,14,17}.

- Необходимо поддерживать проекты, где отечественные MES/IIoT/АСУ ТП/BMS-решения являются элементами единой экосистемы, а не как закрытые отдельно используемые продукты.
- Включать в меры поддержки требования по открытым API, документированным моделям данных и возможности расширения партнерами.

2.13. Промышленная фабрика данных (data fabric) и контекстуализация данных

Целесообразно отдельно выделить усиление роли промышленной фабрики данных (data fabric) — единого слоя сбора, нормализации, обогащения и маршрутизации данных от производственных активов к MES, IIoT, аналитике, цифровым двойникам и корпоративным системам. Этот тренд частично проявляется в IIoT, использовании подхода единого цифрового пространства организации и именования производственных данных UNS и экосистемности, но на мировом рынке уже оформился в самостоятельное направление развития архитектуры промышленного ПО^{15,17,19,24}.

Что делают лидеры рынка

AspenTech Inmation является одним из наиболее явных примеров такого подхода: фабрика данных используется как легкий брокер данных от системы управления процессами DeltaV от компании Emerson Process Management, анализаторов и других источников к облачным и корпоративным контурам. Именно на этом слое строятся сценарии аналитики, ИИ, контроля качества и масштабирования^{17,19,24}.

AVEVA PI System и CONNECT решают схожую задачу через сбор, очистку, хранение, обогащение и визуализацию производственных данных, делая их доступными для множества ролей и приложений.

Siemens реализует близкую логику через Industrial Edge, MQTT и UNS, создавая унифицированный поток данных от уровня поля до предприятия^{11,14,15,21}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Отдельной задачей для отечественной технологической политики должно быть развитие собственных решений класса индустриальные (промышленные) фабрики данных и унифицированного пространства производственных данных UNS. Без этого сложно обеспечить сквозную интеграцию MES, SCADA, IIoT, APS, ТОиР, цифровых двойников и корпоративного контура на современном уровне^{11,15,19}.

2.14. Отраслевая специфика MES-систем управления производством

Этот раздел содержит краткое описание отраслевой специфики MES-систем и глобальных технологических трендов их развития в семи отраслях: судостроение, металлургия, химия, фармацевтика, электроника и микроэлектроника, лёгкая промышленность, пищевая промышленность. Это отрасли, которые имеют существенную специфику в сравнении с «классическим» машиностроением. Дополнительно приведены краткие обзоры того, что делают лидирующие разработчики соответствующих классов ПО для реализации этих трендов, с акцентом на Siemens, Dassault Systèmes, AVEVA, ABB, Rockwell Automation и специализированных отраслевых MES-решениях^{29,34,35,37,40}.

Глобально MES-системы развиваются от уровня диспетчеризации цеха и регистрации факта производства к платформам управления производственными операциями в режиме, близком к реальному времени, с глубокой интеграцией с ERP, APS, SCADA, LIMS, QMS, PLM-системами и аналитическими контурами предприятия. Для большинства отраслей основными направлениями становятся прослеживаемость, управление качеством, электронные производственные записи, оптимизация порядка выполнения производственных операций (для минимизации простоев, переналадок, потерь и обеспечения соблюдения сроков и загрузки мощностей), управление ресурсами, интеграция с ИИТ и переход к гибридным и облачным архитектурам^{32,33,35,36,37,45}.

При этом отраслевая специфика MES определяется типом производства. Для дискретных отраслей критичны пооперационное управление, маршрутные карты, сборочные операции и тесная связь с ВОР (ведомостью материалов) и производственным тактом; для процессных отраслей важны рецептуры, партии, управление отклонениями, электронные журналы, качество и контроль соответствия требованиям. Поэтому один и тот же термин MES на практике охватывает разные классы производственного ПО в зависимости от отрасли и зрелости цифрового контура предприятия^{32,35,37,41,42}.

Судостроение

В судостроении MES-система должна поддерживать единичное и мелкосерийное производство со сложной сборкой, насыщением, секционной и блочной логикой постройки, большим количеством параллельных работ, а также высокой зависимостью от кооперации и поставок. В отличие от классического серийного дискретного производства, здесь MES должно работать с длительными производственными циклами, большим количеством изменений, высокой плотностью ограничений и необходимостью синхронизации проектных, материальных и производственных статусов^{29,30,31}.

Ключевые мировые тренды в этой отрасли включают интеграцию MES-систем с цифровой нитью судна и верфи, переход к КРП, основанных на первичных данных, для мониторинга производительности, материальных потоков и длительности производственных циклов, усиление связи MES с

планированием производства и управлением качеством, а также развитие цифровой верфи как единой среды проектирования, исполнения и контроля работ^{29,30,31}.

Dassault Systèmes развивает DELMIA Shipyard Manufacturing Execution and Monitoring как отраслевое решение для крупных верфей, ориентированное на сложную структуру ограничений, решение сложных задач оптимизации производства, большие объемы производства и сложные и многогранные аспекты управления цепочками поставок. Компания подчеркивает использование основанных на данных KPI, обновлении информации в реальном времени и настройку под специфику больших судостроительных программ, что соответствует тренду на создание специализированных судостроительных MES-систем, а не универсальный цеховой MES^{29,30}.

Siemens в контуре своего ИТ-решения для оптимизации процессов судостроения Digital Ship Construction продвигает связку процессов планирования производственных процессов, управления качеством, PLM и управления производством для судостроения. Такой подход отражает переход от изолированной MES-системы к более широкому производственному контуру, где исполнение тесно связано с цифровой моделью изделия, планированием и управлением качеством на верфи^{31,37}.

AVEVA делает ставку на интегрированную цифровую среду судостроения, где инженерные данные, проектирование, 3D-модель и производственные процессы связаны между собой. Хотя позиционирование AVEVA чаще идет через процессы проектирования в судостроении и интегрированное производство судов, в практическом смысле это соответствует тренду на включение MES-функций в более широкий датацентричный контур цифровой верфи^{39,40}.

Металлургия

Для черной и цветной металлургии MES-система должно работать в непрерывных и полунепрерывных производственных цепочках, где важны балансы материалов, технологические режимы, плавки, партии, маршруты полуфабрикатов, качество и связь с лабораториями, энергетикой и промышленной автоматикой. В отрасли полного цикла MES-система должна охватывать путь от сырьевой площадки и обогащения до сталеплавильного, литейного, прокатного и отделочного переделов, а также выпуск конечной металлопродукции^{33,34}.

Глобальные тренды связаны с объединением MES и процессов управления производственными операциями, усилением сценарного управления качеством и производительностью, использованием общей технологической платформы от склада и мест промежуточного хранения металлических заготовок, до плавильного цеха, цехов горячей и холодной прокатки до линии обработки, а также более тесной интеграцией верхнего уровня MES с управлением процессами, электрическими системами, безопасностью и системами моделирования³⁴.

ABB прямо позиционирует свои решения для металлургических заводов как общую технологическую платформу для полной автоматизации, охватывающую все аспекты металлургического производства от склада до линии обработки. Особенно показательно, что ABB связывает высокоуровневую MES-систему, DCS-систему распределенного управления, управление процессами, электроэнергетикой и безопасностью в единой архитектуре, а также предлагает решения для управления процессами и эффективностью металлургического производства как часть комплексного цифрового контура отрасли³⁴.

Siemens через Opcenter Execution и более широкий стек решений для производства развивает логику прозрачного исполнения, трассировки, оптимизация порядка выполнения производственных операций, управления ресурсами, что хорошо масштабируется на металлургические предприятия с высокой сложностью потоков материалов и партий. Ключевой тренд здесь - не просто сбор производственных данных, а синхронизация исполнения по всей цепочке поставок и снижение отходов счет лучшего управления ресурсами и движением полуфабрикатов^{37,38}.

AVEVA и Rockwell Automation занимают сильные позиции в смежной части рынка – модельно-ориентированные MES-системы, видимость процессов на фабрике и гибридные отраслевые решения для разных производственных сред. Для металлургии это соответствует тренду на объединение цехового исполнения, аналитики, качества и реального мониторинга в более широкую MOM-платформу управления производством, а не в изолированный диспетчерский модуль^{35,36,39}.

Химия

В химической отрасли MES должно управлять процессами производства партий (batch-) и гибридными процессами, рецептурами, параметрами технологических режимов, изменением сырья, прослеживаемостью партий, отклонениями, журналами исполнения и качеством. Для удобрений, полимеров, пластмасс, композитов и другой химической продукции особенно важна воспроизводимость рецептов, централизованное управление формулами и возможность быстро и безопасно переносить утвержденные рецептуры между производственными площадками^{36,42}.

Глобальные тренды в химии включают стандартизацию и централизацию управления рецептурами, интеграцию производства партий с MES-системами, историю выполнения рецептов, поддержку электронных подписей и усиление связи MES-систем с отраслевыми нормативными требованиями. Все большее значение имеет и нейтральность по отношению к уровню автоматизации, чтобы MES-систему и рецептуры можно было использовать на разнородном оборудовании и в мультизаводских контурах^{36,42}.

AVEVA для непрерывных производств, где рецептуры играют важную роль, продвигает связку ИТ-решений MES for Food Producers, Track and Trace и Recipe Management, которая по функциональной логике хорошо применима

и к химическим предприятиям. Компания подчеркивает наличие стандартного набора интерфейсов, функционала исполнения рецептур на автоматизированном оборудовании, централизованного управления формулами продуктов, функционал хранения записей с полной историей и электронные подписи для соответствия нормативным требованиям, что отражает общий курс на формализацию и стандартизацию исполнения рецептурных процессов^{36,42}.

Siemens расширяет применение MES-решений и в области химических производств, что видно по функционалу Industrial Operations X и по общей логике Opcenter. Здесь ключевой акцент делается на мониторинге в реальном времени, учете потребления материалов, встроенных BI-средствах бизнес-аналитики и раннем выявлении проблем качества для снижения непродуктивного использования материалов, что соответствует отраслевому тренду на более оперативное управление процессом производства партий продукции и качеством³⁸.

Rockwell Automation и другие поставщики гибридных MES-платформ усиливают позиции за счет облачных и гибридных решений для разных типов производства. Для химии это означает рост спроса на унифицированные MES-платформы, которые можно использовать как на крупных непрерывных предприятиях, так и на рецептурных и смешанных производствах с разным уровнем автоматизации³⁵.

Фармацевтика

Для фармацевтики MES - это не только система исполнения производства, но и один из ключевых инструментов обеспечения регуляторного соответствия. Критическое значение имеют электронные записи о произведенных партиях лекарств, прослеживаемость материалов и серий, интеграция с ERP-системами и лабораторными LIMS-системами, мониторинг параметров качества, прослеживаемость аудитов, составление отчетов в реальном времени и поддержка требований к электронным подписям и контролю отклонений^{41,42}.

