

УДК 65.011.56

Методический подход к созданию сквозной архитектуры автоматизированных систем управления проектированием и производством

Масленникова Юлия Леонидовна^(*)

Maslennikova.yuliya@yandex.ru

Коротаев Григорий Николаевич

korotaevgn@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

***Аннотация.** В работе описаны системы, используемые на стадиях исследований, включая этап стратегического маркетинга, разработки, производства, эксплуатации и сервисного обслуживания. Составлена таблица, представляющая обобщенную методическую основу для создания цифровой экосистемы предприятия, демонстрирующая процесс прохождения информационных потоков через интегрированные инженерные, технологические и управленческие системы.*

***Ключевые слова:** CALS, PLM, информационные потоки, жизненный цикл, интеграция систем*

Methodological Approach to Creating an End-To-End Architecture for Automated Design and Production Management Systems

Maslennikova Yuliya Leonidovna^(*)

Maslennikova.yuliya@yandex.ru

Korotaev Grigoriy Nickolaevich

korotaevgn@mail.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The paper describes the systems used at the stages of research and development, including strategic marketing, design, production, operation, and maintenance services. A table has been compiled that presents a generalized methodological framework for establishing a corporate digital ecosystem, illustrating the flow of information through integrated engineering, technological, and management systems.

Keywords: CALS, PLM, information flows, lifecycle, system integration

Введение. В современной российской промышленности одной из ключевых проблем в сфере цифровизации производства остается отсутствие унифицированных стандартов интеграции и структурирования данных в САМ-системах. Несмотря на широкое распространение решений Siemens NX, PowerMill, Compass и других систем, большинство предприятий применяют их изолированно, что приводит к разрыву цифрового контура между этапами проектирования, технологической подготовки и фактического производства. Нормативно-техническая база, представленная в основном ГОСТ 2.052–2015, ГОСТ Р 15.301–2016 и рядом отраслевых регламентов, не обеспечивает единых требований к формату технологических данных, маршрутов обработки

и структур файлов [1, 2]. В результате отдельные среды часто выступают как автономные инструменты, не связанные напрямую с системами PLM или PDM что делает невозможным сквозное управление жизненным циклом изделия и снижает уровень прослеживаемости конструкторских и технологических изменений.

Дополнительным ограничением является разобщенность программных решений и отсутствие межсистемных интерфейсов, совместимых с международными стандартами обмена, такими как ISO 10303 (STEP-NC) и ISO 14649. Российские предприятия зачастую вынуждены использовать закрытые форматы данных и разрабатывать индивидуальные конвертеры, что повышает стоимость интеграции и приводит к потере данных при передаче между системами. Недостаточная адаптация PLM-платформ (Teamcenter, 3DEXPERIENCE, Windchill) решениям также создает барьеры при формировании цифровых двойников производства. В совокупности эти факторы препятствуют формированию единого информационного пространства инженерных данных и замедляют внедрение концепций сквозной цифровой фабрики и Industry 4.0 в российской промышленности [3].

Следует отметить, что даже на уровне государственных корпораций и министерств нет четкого понимания архитектуры или структурного и однообразного описания процесса прохождения всех информационных потоков между автоматизированными системами.

Цель статьи — сформировать методический подход к созданию сквозной цифровой архитектуры управления жизненным циклом изделия.

Материалы и методы. В работе был использован метод анализа, позволяющий разложить объект исследования (PLM-систему) на составные части с целью изучения их свойств и функций

С другой стороны, авторы используют метод синтеза с целью упорядочивания отдельных систем в архитектуре PLM на основе выстраивания последовательности информационных потоков, генерируемых отдельными информационными программами.

Результаты. Процесс реализации проекта в области НИОКР представляет собой комплексную последовательность этапов, охватывающих полный жизненный цикл изделия — от формулировки исходных требований до завершения эксплуатации и утилизации. Системы управления жизненным циклом изделия (PLM, Product Lifecycle Management) формируют «цифровую нить», связывающую замысел, конструкторскую проработку, анализ, производство, сервис и утилизацию изделия в единую управляемую среду [4]. PLM выступает не просто хранилищем данных, а организационно-технологическим каркасом, который снижает энтропию в проекте и делает решения воспроизводимыми и проверяемыми на каждом этапе жизненного цикла [5, 6]. На начальной стадии осуществляется сбор и формализация требований посредством систем CRM и Marketing Automation, которые обеспечивают обработку данных о целевой аудитории и формируют голос клиента (Voice of Customer). Полученные результаты транслируются в контуры ALM и PLM,

где происходит декомпозиция требований и построение дерева целей проекта. На основании этих данных разрабатываются планы-графики, определяется структура работ (WBS) и распределяются ресурсы, что фиксируется в системах PLM, ERP и HRM [7]. Таким образом, формируется организационно-техническая база для дальнейшего проведения исследований: фундаментальных*, поисковых и прикладных.