Глобальные тренды включают переход от бумажных записей о производстве партий продукции к электронным записям, более тесную связь MES-систем с реализацией концепции, когда качество продукции закладывается на этапе ее разработки, а не только во время производства, и на реализации подхода к управлению процессом выпуска партий продукции, который фокусируется на отклонениях и аномалиях, а не на анализе всех данных, усиление интеграции с LIMS/QMS-системами управления лабораториями и качеством, а также использование MES-систем как платформы управляемой цифровой дисциплины производства, а не просто диспетчеризации операций. В жестко регулируемых отраслях производства именно фармацевтика остается одним из главных драйверов зрелых MES-подходов^{41,42}.

Siemens развивает Opcenter и связанные MES-решения как часть линейки продуктов для производства в регулируемых отраслях, где прослеживаемость, управление ресурсами, контроль движения материалов, документация, связанная с качеством, и оптимизация порядка выполнения производственных операций, связаны в одном контуре.

AVEVA через управление рецептурами и поддержку электронной подписи явно ориентируется и на применение в области наук о жизни. Наличие функций управления записями о производстве, авторизации пользователей и поддержки нормативных требований показывает движение AVEVA в сторону применения своих ИТ-решений в регулируемых MES-процессах, реализации основанных на рецептурах процессах, где исполнение производства тесно связано с нормативным контролем⁴².

Rockwell Automation также сохраняет сильные позиции на рынке MES для регулируемых производств благодаря MES-продукту FactoryTalk и общему фокусу на обеспечении видимости и прослеживаемости производственных процессов, качестве и соблюдении нормативных требований. Общий тренд лидеров в фармацевтике — переход от набора локальных автоматизированных журналов и записей к единой платформе исполнения, качества и прослеживаемости³⁵. *Комментарий: Rockwell Automation FactoryTalk - комплексный программный комплекс, предназначенный для промышленной автоматизации и управления информацией в производственных системах. Он обеспечивает визуализацию производственных операций в режиме реального времени, мониторинг производительности оборудования и данных цепочки поставок через единую платформу.*

Электроник и микроэлектроника

В электронике и особенно в микроэлектронике MES-системы должны работать с очень высокой скоростью смены линейки продуктов, большим количеством операций, строгой дисциплиной маршрутов, чувствительностью к такому параметру, как процент выпуска функциональных устройств от общего числа устройств, изготовленных на пластине (yield), статистическому контролю качества SPC, отклонениям от номинальных параметров, интеграции оборудования и полной прослеживаемости данных о производственных партиях (лотов), пластин и отдельных единиц продукции (единиц изделия) на всех этапах производства и контроля качества. Для полупроводниковых фабрик и сборочных площадок MES-системы является фактически ядром производственного цифрового контура^{43,44}.

Ключевые мировые тренды - цифровое связывание всего жизненного цикла производства, использование цифровых двойников производства, интеграция производственных линий, процессов управления материалами и комплектующими, планирование, IoT и аналитические системы, а также высокий уровень отраслевой функциональности, доступной в стандартной конфигурации «из коробки» при сохранении возможностей по конфигурированию и обеспечению совместимости. Электроника и

микроэлектроника - один из сегментов, где спрос на специализированные вертикальные MES-системы наиболее выражен^{43,44}.

Siemens занимает особенно сильные позиции в отрасли за счет ИТ-решения Opcenter Execution Semiconductor, которое прямо ориентировано на процесс производства интегральных схем или полупроводниковых чипов на поверхности кремниевой или арсенид-галлиевой пластины, сборку и тестирование. Решение сфокусировано на предоставлении функционала, связанного с повышением продуктивности производства, процента выхода качественной продукции, оптимизации затрат, надежном внедрении производства новых продуктов, детальном сборе информации от датчиков оборудования и использованием цифровых двойников производства вместе с процессами статистического контроля SPC и отслеживания отклонений от нормативных параметров^{43,44}.

Critical Manufacturing (компания, которая разрабатывает и предоставляет MES-системы управления производственными операциями для высокотехнологичных отраслей, включая электронику, полупроводники, медицинские устройства и производство промышленного оборудования, является дочерней компанией ASMPT) в отраслевых оценках рассматривается как один из сильных игроков именно для высокотехнологичных производств и производителей полупроводников за счет отраслевого фокуса, реализации технологий работы с IoT, продвинутых средств аналитики, использования AR-технологий дополненной реальности для предоставления инструкций специалистам на производстве и поддержке архитектуры использования контейнеров для развертывания решений. Это показывает, что мировой рынок MES-систем для производства микроэлектроники движется к высокоспециализированным, модульным и облачно-совместимым платформам, а не к универсальным системам общего назначения⁴⁵.

Rockwell Automation и Siemens также используют общую логику гибридных и MES-систем, применимых во многих отраслях, но в высокотехнологичной электронике конкурентное преимущество все чаще создается именно глубиной отраслевой функциональности, а не только зрелостью базовой платформы^{35,43,45}.

Легкая промышленность

В легкой промышленности MES-системы должны управлять большим количеством коротких производственных циклов, высокой вариативностью моделей и размеров, трудоемкими операциями раскроя, шитья, комплектования и отделки, а также кооперацией между подрядчиками и распределенными площадками. В отличие от классической автоматизированной дискретной промышленности здесь MES-системы должны работать не только с оборудованием, но и с человеческим трудом, производительностью смен, полуфабрикатами, операционной дисциплиной и изменениями модельного ряда^{46,47}.

Глобальные тренды включают более детальное управление подготовкой производства и непосредственно производством, цифровое сопровождение стадии раскроя ткани по лекалам, поддержку работы с наборами данных о продукте, цветах, моделирования цены, контроле и оптимизации поставок. Для отрасли характерен переход от локальных систем учета операций в цехе к отраслевым MES/ERP-контурам, учитывающим специфику коллекций, сезонности и подрядной кооперации^{46,47,48}.

В легкой промышленности мировой рынок более фрагментирован, чем в фармацевтике или полупроводниках, и здесь сильнее представлены специализированные отраслевые решения. MES-система Garment позиционируется как система, специально спроектированная для швейной промышленности, ориентированная на детализированные процессы контроля и организации производственных процессов и особенно на стадии раскроя материала, где ведется интеллектуальное планирование и постоянный контроль действий по подготовке производства⁴⁶.

ИТ-решение «just MES» (специализированный программный MES-комплекс для управления производственными процессами в индустрии моды и одежды разработан компанией PA Expertise с учетом специфики текстильной и фэшн-отрасли в контексте Industry 4.0 и Industry 5.0) делает акцент на управлении эволюцией соответствующих выпускаемых продуктов, работе со спецификациями материалов BOM, управлении информацией о цветах, моделировании стоимости, подготовке производственных инструкций, контроле и оптимизации процессов в рамках всей цепочки создания добавленной стоимости. Это показывает, что для отрасли критично не столько стандартные «машиноцентричные» MES-системы, сколько производственно-операционные системы, тесно связанная с ассортиментом, цветовыми вариантами, затратами и кооперацией⁴⁷.

Дополнительно усиливается интеграция отраслевых MES с CAD/PLM и ERP-контурами текстильного и швейного производства, что видно и по специализированным предложениям ERP+MES для производства швейных изделий. В результате лидирующие решения в отрасли постепенно движутся к цифровым платформам, объединяющим различные аспекты управления производственными и операционными процессами, связанными с производством одежды, объединяющими предсерийную подготовку, операционное исполнение и аналитику производительности⁴⁸.

Пищевая промышленность

Для пищевой промышленности MES-системы должны управлять рецептурами, производством партий продукции, прослеживаемостью ингредиентов и партий, качеством, производственной гигиеной, маркировкой и быстрым реагированием на отклонения. Особенно важны связи между управлением заказами, управлением рецептурой, управлением производством партий продукции, безопасностью пищевых продуктов и полной прослеживаемостью на всем пути от сырья до готовой продукции^{36,39,42,49}.

Глобальные тренды включают развитие доверенной прослеживаемости от поля до стола, использование MES-систем, ориентированных на рецептурное производство, автоматизацию процессов загрузки и выполнения рецептуры, связь с контролем качества и обеспечение целостности процессов для постоянного обеспечения качества при высоком уровне безопасности производства продуктов питания. Для пищевой отрасли все чаще важна не только внутривароводская прослеживаемость, но и прозрачность происхождения сырья и событий по всей цепочке поставок^{36,39,42,49}.

AVEVA является одним из наиболее заметных поставщиков MES-систем для пищевой промышленности за счет связки таких ИТ-решений, как MES for Food Producers, Track and Trace Food Traceability и Recipe Management. Компания делает акцент на преднастроенных и конфигурируемых решениях для управления заказами, управления рецептурой и производства партий продукции, автоматизации процессов загрузки рецептов и производства на их основе, обеспечения гибкости производственных процессов и реализации процессов контроля качества, что полностью соответствует ключевым мировым трендам отрасли^{36,39,42}.

Siemens связывает функционал MES-систем и повестку отслеживания сырья с более широким взглядом на умное производство и доверенную среду отслеживаемости, включая использование технологий блокчейн для увеличения прозрачности от поля до стола. Это показывает, что лидеры рынка уже рассматривают MES-системы для пищевой промышленности не только как системы уровня цеха, но как часть расширенного контура доверенной прослеживаемости и управления безопасностью продукции^{37,49}.

Rockwell Automation и другие поставщики гибридных MES-систем поддерживают спрос на обеспечение видимости производства, контроля и управления в реальном времени и производства продукции на множестве производственных площадок, однако в пищевой отрасли конкурентное преимущество все сильнее смещается в сторону специализированных функций работы с рецептурным производством, отслеживаемостью и быстрой адаптации к требованиям безопасности и маркировки продукции^{35,36}.

Краткие выводы

MES-системы в разных отраслях развиваются по разным траекториям, но общий вектор единый: от локального учета исполнения к сквозному управлению производственными операциями, качеством, прослеживаемостью и ресурсами на основе данных в режиме, близком к реальному времени. Во всех рассмотренных секторах усиливается интеграция MES с ERP, PLM, SCADA, LIMS, QMS-системами, аналитикой и IoT, а также растет значение отраслевых шаблонов и специализированной функциональности^{32,35,37,41,43,45}.

Для дискретных сложных производств, таких как судостроение и электроника, приоритетны оптимизация последовательности выполнения производственных операций, маршрутное исполнение, цифровая нить и межсистемная синхронизация. Для процессных и жестко регулируемых

отраслей - металлургии, химии, фармацевтики и пищевой промышленности - критичны рецептуры, управление производством партий продукции, электронные записи, обеспечение соответствия нормативным требованиям и прослеживаемость. Для легкой промышленности ключевым становится управление вариативностью ассортимента, ручными операциями, предсерийной подготовкой и распределенной кооперацией^{29,34,41,43,46,49}.

2.15. Выводы в отношении ПО управления технологическими и производственными процессами

Глобальные технологические тренды в области MES, АСУ ТП, ПоТ и смежных классов ПО показывают, что мировые лидеры уходят от разрозненных систем к платформам, объединяющим исполнение производства, диспетчеризацию, аналитику, цифровые двойники, управление активами, обслуживание и облачные сервисы в единой архитектуре^{10,14,17}. Наиболее выраженными сквозными направлениями являются платформизация, ПоТ и edge-вычисления, промышленные фабрики данных, интеграция ИИ с APC/RTO-системами, гибридные архитектуры, открытые стандарты обмена и экосистемность решений^{11,15,18,21}.

Для формирования приоритетов развития отечественного промышленного ПО это означает необходимость поддержки не только отдельных классов решений, но и целостных операционных платформ, способных обеспечить интеграцию ИТ- и ОТ-контуров, построение цифровых двойников производств и объектов, безопасную работу с данными и развитие отраслевых экосистем. Особенно важны единые модели данных, открытые интерфейсы, отечественные ПоТ- и edge-платформы, а также встроенные механизмы промышленного ИИ и кибербезопасности^{10,14,19,23}.

Источники информации

1. MES Trends 2025 for Smart Manufacturing - <https://www.znt-richter.com/en/blog/mes-trends-2025-for-smart-manufacturing>
2. Industrial Software Operations Management—Manufacturing Execution Systems (MES) Spotlight - <https://cdn.hl.com/pdf/2025/2025-hl-mes-spotlight.pdf>
3. Эксперты рассказали об изменениях подхода к промышленному интернету вещей в 2026 году - <https://telesputnik.ru/materials/trends/article/eksperty-rasskazali-ob-izmeneniyax-podxoda-k-promyslennomu-internetu-veshhei-v-2026-godu>
4. Исследование рынка АСУ ТП в России - <https://ultimatec.ru/upload/iblock/e25/nqo46m525n74e0befzby50cvbe0ns39z.pdf>
5. Эксперты STAQ обозначили ключевые сценарии использования IoT и MES-платформ в России по итогам 2025 года - <https://www.itweek.ru/iot/news-company/detail.php?ID=234189>

6. Рынок систем диспетчерского управления технологическими процессами и сбором данных (SCADA-систем) - <https://json.tv/analytic/analiz-rynka-sistem-dispet-ch-erskogo-upravleni-ya-tehnologi-ch-eskimi-pro-cz-essami-i-sborom-dannyh-scada-sistem-v-ramkah-napravleni-ya-tehnet-nti/>
7. The integrated factory: How Opcenter X bridges IT and OT for next-gen manufacturing - <https://blogs.sw.siemens.com/opcenter/the-integrated-factory-how-opcenter-x-bridges-it-and-ot-for-next-gen-manufacturing/>
8. Siemens - ABI Research - <https://www.abiresearch.com/companies/siemens>
9. Performance Insight - Manual - Industrial Edge - <https://docs.industrial-operations-x.siemens.cloud/r/en-us/v1.19/performance-insight>
10. Integrate shop floor data to SCADA with Industrial Edge - <https://www.siemens.com/en-us/company/insights/industrial-operations-x/architecture-hub/scada/>
11. Industrial Edge - <https://www.siemens.com/ru-ru/products/industrial-edge/>
12. Прогнозное обслуживание на базе ИИ - <https://ru.linkedin.com/pulse/ai-powered-predictive-maintenance-future-industrial-siemens-shitut-qz0lf>
13. AVEVA CONNECT: Accelerating Industrial Intelligence with xLM - <https://www.continuousintelligence.ai/blog/aveva-connect-accelerating-industrial-intelligence-xlm>
14. AVEVA PI System - <https://www.aveva.com/en/products/aveva-pi-system/>
15. AVEVA PI System Presales Training for SI's - https://www.benelux.avevaselect.com/wp-content/uploads/2023/07/AVEVA_PI_SI_Presales_Training_v1.pdf
16. Continua to Present at Emerson Exchange 2025 - <https://www.continuaps.com/continua-to-present-at-emerson-exchange-2025/>
17. Roadmap of AspenTech Products - <https://www.emersonautomationexperts.com/2025/industrial-software/roadmap-aspentech-products/>
18. Data & Digital: TotalEnergies and Emerson Sign a Strategic Collaboration - <https://totalenergies.com/newsroom/data-digital-totalenergies-and-emerson-sign-strategic-collaboration-boost-value/?lang=eng>
19. AVEVA World 2026 - <https://events.aveva.com/aw-2025/?sort=-name>
20. What drives the next stage of HMI/SCADA? - <https://www.cta.ru/news/cta/182076.html>
21. Industrial Edge acts as the central orchestration platform for secure and standardized data acquisition - <https://www.siemens.com/en-us/company/insights/industrial-operations-x/architecture-hub/scada/>
22. Industrial Edge — это платформа периферийных вычислений - <https://www.siemens.com/ru-ru/products/industrial-edge/>
23. AVEVA CONNECT and xLM are accelerating industrial intelligence - <https://www.continuousintelligence.ai/blog/aveva-connect-accelerating-industrial-intelligence-xlm>

24. AspenTech Inmation across industrial sites worldwide - <https://totalenergies.com/newsroom/data-digital-totalenergies-and-emerson-sign-strategic-collaboration-boost-value/?lang=eng>
25. Что движет следующим этапом развития HMI/SCADA? – URL: <https://www.cta.ru/news/cta/182076.html>
26. Ключевые тренды развития HMI/SCADA-систем: что движет следующим этапом автоматизации? – URL: https://kael.pro/company/news/klyuchevye_trendy_razvitiya_hmi_scada_sistem_chno_dvizhet sleduyushchim etapom avtomatizatsii/
27. Industrial Software Analysis Report 2025: Global Market to Reach \$189.68 Billion by 2029 - Automation and Robotics are Creating Higher Opportunities for New Market Entrants – URL: <https://finance.yahoo.com/news/industrial-software-analysis-report-2025-080700694.html>
28. Использование IoT- и MES-платформ в России: сценарии и перспективы – URL: <https://www.iksmedia.ru/news/6077218-Ispolzovanie-IoT-i-MESplatform-v.html>
29. Shipyard Manufacturing Execution and Monitoring - <https://r1132100503382-eu1-my3dexperience.3dexperience.3ds.com/welcome/compass-world/3dexperience-industries/marine-and-offshore>
30. Manufacturing Execution and Monitoring Solution - Marine & Offshore - <https://www.youtube.com/watch?v=MKKEQ3rk7Mk>
31. Digital Ship Construction - Siemens - <https://www.siemens.com/en-us/digital-thread/smart-manufacturing/ship-construction/>
32. MES: Manufacturing Execution System Integration - INEA - <https://www.inea.eu/manufacturing-execution-systems/>
33. MES system in industry – The foundation of a modern factory - <https://explitia.com/blog/mes-system-in-industry/>
34. ABB process control solutions for metals plants - <https://new.abb.com/control-systems/industry-specific-solutions/metals>
35. Manufacturing Execution Systems | FactoryTalk MES - <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/software/factorytalk/operationsuite/mes.html>
36. What is Manufacturing Execution System | MES - AVEVA - <https://www.aveva.com/en/solutions/operations/what-is-a-mes/>
37. Opcenter Execution - Siemens - <https://www.siemens.com/en-us/products/opcenter/execution/>
38. Industrial Operations X (MES) - <https://www.siemens.com/en-us/products/conwell-industrial-operations-x-mes/>
39. AVEVA MES - <https://www.factorysoftware.com/software/aveva-mes>
40. Opcenter Execution - Siemens (русская версия) - <https://www.siemens.com/ru-ru/products/opcenter/execution/>
41. What are the key features of a pharma MES system? - <https://www.idbs.com/knowledge-base/what-are-the-key-features-of-a-pharma-mes-system/>

- 42.AVEVA Recipe Management -
<https://www.factorysoftware.com/software/aveva-recipe-management>
- 43.Opcenter Execution Semiconductor - Siemens - <https://www.siemens.com/en-gb/products/opcenter/execution/semiconductor/>
- 44.Learn More - Opcenter Execution Semiconductor -
<https://www.siemens.com/en-us/products/opcenter/execution/semiconductor/>
- 45.Top Manufacturing Execution System (MES) Software Vendors -
<https://www.abiresearch.com/blog/top-manufacturing-execution-system-mes-software>
- 46.MES Garment - <https://nascence.tech/products/apparel-industry-solution/mes-garment/>
- 47.just MES modules for the Fashion & Apparel Industry - <https://www.just-mes.com/en/sectors/fashion-apparel>
- 48.MES and ERP for textile manufacturing - <https://www.inteos.com/en/products-solutions/erp-mes/>
- 49.Trusted traceability - Siemens -
<https://www.siemens.com/global/en/industries/food-beverage/use-cases/trusted-traceability.html>

3. Глобальные технологические приоритеты в области индустриального (промышленного) ПО корпоративного уровня и ПО управления ресурсами предприятий

Ниже — перечень ключевых глобальных технологических трендов, которые сегодня определяют развитие классов программного обеспечения, которые можно отнести к корпоративному промышленному ПО (системы планирования производственных ресурсов MRP, системы управления межзаводской кооперацией (в т.ч. контрактно-договорной деятельностью) (MCM/AMM), системы управления лабораторной информацией (LIMS) и ПО управления ресурсами предприятия (ERP, CRM, WMS и пр.) и др.

На глобальном рынке корпоративного промышленного ПО усиливается переход от классических учетных и транзакционных систем к платформам данных, экосистемам приложений и интеллектуальным цифровым контурам управления ресурсами, цепочками поставок, взаимоотношениями с клиентами и эксплуатацией активов. Рынок движется в сторону облачных и гибридных архитектур, встраивания ИИ в прикладные процессы, глубокой отраслевой вертикализации и превращения ERP/SCM/CRM-платформ в основу цифровой нити от клиента и заказа до производства, сервиса и финансового результата^{1,3,5,6}.

В числе наиболее влиятельных мировых игроков в этом сегменте выступают SAP, Oracle, Microsoft, Salesforce, Infor, ServiceNow, а в ряде направлений — также специализированные поставщики CPM/EPM, SCM, WMS, TMS, EHS и отраслевых сервисных платформ. Именно они сегодня задают направления эволюции корпоративного промышленного ПО, которые необходимо учитывать при формировании технологических приоритетов и мер поддержки отечественного программного обеспечения^{4,7,8,9}.

3.1 Датацентричные ERP-системы и «фабрика данных» предприятия

Одним из ключевых мировых трендов является превращение ERP, MRP, SCM и EAM-систем из систем учета и транзакционной обработки в единые платформы данных предприятия. На практике это означает формирование единого слоя корпоративных данных по финансам, ресурсам, поставкам, активам, клиентам и производству, который затем используется как для операционного управления, так и для ИИ, аналитики и сценарного планирования^{1,2,10,11}.

- ERP, MRP, SCM и EAM эволюционируют из систем учета в **единые платформы или фабрики данных** («data fabric»/«data factory») с ролью одного источника истины по финансам, ресурсам, цепочкам поставок и сервису^{1,2}.
- Усиливается сквозная интеграция ERP-систем с системами классов MES, PLM, WMS и TMS: данные о заказах, производственных мощностях, запасах, перевозках и процессах производства собираются в единую модель для оперативных и стратегических решений.

Что делают лидеры рынка

SAP последовательно развивает концепцию единой платформы данных через SAP Business Data Cloud, которая позиционируется как SaaS-решение для объединения критически важных корпоративных данных, поддержки аналитики и надежного ИИ. В анонсах SAP 2025 года Business Data Cloud прямо связывается с новой платформой Business Suite (модульная облачная платформа от компании SAP, которая объединяет приложения, данные и искусственный интеллект для управления бизнес-процессами) и Joule (ИИ-ассистент от SAP, который встроен в облачный портфель корпоративных решений компании и который выступает в роли проактивного интеллектуального ассистента, который понимает контекст бизнес-процессов и обрабатывает большие объемы данных из систем SAP и внешних источников). Акцент делается на интеграции собственных и сторонних данных, что показывает движение SAP от набора прикладных модулей к единой датацентричной платформе^{12,13,14,15}.

Oracle в Oracle Fusion Cloud Applications также усиливает роль общего слоя данных и общей модели объектов для систем классов ERP, SCM, HRM управления кадровыми ресурсами и ПО для взаимодействия с клиентами, на базе которых затем разворачиваются ИИ-агенты, рабочие пространства и аналитические сценарии. Особенно показательно, что новые агентные приложения, т.е. прикладные решения, в которых ИИ-агенты не только отвечают на запросы, но и выполняют действия в бизнес-процессах, и ИИ-агенты строятся не как внешние надстройки, а как часть общей облачной бизнес-платформы Oracle^{16,17,18}.

Microsoft через ERP-систему Dynamics 365, Microsoft 365 Copilot (интеллектуальный помощник с ИИ (чат-бот), встроенный в экосистему Microsoft 365, который не является отдельным приложением, встроен в другие продукты Microsoft — Word, Excel, PowerPoint, Outlook, Teams) и Power Platform (платформа для цифровой трансформации бизнеса, которая объединяет набор инструментов для автоматизации бизнес-процессов, анализа данных, создания приложений и интеграции с другими сервисами) развивает модель корпоративного контура, в котором данные ERP, цепочек поставок, финансов, данные о складах и сервисах автоматизации деятельности предприятия объединяются для последующего использования в Copilot, агентных сценариях и управленческой аналитике. Это особенно заметно в Dynamics 365 Supply Chain Management, где функции прогнозирования, снабжения, контроля качества и логистики все теснее связываются с генеративным ИИ и Power Platform^{19,20,21}.

Salesforce и Infor идут в том же направлении, но с более выраженным акцентом на отраслевые и клиентские сценарии. Salesforce развивает Data Cloud как единый слой данных для Manufacturing Cloud (облачная CRM-платформа, специально созданная для производственной отрасли) и Agentforce (облачное решение с использованием агентного ИИ для автоматизации и улучшения всего жизненного цикла продаж и обслуживания), а Infor строит

отраслевые CloudSuite как платформы, объединяющие ERP, складскую, производственную и аналитическую информацию на общей облачной основе^{22,23,24,25}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Для отечественного корпоративного ПО это означает необходимость развития не просто ERP-систем, а платформ данных предприятия с едиными моделями справочников, событий и бизнес-объектов. Отдельный приоритет должны получить стандартизованные модели обмена между ERP, MES, PLM, WMS, TMS, CRM и отраслевыми, в том числе, государственными, информационными системами^{1,2,12}.
- Необходимо поддерживать проекты, которые развивают отечественное ПО ERP/SCM/CPM как платформ, а не только как бухгалтерско-учетные системы.

3.2. Встраивание ИИ, продвинутой аналитики и DSS-систем поддержки принятия решений в корпоративные контуры

ИИ и продвинутая аналитика становятся встроенной частью ERP, SCM, CRM и CPM/ERP-систем. Тренд смещается от классической BI-отчетности к проактивным рекомендациям, интеллектуальной автоматизации, поиску аномалий, прогнозированию спроса, рисков и запасов, а также к частичной автоматизации автономного исполнения управленческих действий в закупках, логистике, финансах, клиентском сервисе и производственной кооперации^{3,5,7}.

- Искусственный интеллект и машинное обучение становятся неотъемлемой частью ERP/SCM/CRM-решений: прогнозирование спроса, динамическое ценообразование, предиктивное управление запасами, выявление аномалий и рисков³.
- Функции систем поддержки принятия решений и анализа данных (DSS/BI-функции) переходят от статической отчетности к проактивным рекомендациям, саморегулирующимся и самовосстанавливающимся после сбоев процессам и полуавтоматическому принятию решений в закупках, снабжении, логистике и сервисе.

Что делают лидеры рынка

SAP делает ставку на Joule и SAP Business AI, связывая ИИ с Business Data Cloud и прикладными бизнес-процессами. В материалах SAP 2025 года подчеркивается, что ИИ-ассистент Joule распространяет ИИ-агентов по всей организации и опирается на гармонизированные бизнес-данные, то есть ИИ становится не внешним чат-интерфейсом, а рабочим инструментом в ERP- и SCM-процессах^{13,14,26}.

Oracle особенно активно развивает встроенных ИИ-агентов внутри систем Fusion Cloud ERP, SCM, HRM и CX (инструменты для управления взаимодействием с клиентами на протяжении всего жизненного цикла). В

последних версиях компания представила десятки новых ИИ-агентов и агентных приложений, включая Security Command Center (командный центр кибер-безопасности), Ledger Agent и Payables Agent для управления финансами, агентов для сценариев выбора поставщиков и выполнения заказов (sourcing- и fulfillment), а также инструменты для контроля доступа и финансового закрытия. Это один из самых ярких примеров перехода корпоративного ПО к агентной модели управления и принятия решений^{16,17,18,27}.

Microsoft встраивает Copilot и генеративные функции в модули управления финансами и цепочками поставок Dynamics 365 Finance и Supply Chain Management, включая прогнозирование спроса, агента для коммуникаций с поставщиками, аналитику качества данных и автоматизацию финансовых операций. Через Power Platform компания дополняет ERP-контур low-code-инструментами, ИИ-движками и сценариями оркестрации процессов, что делает корпоративный ИИ доступным на уровне конкретных бизнес-процессов, а не только центральной аналитики^{19,20,21}.

Salesforce развивает Agentforce for Manufacturing как отраслевой агентный слой поверх Manufacturing Cloud, Field Service и Data Cloud. Агентные сценарии используются для поддержки продаж, сервиса, спроса, запасов и взаимодействия с клиентами, а сами агенты опираются на отраслевую модель данных и соединение ERP-, IoT- и данных от «полевого персонала»^{22,23,28,29}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- При поддержке отечественного ПО нужно отдельно учитывать ИИ-надстройки для ERP, SCM, CRM и CPM/ERP как самостоятельное направление развития. Для критически важных процессов необходимо также требовать прозрачности моделей, возможности аудита рекомендаций, верификации качества ИИ и ограничения автономности в чувствительных управленческих сценариях^{3,13,16}.
- При отборе проектов необходимо уделять внимание наличию в разрабатываемых ИТ-решениях отдельных направлений поддержки ИИ-надстроек для существующих ERP/SCM/CRM-систем и разработке платформ искусственного интеллекта, готовых к использованию в этих системах.
- Требовать обеспечения прозрачности алгоритмов и верификации моделей ИИ для критичных решений (финансы, промышленная безопасность, снабжение и пр.).

3.3. Облачные, модульные и микросервисные архитектуры

Корпоративные платформы управления ресурсами все активнее уходят от монолитных архитектур к модульным, сервисно-ориентированным и микросервисным моделям. Это упрощает масштабирование, обновление, интеграцию и отраслевую настройку, а также создает основу для гибридного развертывания в частных и публичных облаках при сохранении on-prem-вариантов там, где это необходимо по требованиям безопасности и суверенности^{4,8,9}.

- ERP, SCM, CRM и CPM уходят от монолитных к модульным и микросервисным архитектурам, что упрощает масштабирование, обновление и интеграцию с другими системами.
- Облако и гибридные модели (частное/публичное облако + on-prem) становятся де-факто стандартом для корпоративных приложений, включая финансовый контур и цепочки поставок⁴.

Что делают лидеры рынка

SAP строит новую платформу Business Suite как интегрированную облачную архитектуру, соединяющую приложения, данные и ИИ. Business Data Cloud и облачные модули SAP фактически формируют единый сервисный контур, который позволяет постепенно переходить от монолитной ERP-логики к модульной облачной платформе с расширяемыми сервисами и интеллектуальными агентами^{12,13,14}.

Oracle развивает Fusion Cloud Applications как единый облачный стек систем ERP, SCM, HCM и CX с регулярными волноподобными релизами, новыми ИИ-агентами и no-code/low-code-инструментами через AI Agent Studio. Это отражает зрелую модель корпоративной облачной платформы, где большая часть инноваций поставляется как сервис, а не как кастомизированные инсталляции отдельных модулей^{16,17,18}.

Infor позиционирует свои CloudSuite для промышленности как отраслевые ERP-платформы, работающие на облачной платформе AWS (Amazon Web Services) и дополненные Infor Velocity Suite, включающим основанную на использовании ИИ автоматизацию, аналитику по исполняемым процессам и инновации их реализации в бизнес-процессах ERP-системы. Это наглядный пример облачной вертикализированной платформы, в которой ERP, аналитика, процессы и отраслевые функции изначально развиваются как единый сервисный стек^{24,25}.

Microsoft и ServiceNow (американская компания, которая разрабатывает облачные программные платформы для автоматизации бизнес-процессов) также усиливают роль облачных и компонуемой (или модульной) архитектуры: первая — через связку Dynamics 365, Azure и Power Platform, вторая — через AI Platform и workflow-слой автоматизации бизнес-процессов, претендующий на роль оркестратора межсистемных процессов. Это подтверждает, что облачное и компонуемое/модульное программное обеспечение стали де-факто рыночным стандартом^{19,20,30,31}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Отечественные ERP/SCM/CRM-платформы целесообразно развивать как модульные и микросервисные решения с поддержкой гибридного развертывания в российских облаках, контейнеризации и отраслевой расширяемости. При этом важны не только технологии развертывания, но и архитектурные принципы совместимости, независимого обновления компонентов и безопасной интеграции^{4,24,30}.

3.4. Сквозная цифровая нить от клиента до производства и сервиса

На глобальном рынке усиливается тренд на построение единой цифровой нити: от маркетинга, продаж и заказа к планированию, снабжению, производству, складу, логистике, сервису и возврату данных в финансовый и продуктовый контур. Для промышленности это особенно важно, поскольку данные клиента, спецификация изделия, производственные ограничения, поставки и сервисные контракты должны рассматриваться как части одного управленческого цикла^{2,5,6}.

- Формируется единая цифровая нить: CRM → OM/OMS → ERP/MRP → SCM/WMS/TMS → MES → MRO/SLM/FSM, где данные о взаимодействиях с клиентами, заказанным ими продуктах и спецификациях, производственных возможностях и сервисе связаны в реальном времени. Это цепочка систем управления отношениями с клиентами, управления заказами, управления корпоративными и производственными ресурсами, цепочками поставок, складом, транспортом, управления непосредственно производством, технического обслуживания выпущенных изделий в рамках всего жизненного цикла.
- MCM-системы межзаводской кооперации интегрируются в эту нить, обеспечивая управление цепочками субподрядчиков, договоров и поставок по единой модели. *Комментарий: MCM (Manufacturing Control Module) — системы, которые могут входить в состав комплексных решений для управления производством и могут включать функции планирования, диспетчеризации, контроля производственных операций, управления ресурсами (оборудование, персонал), качества и аналитики эффективности.*

Что делают лидеры рынка

SAP традиционно силен именно в сквозной интеграции процессов от ERP до цепочек поставок, управления активами и сервисных контуров. Новая логика Business Suite и Business Data Cloud усиливает эту линию за счет единой модели данных и ИИ-слоя, связывающего данные о клиентах, финансах, цепочках поставок и продуктах/услугах в одном управленческом пространстве^{12,13,14}.

Oracle в Fusion Cloud Applications объединяет ERP, SCM и CX-системы управления отношениями с клиентами не только на уровне интерфейсов, но и через общую объектную модель, рабочие пространства и ИИ-агентов. Особенно показательное появление таких продуктов, как Design-to-Source Workspace, Sourcing Command Center и новых сервисно-ориентированных агентов, что фактически отражает движение к цифровой нити от продукта и снабжения до исполнения, продаж и сервиса^{17,18,27}. *Комментарий: Oracle Design-to-Source Workspace - это агентское ИИ-приложение (Agentic AI Application) от Oracle, которое объединяет процессы проектирования и закупок в единый непрерывный цикл. Sourcing Command Center - это еще одно агентское ИИ-приложение в рамках Oracle Fusion Cloud Applications, которое предназначено для отделов закупок и помогает ускорить принятие закупочных решений, эффективнее вести переговоры и управлять приоритетными исключениями.*

Salesforce развивает клиенто- и сервисно-центричную часть цифровой нити через Manufacturing Cloud, Field Service, Data Cloud и Agentforce for Manufacturing. Это совокупность решений для оптимизации производственных и сервисных процессов, управления данными и автоматизации задач с помощью ИИ. Они входят в экосистему Salesforce и предназначены для повышения эффективности в сфере производства. Компания прямо позиционирует свою платформу как цифровую платформу взаимодействия, которая объединяет в единое целое предприятия и процессы, совместно создающие добавочную стоимость, а Data Cloud связывает данные об активах, клиентах, гарантиях, продажах и сервисе в единой модели^{22,23,28}.е

Microsoft и Infor встраивают ПО для управления цепочками поставок, управления складской логистикой, финансами и управление сценариями организации производственных процессов в единый контур бизнес-операций, что особенно важно для предприятий с распределёнными цепочками поставок и сложной кооперацией. В целом рынок уходит от отдельных систем к единой цифровой нити клиента, заказа, производства и сервиса^{19,24,25}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Приоритетная поддержка отечественных решений должна учитывать необходимость межсистемной цифровой нити: CRM/OMS → ERP/MRP → SCM/WMS/TMS → MES → MRO/SLM/FSM. Для этого нужны не только интерфейсы интеграции, но и единые модели заказов, статусов, материальных потоков, сервисных событий и контрактных обязательств^{2,5,12}.
- Ставить условием господдержки проектов наличие плана интеграции CRM/ERP/SCM с производственными и сервисными системами.

3.5. Клиент-центричная модель: CRM, SLM, ILS, MRO и FSM (системы управления отношениями с клиентами, сервисного обслуживания, логистической поддержки и ремонта поставленных изделий)

В промышленности CRM-система перестает быть только системой продаж и постепенно превращается в ядро клиентского, сервисного и контрактного взаимодействия. В связке с SLM, MRO, FSM и ILS/ИЛП она становится частью сквозного управления изделием и клиентом после поставки, что особенно важно для сложной техники, инфраструктуры, энергетики, транспорта и оборонно-промышленных комплексов^{5,6,32}.

- CRM перестает быть только системой продаж: она интегрируется с ERP, SLM, FSM и ILS-системами, формируя сквозной взгляд на клиента, изделие и сервисный контракт⁵.
- Важность управления жизненным циклом сервисного обслуживания (SLM) и MRO-систем, обеспечивающих процессы технического обслуживания и ремонта поставленных заказчикам изделий, растет: данные эксплуатации и сервиса замыкаются обратно в ERP, PLM и CPM-системы для влияния на продуктовую и инвестиционную политику (CPM – Corporate Performance Management – средства управления эффективностью предприятия).

Что делают лидеры рынка

Salesforce является одним из наиболее заметных лидеров этого тренда. Manufacturing Cloud и Field Service в сочетании с Agentforce и Data Cloud позволяют объединять данные продаж, контрактов, гарантий, активов, телеметрии и сервисных обращений, а затем использовать их в проактивном клиентском сервисе и управлении жизненным циклом обслуживания^{22,23,28,29}.

SAP и Oracle также расширяют CRM- и сервисные контуры, увязывая его с ERP, SCM-системами и системами, которые обрабатывают данные об активах и бизнес-процессах. Для SAP это выражается в общей логике Business Suite и Joule для процессов, связанных с взаимодействием с клиентами и оказания сервисных услуг, для Oracle — в Fusion CX, и ИИ-агентах, связанных с оказанием услуг на местах и тесной связи сервисного контура с ERP/SCM и ИИ-агентами внутри Fusion Apps^{13,16,17}.

Microsoft развивает связку линейки продуктов Dynamics 365 Customer Service, Field Service, Supply Chain и Finance, а Infor предлагает отраслевые конфигурации с акцентом на послепродажное обслуживание, активы и эксплуатацию. Это подтверждает общий тренд: сервисные данные становятся стратегическим активом и возвращаются в планирование, запасы, продажи и продуктовые решения^{19,24,25}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Развитие отечественных ERP/CRM-платформ в промышленности следует увязывать с SLM, MRO, FSM и ИЛП/ILS-подходами, обеспечивающими все аспекты сервисного обслуживания и ремонта изделий и инфраструктурных объектов. Для сложной техники и инфраструктуры это должно

рассматриваться не как дополнительная функциональность, а как обязательная часть полного жизненного цикла изделия и сервисного контракта^{5,32}.

- Приоритизировать поддержку проектов, в которых используется и учитывается ИЛП/ILS-подход обеспечения интегрированной логистической поддержки поставленных заказчикам сложных изделий (ОПК, транспорт, энергетика) в PLM/ERP/SCM/SLM-системах.

3.6. Цепочки поставок: устойчивость, прозрачность и производственная кооперация (SCM, SRM, TMS, WMS)

SCM и SRM-системы управления цепочками поставок и оптимизации закупочной деятельности все в большей степени смещаются от планирования и учета к управлению устойчивостью цепочек поставок, многосценарному планированию, мониторингу контрагентов, кооперации и контролю рисков. Дополнительно усиливается интеграция с системами управления транспортом и складской логистики TMS и WMS, снабжением, поставщиками, складской логистикой и производственными данными в режиме, близком к реальному времени^{3,6,19}.

- Функционал SCM и SRM-систем, обеспечивающих цепочки поставок и закупочную деятельность, смещается от «планирования и учета» к управлению рисками и устойчивостью цепочек поставок, включая многосценарное планирование и мониторинг контрагентов³.
- Глубокая интеграция SCM-систем управления цепочками поставок с TMS и FMS-системами управления транспортом и WMS-системами складской логистики обеспечивает сквозную прозрачность движения материалов, продукции и транспортных средств в реальном или почти реальном времени.

Что делают лидеры рынка

Oracle активно развивает Supply Chain and Manufacturing (модульное SaaS-решение на базе Oracle Cloud Infrastructure (OCI), предназначенное для комплексного управления цепочками поставок и производственными процессами) как единый контур с новыми ИИ-агентами для обработки заказов, обработки исключительных ситуаций с заказами, исполнения заказов, технического обслуживания и диагностики поставленного оборудования и изделий, а также с Design-to-Source Workspace (агентское ИИ-приложение от Oracle, которое объединяет процессы проектирования и закупок) и Sourcing Command Center (компонент Oracle Fusion Agentic Applications - централизованная платформа с поддержкой ИИ для управления закупками). Это показывает, что Oracle рассматривает управление цепочками поставок уже не как набор отдельных процессов, а как среду полуавтоматического принятия решений и реагирования на сбои^{16,17,18,27}.

Microsoft в Dynamics 365 Supply Chain Management развивает функционал прогнозирования/планирования спроса, взаимодействия с

поставщиками, ИИ-агентов для коммуникаций с поставщиками, интеграции с системами управления складской инфраструктуры и различными функциями обеспечения качества. Особенно примечательно, что поставщики и закупочные коммуникации становятся частью встроенного агентного и автоматизированного контура, а не только документооборота и учета^{19,20}.

SAP сохраняет одну из наиболее сильных позиций в области интегрированного контура управления цепочками поставок и бизнес-планирования, связывая его с Business Data Cloud, SAP Business AI и общей датацентричной архитектурой. Infor со своей стороны предлагает индустриально-ориентированные ERP/SCM-сценарии с ИИ, аналитическими возможностями, средствами анализа процессов и видимостью цепочек поставок, особенно для производственных и машиностроительных компаний^{12,14,24,25}.

Salesforce подключает к этой логике клиентскую и сервисную часть цепочки через Manufacturing Cloud, Field Service и Agentforce for Manufacturing, расширяя средства управления цепочками поставок до уровня управления всей цепочкой создания добавочной стоимости. В результате граница между SCM, CRM-системами и системами сервисного обслуживания постепенно стирается^{22,28,29}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Для отечественного ПО в таких классах, как SCM/CRM/TMS/WMS важно делать акцент на прозрачности, прослеживаемости и устойчивости цепочек поставок, включая кооперацию, многосценарное планирование и управление рисками. Отдельно важна поддержка интеграции логистических систем с производством, финансами и сервисом, а не только с модулем закупок^{3,6,19}. Все эти технологии формируют ядро цифрового суверенитета в логистике и снабжении.
- Учитывать приоритет на сквозную прослеживаемость и управление рисками в цепочках поставок.

3.7. CRM/ERP-системы управления эффективностью предприятия и управление по показателям в режиме близком к реальному времени

CRM/ERP-системы переходят от классического план-факт анализа к сценарному управлению, динамическому прогнозированию и привязке стратегических KPI к данным ERP, CRM, SCM, MES-систем и систем поддержки сервисных услуг. Дополнительно распространяется методология S&OP/IBP (Sales & Operations Planning / Integrated Business Planning) как стандарт согласования продаж, операций, снабжения, финансов и производственных ограничений в едином цикле управленческого планирования^{7,33}.

- CRM/ERP-системы развиваются от план-факт анализа к моделированию сценариев и связке стратегических KPI с оперативными данными из ERP, MES, SCM и CRM-систем⁶.

- Широкое распространение получает методология интегрированного планирования продаж и операций S&OP/IBP (Sales & Operations Planning / Integrated Business Planning), что по сути является управленческим процессом, направленным на согласование планов продаж и операций (производства, закупок, логистики) с потребностями бизнеса и доступными ресурсами. Основой реализации этого подхода являются ИТ-системы на базе ПО классов CPM/ERP и ERP/SCM.

Что делают лидеры рынка

Oracle развивает Cloud EPM в тесной связи с ERP и ИИ-функциями, а в последних версиях своего ПО делает упор на развитии функционала, который дополняет формируемые системой отчеты автоматически генерируемыми содержательными комментариями и анализом, агентными приложениями и развитием функционала рабочих пространств для финансового и операционного управления. Это свидетельствует о переходе от отчетности к сценарному и полуавтоматизированному управлению результативностью^{16,17}.

SAP связывает планирование, данные и ИИ через Business Data Cloud и Business Suite, что создает основу для более тесной интеграции EPM/CPM-логики с реальными операционными данными. За счет этого управление по показателям постепенно переходит от разнесенного BI-контра к единой фабрике (инфраструктуре) управления бизнес-эффективностью^{12,13,15}.

Microsoft через Dynamics 365 Finance, Supply Chain, Copilot и Power Platform развивает практики непрерывного финансового и операционного анализа, а Infor - отраслевую аналитику и BI/ИИ на базе Birst (это облачная платформа для бизнес-аналитики BI) и Velocity Suite (пакет решений и услуг для внедрения инноваций в бизнес-процессы). В совокупности это подтверждает общий тренд на сближение CPM/ERP с транзакционным и событийным корпоративным контуром^{19,24,34}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Поддержка отечественных CPM/ERP-решений должна быть тесно увязана с ERP, SCM, MES-системами и отраслевой аналитикой. Для крупных промышленных холдингов и инфраструктурных компаний целесообразно рассматривать методологию интегрированного планирования продаж и операций S&OP/IBP как один из целевых управленческих стандартов цифрового управленческого контура для крупных промышленных холдингов и инфраструктурных компаний^{7,33}.

3.8. BPM-системы управления бизнес-процессами, гиперавтоматизация и управление сквозными бизнес-процессами

BPM-платформы и средства гиперавтоматизации становятся инфраструктурным слоем, который соединяет системы классов ERP, CRM, SCM, HRM, EHS, внешние сервисы и пользовательские приложения. На первый план выходят событийно-ориентированная архитектура, функционал

low-code/no-code, системы роботизированной автоматизации бизнес-процессов RPA, функционал анализа процессов, агентная автоматизация и оркестрация, позволяющие быстро менять и автоматизировать сквозные процессы без тяжелой разработки ядра корпоративной системы^{8,9,30}.

- BPM-системы становятся основой для оркестрации процессов между системами классов ERP, CRM, SCM, MES, EHS и внешними сервисами, часто на основе применения событийно-ориентированной архитектуры (event-driven), когда компоненты взаимодействуют через события - сигналы об изменении состояния системы. В такой архитектуре компоненты не обмениваются прямыми синхронными вызовами, а публикуют события и реагируют на них асинхронно.
- Гиперавтоматизация: сочетание BPM, с роботизированной автоматизацией бизнес-процессов (RPA), разработкой ПО с минимальным ручным кодированием (low-code/ no-code) и технологиями искусственного интеллекта для быстрого создания, модификации и автоматизации процессов без глубокой разработки.

Что делают лидеры рынка

ServiceNow (американская технологическая компания, которая разрабатывает облачные программные платформы для автоматизации бизнес-процессов, цифровой трансформации организаций и повышения эффективности работы) стремится своими продуктами занять роль универсального слоя управления и оркестрации процессов корпоративного ИТ-ландшафта. Платформа позиционируется как ИИ-платформа, а в отраслевых обзорах подчеркивается ее стремление в какой-то мере переопределить стек корпоративного программного обеспечения, то есть стать уровнем управления сквозными процессами поверх традиционных прикладных систем^{30,31,35}.

Microsoft использует свои ИТ-решения Power Platform, Power Automate и Copilot как связующий слой между ERP-системой Dynamics 365 и другими корпоративными сервисами. В материалах 2025 года подчеркивается развитие функционала управления процессами с помощью генеративного искусственного, интеллектуальной обработки документов, продвинутых сценариев согласования, усиления корпоративного контроля и контроля в области безопасности, что показывает переход от простой автоматизации к управляемой гиперавтоматизации^{19,21}.

Oracle через AI Agent Studio и встроенные Fusion Agentic Applications дает бизнесу no-code-инструменты для создания и оркестрации ИИ-агентов внутри бизнес-процессов ERP/SCM/CX-систем. SAP и Infor развивают схожую логику через интеллектуальное управление процессами, автоматизацию и интеграцию ИИ с прикладными процессами, но с более сильным акцентом на датацентричную и ERP-центричную архитектуру^{13,17,18,24}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Отечественные ERP/SCM/CRM-платформы следует развивать в тесной связке с BPM, low-code и гиперавтоматизацией. Важно переходить от «настроек внутри системы» к явному моделированию и оркестрации сквозных процессов на уровне отдельной процессной платформы или встроенного процессного слоя^{8,19,30}.
- Отдавать приоритет проектам доработки отечественных ERP/SCM/CRM-систем с тесной связью с BPM-платформами и low-code-средами.
- Включать требования к моделированию и управлению процессами на уровне BPM, а не только настроек в конкретной системе.

3.9. Системы управления охраной труда, промышленной безопасности и охраной окружающей среды (EHS, устойчивое развитие и ESG-контур)

Системы управления охраной труда, промышленной безопасностью, экологией и устойчивым развитием все чаще интегрируются с ERP, MES, HRM, CMMS/MRO и SCM-системами. ESG-повестка и растущее внимание к углеродному следу, ресурсной эффективности, комплаенсу и управлению рисками переводят EHS-модули из периферийной функции в одну из составляющих корпоративной платформы управления деятельностью предприятия^{6,8,32}.

- EHS-системы (охрана труда, промышленная безопасность, экология) интегрируются с ERP, MES, CMMS/MRO и HR-системами, обеспечивая единый контур управления рисками и инцидентами.
- ESG-повестка приводит к включению в корпоративные платформы механизмов расчета углеродного следа, ресурсной эффективности и соответствия нормативам.

Что делают лидеры рынка

SAP исторически развивает функционал, связанный с экологической повесткой, устойчивым развитием и соответствием нормативным требованиям (комплаенс) в связке с ERP и управлением цепочками поставок, а новая архитектура с Business Data Cloud создает дополнительную основу для консолидации данных по выбросам, ресурсам, поставщикам и финансовым последствиям. Это важно, поскольку ESG- и логика соблюдения нормативных требований все больше завязана на единый корпоративный слой данных^{12,15}.

Oracle и Microsoft встраивают требования комплаенса, финансового контроля, качества данных и управляемой автоматизации в ядро корпоративных платформ, а не только в специализированные внешние модули. Для Oracle особенно показательно появление продукта Security Command Center (командный центр кибер-безопасности) и расширение агентных приложений в финансовом контуре и контуре управления поставками, что усиливает связь безопасности, управления доступом и функций обеспечения соответствия нормативным требованиям с ERP-платформой^{17,18,21}.

Компании Infor и ServiceNow также усиливают значение функций анализа процессов, корпоративного контроля и управляемой автоматизации, создавая базу для интеграции EHS-систем и сценариев управления рисками в общую архитектуру управления рабочими процессами. В целом рынок движется к тому, что EHS/ESG становится не отдельным приложением, а частью корпоративного контура принятия решений^{24,30,35}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Для отечественного ПО следует поддерживать развитие EHS/ESG-модулей и их глубокую интеграцию в ERP/SCM/MES-контур. Особенно важны общие справочники, единые источники данных для расчета показателей устойчивости и возможность использования EHS-данных в управленческих и инвестиционных сценариях^{6,12}.

3.10. Отраслевые облака и вертикализация корпоративных платформ

Один из устойчивых мировых трендов - переход от универсальных ERP/SCM/CRM-систем к отраслевым облакам и вертикализированным платформам. В этих решениях общая технологическая основа дополняется отраслевыми справочниками, шаблонами процессов, показателями, моделями данных и специализированными модулями, например для промышленности, энергетики, фармацевтики, логистики, госсектора или инфраструктуры^{4,5,24}.

- Распространение получают отраслевые облака (для машиностроительных производств, нефтегазового сектора, сельского хозяйства и др.) с преднастроенными процессами, справочниками, шаблонами отчетности и механизмами интеграции.
- ERP/SCM/CRM-платформы все чаще предлагаются в отраслевых версиях, где общая технологическая основа дополняется специфическими модулями (LIMS для химии/фарма, ILS для авиастроения, оборонно-промышленного комплекса и т.п.).

Что делают лидеры рынка

Infor является одним из наиболее показательных примеров вертикализации: CloudSuite и отраслевые промышленные решения строятся вокруг специфического отраслевого функционала и реализации лучших практик до достаточно глубокой степени детализации и глубины. Это означает, что платформа изначально адаптирована под индустриальные отрасли, а не требует тяжелой последующей отраслевой кастомизации^{24,25}.

Salesforce развивает отраслевые облака и агентные надстройки, включая Manufacturing Cloud и Agentforce for Manufacturing. Здесь вертикализация выражается не только в интерфейсах и шаблонах, но и в отраслевой модели данных, преднастроенных шаблонах агентов и специализированной логике для промышленных предприятий^{22,28,29}.

SAP и Oracle реализуют вертикализацию через отраслевые процессы, конфигурации и интегрированный слой данных и ИИ, а Microsoft - через свои

продукты Dynamics 365, Power Platform и сеть партнеров, создающих вертикальные отраслевые решения. Таким образом, рынок все больше требует не «ERP вообще», а отраслевые платформы с быстрым выходом на получение результатов, имеющих прикладную ценность^{12,16,19}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Меры поддержки отечественного корпоративного ПО целесообразно фокусировать не только на универсальных ERP, но и на отраслевых вертикальных решениях, разработанных на общей платформенной основе. Это особенно важно для машиностроения, энергетики, нефтегаза, транспорта, химии, фармацевтики и инфраструктурных отраслей^{4,24}.
- Сфокусировать поддержку не только на «универсальных» ERP, но и на отраслевых вертикальных решениях, построенных на их основе.

3.11. Цифровой суверенитет, соответствие требованиям (комплаенс) и безопасность корпоративных платформ

ERP, SCM, CRM-системы и связанные корпоративные платформы все чаще рассматриваются как критически важная инфраструктура. В результате усиливаются требования к локализации данных, управлению доступом, аудиту, контролю ролей, соответствию нормативным требованиям, сценариям развертывания ИТ-решений локально или в суверенных облаках, а также к прозрачности интеграции внешних ИИ- и сервисов автоматизации^{3,8,9}.

- ERP, SCM и CRM-системы постепенно приравняются к критическим информационным системам: к ним предъявляются повышенные требования по безопасности и локализации. Часто они являются основой или составной частью ТОО КИИ.
- Усиливается спрос на решения с полным отечественным стеком и возможностью развертывания в сертифицированных российских ЦОД, включая on-prem-варианты развертывания на локальной инфраструктуре для особо чувствительных отраслей.

Что делают лидеры рынка

Oracle вывела Security Command Center как часть агентных приложений для ERP, а Access Request Assistant для работы с ролями пользователей в ERP-системах и усиления контроля доступа. Это важный индикатор того, что безопасность, права доступа и управляемость ролей становятся частью основного прикладного контура, а не отдельной ИБ-надстройкой^{16,17}.

Microsoft отдельно подчеркивает более строгие функции надзора и контроля безопасности в Power Platform и автоматизацию с использованием ИИ, что показывает смещение внимания от просто быстрой автоматизации к управляемой и контролируемой автоматизации на уровне платформы.

SAP и Salesforce со своей стороны связывают ИИ, данные и бизнес-приложения в управляемых облачных средах, где надежность, контроль и

функции безопасности становятся частью коммерческого предложения платформы^{13,21,23}.

ServiceNow также делает ставку на безопасную и управляемую платформу для масштабной автоматизации корпоративных процессов, а Infor развивает отраслевые решения на основе облака Amazon Web Services (AWS). В совокупности это подтверждает, что требования суверенности, безопасности и комплаенса уже стали ключевым фактором выбора корпоративных платформ^{24,30,35}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Для отечественного корпоративного ПО необходимо формализовать требования к суверенности, аудиту, ролям, совместимости с отечественным инфраструктурным стеком и возможностям безопасного локального развертывания. Отдельное значение имеет поддержка экосистемы отечественных интеграторов и партнеров вокруг базовых платформ, чтобы снизить зависимость от замкнутых вендорских стеков^{3,16,24}.
- Формализовать требования к суверенности и безопасности как ключевые критерии выбора и поддержки корпоративных платформ.
- Поддерживать проекты, в которых предусмотрено развитие экосистемы отечественных партнеров и интеграторов вокруг базовых ERP/SCM/CRM-платформ.

3.12. Экосистемность и маркетплейсы бизнес-приложений

Крупные корпоративные платформы все чаще превращаются в экосистемы с маркетплейсами отраслевых модулей, ИИ-надстроек, коннекторов, low-code-компонентов и партнерских приложений. Это позволяет наращивать функциональность без тяжелой переработки ядра и создает вокруг платформ сеть интеграторов, независимых разработчиков и отраслевых команд, формирующих практическую ценность для конкретных сегментов бизнеса^{8,9,18}.

- Крупные ERP/SCM/CRM-решения превращаются в экосистемы с маркетплейсами отраслевых модулей, коннекторов, BI/ИИ-надстроек и интеграций.
- Low-code/SDK-подходы позволяют партнерам и самим предприятиям расширять функциональность базовых платформ без создания новых версий платформ (форков) и жесткой кастомизации.

Что делают лидеры рынка

Oracle в 2025 году объявила о запуске ПО Fusion Applications AI Agent Marketplace, предназначенного для доступа к готовым для использования ИИ-агентам, разработанным партнерами. Это важный этап: корпоративная платформа превращается не просто в набор модулей, а в среду распространения партнерских агентных приложений и расширений^{18,36}.

SAP строит экосистемный подход вокруг Business Suite, Business Data Cloud, Joule и SAP Store, встраивая ИИ, данные и приложения в единое расширяемое пространство.

Microsoft опирается на мощную экосистему своей платформы Power Platform, AppSource (онлайн-маркетплейс и каталог от Microsoft, где компании и частные пользователи могут находить, тестировать и приобретать бизнес-приложения и консалтинговые услуги, интегрированные с продуктами экосистемы Microsoft), партнерских решений и кастомных ИИ-агентов и сценариев реализации рабочих процессов вокруг Dynamics 365^{12,13,19,21}.

Salesforce использует Data Cloud, Agentforce и отраслевые облака как основу для экосистемы готовых сценариев, агентных шаблонов и интеграций, а ServiceNow как платформу автоматизации рабочих процессов и прикладного расширения корпоративного стека. Таким образом, маркетплейсы и партнерские надстройки становятся нормой и для корпоративного промышленного ПО^{22,23,30,35}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Поддержка отечественных корпоративных платформ должна включать требования к открытым API, SDK, маркетплейсам и расширяемой партнерской экосистеме. В долгосрочной перспективе конкурентоспособность платформ будет определяться не только набором базовых модулей, но и способностью привлекать внешних разработчиков и быстро закрывать отраслевые сценарии через расширения^{18,19,36}.
- Встроить в механизмы господдержки требования по открытой экосистеме и развитию партнерских расширений.

3.13. : Агентные корпоративные приложения и переход к модели агентного предприятия

Агентное предприятие - это модель предприятия, в которой значительная часть взаимодействия с корпоративными системами осуществляется через ИИ-агентов.

Наблюдается усиливающийся тренд на переход к модели агентного предприятия - переход корпоративного ПО к ИИ-агентам, которые способны не только отвечать на вопросы, но и выполнять действия, координировать процессы, работать с ролями и данными, а также выступать интерфейсом к бизнес-приложениям. Этот тренд частично охватывает темы ИИ, BPM и экосистемности, однако уже стал самостоятельным направлением развития мировых корпоративных платформ^{13,16,18,21}.

Что делают лидеры рынка

Oracle развивает Fusion Agentic Applications и AI Agent Studio, давая пользователям десятки встроенных агентов и no-code-среду для создания новых приложений и агентов. SAP развивает Joule Agents поверх Business Data

Cloud и Business Suite, а Microsoft - Copilot и агентов в области финансов и цепочек поставок в связке с Dynamics 365 и Power Platform^{13,16,17,18,19,21}.

Salesforce предлагает Agentforce как самостоятельный агентный слой для промышленных и сервисных сценариев, включая производство и госсектор, а Data Cloud становится обязательной базой данных для агентных библиотек и знаний. Это показывает, что переход к агентным приложениям уже затрагивает не только CRM, но и ERP, SCM, сервис и корпоративное управление ресурсами в целом^{22,23,28,29}.

Как это влияет на приоритеты реализации ДК НИПО:

- Для отечественного ПО следует учитывать развитие агентных архитектур как вероятного следующего этапа эволюции корпоративных платформ. Это требует единого слоя данных, формализованных бизнес-объектов, строгих правил безопасности и объяснимости ИИ, а также инструментов управляемого встраивания агентов в бизнес-процессы^{13,16,21}.

3.14. Выводы в отношении технологических приоритетов в области индустриального (промышленного) ПО корпоративного уровня и ПО управления ресурсами предприятий

Глобальные тренды в области корпоративного промышленного ПО и ПО управления ресурсами предприятий показывают, что мировые лидеры уходят от монолитных систем учета к платформам данных, облачным и гибридным экосистемам, отраслевым облакам, агентным приложениям и сквозным цифровым контурам управления. Наиболее заметными направлениями становятся датацентричные архитектуры, встроенный ИИ, BPM и гиперавтоматизация, вертикализация отраслевых решений, расширение сервисного контура и превращение ERP/SCM/CRM-платформ в экосистемы с маркетплейсами и партнерскими расширениями^{12,16,19,22,24}.

Для развития отечественного ПО это означает необходимость поддержки не только базовых ERP/SCM/CRM-функций, но и платформенных возможностей: единых моделей данных, открытых API, встроенных ИИ-инструментов и DSS-инструментов поддержки принятия решений, отраслевой вертикализации, гибридного развёртывания, BPM-оркестрации и безопасной интеграции с производственным и сервисным контуром. Особенно важны направления, связанные с цифровым суверенитетом, агентной архитектурой, управляемой автоматизацией и созданием партнерских экосистем вокруг отечественных корпоративных платформ^{3,13,18,21,36}.

Источники информации

1. Что бизнесу важно знать о трендах ERP в 2025–2030 годах - <https://leverx.com/ru/newsroom/erp-trends>
2. Цифровизация металлургии 2025–2026: единое цифровое пространство и импортозамещение ПО - <https://indpages.ru/solutions/edinoe-czifrovoe-prostranstvo-ps1-26/>

3. Дайджест глобальных технологических трендов. Суверенитет в части интернета и ERP-систем, AI в нефтегазе и креативном секторе и цифровизация корпоративного здоровья - <https://sber.pro/publication/daidzhest-globalnih-tehnologicheskikh-trendov-suverenitet-v-chasti-interneta-i-erp-sistem-ai-v-neftegaze-i-kreativnom-sektore-i-tsifrovizatsiya-korporativnogo-zdorovya/>
4. CRM, ERP, SCM, BI 2025: как выбрать IT-решения для автоматизации управления бизнесом - <https://vc.ru/fatikum/2150652-kak-vybrat-it-resheniya-dlya-biznesa-2025>
5. CRM-системы в промышленности: 10 ключевых трендов - <https://www.norbit.ru/blog/crm-sistemy-v-promyshlennosti-10-klyuchevykh-trendov/>
6. Обзор рынка современных систем управления эффективностью предприятия (CPM/ERP) - <https://corplan.ru/wp-content/uploads/2024/10/Obzor-rynka-sovremennyh-SRM-sistem.pdf>
7. SAP Business Data Cloud - <https://www.sap.com/products/data-cloud.html>
8. SAP Business Unleashed in 2025 - <https://www.sap.com/events/business-unleashed.html>
9. SAP Business Suite (Cloud 2025) - <https://s-peers.com/en/wiki/sap-business-suite-cloud-2025/>
10. How SAP Business Suite is Transforming Enterprise AI - <https://aimagazine.com/news/can-sap-business-suite-integration-redefine-enterprise-ai>
11. Exploring SAP Business Data Cloud - <https://learning.sap.com/courses/boosting-ai-driven-business-transformation-with-joule-agents/exploring-sap-business-data-cloud->
12. 25D roadmaps—new agents for ERP, HCM, SCM, CX - <https://blogs.oracle.com/fusioninsider/25d-roadmaps-new-agents-for-erp-hcm-scm-cx>
13. 26B roadmaps—agentic apps for finance, HR, SCM, and CX - <https://blogs.oracle.com/fusioninsider/roadmaps>
14. New—more SCM and CX agents for Fusion Apps - <https://blogs.oracle.com/fusioninsider/new-more-scm-and-cx-agents-for-fusion-apps>
15. Oracle Launches Fusion Applications AI Agent Marketplace to Accelerate Enterprise AI - <https://www.oracle.com/news/announcement/ai-world-oracle-launches-fusion-applications-ai-agent-marketplace-to-accelerate-enterprise-ai/>
16. Dynamics 365 Supply Chain Management 2025 release wave 2 plan - <https://learn.microsoft.com/en-us/dynamics365/release-plan/2025wave2/enterprise-resource-planning/dynamics365-supply-chain-management/>
17. Overview of Dynamics 365 Supply Chain Management 2025 release wave 2 - <https://learn.microsoft.com/en-us/dynamics365/release->

- [plan/2025wave2/enterprise-resource-planning/dynamics365-supply-chain-management-overview](#)
18. Explore new AI innovation for Dynamics 365, Microsoft Power Platform, and Copilot - <https://www.microsoft.com/en-us/dynamics-365/blog/business-leader/2025/10/09/explore-new-ai-innovation-for-dynamics-365-power-platform-and-copilot/>
 19. Manufacturing Cloud - <https://www.salesforce.com/br/manufacturing/cloud/>
 20. Agentforce Manufacturing - <https://www.salesforce.com/fr-ca/manufacturing/cloud/>
 21. Funcionalidades Data Cloud para Manufacturing Cloud - https://help.salesforce.com/s/articleView?id=release-notes.rn_mfg_data_cloud.htm&language=fr&release=250&type=5
 22. Salesforce announces Agentforce for Manufacturing - <https://www.ituser.es/actualidad/2025/09/salesforce-anuncia-nuevas-versiones-de-agentforce-para-los-sectores-publico-e-industria>
 23. Agentforce Manufacturing and industry AI agents - <https://techweek.es/2025/09/03/salesforce-lanza-agentes-de-ia-para-la-industria-y-las-administraciones-publicas/>
 24. An industrial manufacturing ERP - Infor - <https://www.infor.com/solutions/erp/industrial-manufacturing>
 25. Industrial manufacturing software built for agility and speed - <https://www.infor.com/industries/industrial-manufacturing>
 26. The Future of ERP: Infor Gen AI in Infor LN Cloud Edition - <https://www.zum-it.com/2025/03/18/machine-learning-in-erp-cloud-based-systems-why-it-is-needed/>
 27. ServiceNow - Put AI to Work - <https://www.servicenow.com>
 28. ServiceNow AI Experience - why the new interface is a platform strategy for enterprise dominance - <https://diginomica.com/servicenow-ai-experience-why-new-interface-platform-strategy-enterprise-dominance>
 29. Optimizing Enterprise Workflows: AI-Powered Automation on ServiceNow - <https://infobeans.ai/optimizing-enterprise-workflows-ai-powered-automation-on-servicenow/>
 30. SAP News from SAP Business Unleashed 2025 - <https://www.linkedin.com/pulse/sap-news-from-business-unleashed-2025-angus-macaulay-ng05e>
 31. Migration to Data Cloud for continued Agentforce data library support - https://help.salesforce.com/s/articleView?id=release-notes.rn_data_library_data_cloud_support.htm&language=fr&release=256&type=5
 32. Migrar a Data Cloud para una compatibilidad continuada con la biblioteca de datos Agentforce - https://help.salesforce.com/s/articleView?id=release-notes.rn_data_library_data_cloud_support.htm&language=es_MX&release=256&type=5

33. Обзор рынка современных систем управления эффективностью предприятия (CPM/ERP) - <https://corplan.ru/wp-content/uploads/2024/10/Obzor-rynka-sovremennyh-SRM-sistem.pdf>
34. An AI generated ode to manufacturing technology: Infor CloudSuite Industrial - <https://guidetechnologies.com/an-ai-generated-ode-to-manufacturing-technology-infor-cloudsuite-industrial-syteline/>
35. DA265 - Discover AI in SAP Business Data Cloud with Joule - <https://github.com/SAP-samples/teched2025-DA265>
36. Napr_3_iskh.docx - локальный исходный документ пользователя

4. Общие выводы на основе анализа глобальных трендов в области индустриального (промышленного) ПО

Опираясь на анализ, выполненный в данном разделе по трем направлениям (1. PLM/CAE/CAD/DT, 2. MES/АСУ ТП/IIoT и 3. Корпоративное ПО ERP/SCM/CRM), можно сформулировать следующий набор выводов и приоритетов.

1. Фокус не на отдельных продуктах, а на сквозных платформах и цифровой нити

- Все три слоя (инженерный, производственный, корпоративный) движутся к интегрированным платформам и единой цифровой нити от требований и 3D-модели до эксплуатации, сервиса и утилизации.
- Приоритет политики: поддерживать не только «отдельные коробочные решения» (PLM, MES, ERP и т.п.), а экосистемы и платформы, где изначально заложены открытые стандарты, API и модели данных, позволяющие строить сквозные решения.

2. Дата-центричный подход и единые модели данных

- Глобально прослеживается переход от документ-центричного к дата-центричному подходу: основной актив — не файлы, а нормализованные данные и связи между ними (НСИ/MDM, инженерные и производственные данные, мастер-данные по ресурсам и клиентам).
- Приоритет: развитие единых отраслевых и межотраслевых моделей данных и НСИ (для изделий, процессов, ресурсов, логистики), а также жесткое требование к поддержке этих моделей во всех классовых продуктах.

3. Интеграция ИИ и продвинутой аналитики как «обязательная опция»

- Во всех трех блоках технологии искусственного интеллекта и машинного обучения становятся стандартом: генеративный ИИ и оптимизация в инженерном ПО, ПО APC/RTO для оптимизации управления производственными процессами и предиктивная диагностика в производстве, прогнозирование спроса и рисков в ERP/SCM/CRM.

- Приоритет: развивать компетенции и платформы ИИ именно в связке с отечественным индустриальным ПО (встраиваемый ИИ, библиотеки, конструкторы моделей), а не как изолированную облачную «надстройку», и одновременно закладывать требования к верифицируемости и объяснимости алгоритмов.

4. Цифровые двойники как сквозной концепт для изделия, производства и эксплуатации

- В инженерном ПО — двойники изделий при проектировании и в последующем при эксплуатации, в производстве - двойники производственных линий, инфраструктурных объектов, в корпоративном контуре — цифровые двойники как отражение логистики, сервиса и экономики.
- Приоритет: поддерживать развитие отечественных платформ цифровых двойников, связанных с PLM/BIM, MES/АСУ ТП/IIoT и ERP/SCM/SLM, с ориентацией на типовые отраслевые решения (машиностроение, ОПК, ТЭК, транспорт, строительство и т.д.).

5. Гибридные архитектуры: облако + edge + on-prem

- Во всех трех доменах усиливается тренд на гибридность: облако для аналитики, интеграции и масштабируемых сервисов; edge/on-prem — для реального времени, критичных процессов и данных ограниченного доступа.
- Приоритет: стимулировать разработку ПО, изначально рассчитанного на гибридные сценарии в российских инфраструктурах (от сертифицированных ЦОД до промышленного edge), и задавать требования к контейнеризации, микросервисам и DevSecOps.

6. Безопасность и цифровой суверенитет по всей вертикали

- Инженерные данные, контуры управления производством и корпоративные системы одинаково превращаются в критически важную инфраструктуру.
- Приоритет: строить индустриальное ПО на суверенном стеке (ОС, СУБД, ПЛК/контроллеры, облака, криптосредства), с системным учетом требований информационной безопасности и отраслевых регуляторов, и поддерживать специализированные средства мониторинга и реагирования для индустриальных и корпоративных систем одновременно.

7. Вертикализация и отраслевые экосистемы

- Все три уровня уходят от «универсальных» решений к отраслевым вертикалям (специализированные PLM/CAE/CAD, MES/IIoT/АСУ ТП для конкретных отраслей, отраслевые ERP/SCM/CRM/CPM с преднастроенными процессами).
- Приоритет: поддерживать отраслевые экосистемы (платформа + партнеры + специализированные модули) и стимулировать развитие маркетплейсов

решений, библиотек и шаблонов на базе 3–5 базовых российских платформ в каждом крупном домене, а не десятков несвязанных продуктов.

8. Управление процессами и моделями принятия решений

- На всех уровнях усиливается роль управления процессами (BPM, workflow, интегрированного планирования продаж и операций S&OP/IBP, ILП/ILS) и средств поддержки решений (DSS, BI, аналитические витрины), связанных с фактическими данными.
- Приоритет: вкладываться в платформы моделирования и исполнения процессов и в инструменты DSS, которые могут подключаться как к инженерному, так и к производственному и корпоративному слоям, формируя общий центр принятия решений («мозг») предприятия.

9. Человеко-центричный интерфейс и компетенции

- Интерфейсы становятся более «умными» и унифицированными: от HMI/AR/VR в инженерии и производстве до роль-ориентированных рабочих мест в ERP/SCM/CRM.
- Приоритет: развивать единые UX-подходы (единые пользовательские интерфейсы) и библиотеки интерфейсов для индустриального ПО, а также программы подготовки кадров (инженеры данных, ИИ-архитекторы, системные инженеры, специалисты по цифровым двойникам и т.п.), чтобы предприятия могли реально использовать сложность платформ.

10. Практическая рекомендация по расстановке приоритетов

Если свести все к практическим прагматичным шагам, то:

1. Целесообразно сформировать 3–4 опорные отечественные платформы в каждом из трех доменов (инженерный, производственный, корпоративный), изначально ориентированные на экосистемность, открытые стандарты и гибридную архитектуру.
2. Для этих платформ задать обязательные к реализации технологические тренды: датацентричный подход, цифровая нить, поддержка ИИ/аналитики, интеграция с цифровыми двойниками, кибербезопасность и суверенный стек.
3. Строить меры поддержки так, чтобы стимулировать не только разработку ядра платформ, но и развитие вокруг них отраслевых модулей, коннекторов, ИИ-надстроек и решений партнеров, обеспечивая совместимость по данным и процессам между всеми тремя слоями.