На последующих стадиях проектирования создаются цифровые модели изделия в системах CAD, проводится прочностной, тепловой и динамический анализ средствами CAE/FEA, результаты которого управляются через подсистему SPDM. После согласования конструкторской документации в PDM/PLM осуществляется разработка технологических процессов в среде CAM, формирование производственной спецификации (MBOM) и передача данных в ERP для планирования материальных и финансовых ресурсов. Исполнение производственных операций контролируется через MES, а обеспечение качества и испытаний — посредством QMS и LIMS. Этап внедрения сопровождается логистическими процессами в системах SCM, WMS и TMS, а поддержка и сервис — через CRM и LMS. Все данные жизненного цикла агрегируются в PLM, а аналитика и оценка эффективности реализуются средствами BI/DWH.

Однако для эффективной реализации данной последовательности необходимы четкое описание процесса прохождения всех информационных потоков между системами, формулировка типа передаваемых данных и их связи между собой. В таблице указаны все основные связи между подсистемами и информация, передающаяся между ними. Данная таблица — есть шаблон, позволяющий проектировщику системы соединять инструменты между собой по необходимости с оценкой возможных и обязательных последовательностей при передаче информации в процессе производства изделий.

Информационные потоки между системами производства

Откуда	Куда	Что передается	Цель передачи данных
CAD	CAE / FEA	Геометрическая 3D-модель; Подбор материалов Задание граничных условий (через теги/атрибуты)	Для расчетов по сопромату, CFD, теплу, динамике
CAD	CAM	Геометрия деталей/сборок Технологические поверхности Атрибуты обработки	Генерация управляющих программ, маршрутов
CAD	PDM	Файлы .prt, .asm, .drw Метаданные (версии, атрибуты) Структура сборки (BOM)	PDM — хранилище и контроль версий
CAD	PLM	Ссылки на модели Структура изделия (eBOM) Реквизиты проекта	PLM формирует единый цифровой макет/двойник

Окончание таблицы

Откуда	Куда	Что передается	Цель передачи данных
CAE / FEA	SPDM	Модели, сетки, граничные условия Результаты расчетов Версии моделей и отчеты	SPDM управляет расчетными данными
CAE / FEA	PLM / PDM	Отчеты FEA Карты напряжений, PDF-протоколы KPI испытаний	Для трассируемости требований и отчетности
CAM	PDM / PLM	Программы УП (G-code) Маршруты обработки Операционные карты	Хранение техпроцессов, связь с деталью
PDM	PLM	Метаданные версий eBOM/mBOM Файлы КД История изменений	PLM агрегирует данные всех PDM
PLM	ERP	Структура изделия (BOM) Нормы материалов Требования к ресурсам Спецификации	Для планирования закупок, себестоимости
PLM	MES	Производственная структура (mBOM) Маршруты операций Нормы времени/ресурсов	MES управляет исполнением
PLM	EDMS / СЭД	Техническая документация Протоколы согласования Приказы, ТЗ	Для юридически значимых процессов
PLM	BI / Power BI	Статусы проектов KPI (сроки, стоимость, риски) Отчеты по стадиям	BI визуализирует прогресс НИОКР
ERP	MES	Заказы, спецификации, номенклатуры Сменные задания План-график	MES выполняет план ERP
MES	ERP / PLM	Факт выполнения Отчеты о производстве Отклонения	Замыкает контур цифрового двойника
ALM (Polarion / Jira)	PLM	Требования Дефекты, изменения Статусы реализации	Трассируемость требований и задач
EDMS / СЭД	PLM / PDM	Утвержденные документы (PDF/DOC) Приказы, протоколы Подписи	PLM хранит финальные версии
BI / Analytics	Руководство / РМО	Визуализация KPI, рисков, сроков, затрат	Дашборды для стратегического управления

Обсуждение. В контексте проектирования и внедрения цифровых систем управления жизненным циклом изделия важно понимать, что каждая отрасль промышленности имеет собственную специфику, определяющую не только глубину детализации данных, но и саму структуру архитектуры. Так, в авиастроении ключевым аспектом становится управление конфигурацией, сертификация и многоуровневая иерархия узлов, а в приборостроении — высокая плотность интеграции CAD, CAE и CAM с акцентом на точность допусков и микромеханическую обработку [8]. В нефтегазовой или горнодобывающей отрасли жизненный цикл продукта включает протяженные этапы геологоразведки, проектирования и эксплуатации, поэтому архитектура смещается в сторону интеграции с системами мониторинга, SCADA и геоинформационными модулями. Таким образом, «универсальной» PLM-архитектуры не существует — она формируется как отражение бизнес-процессов конкретной отрасли, ее нормативных требований, уровней зрелости цифровых инструментов и цепочек взаимодействия между подразделениями [9].

Следовательно, набор модулей, их взаимосвязь и глубина интеграции будут варьироваться в зависимости от отраслевых приоритетов и типов производства. Например, для серийного машиностроения ключевой фокус делается на PLM–MES–ERP-интеграции, где важно синхронизировать планирование, ресурсы и трассировку партий, тогда как для опытного приборостроения — на связке CAD–CAE–CAM с короткими циклами изменений и высокой итеративностью. В высокотехнологичных сегментах, таких как микроэлектроника или фармацевтика, жизненный цикл дополняется стадиями валидации, испытаний, регуляторного комплаенса и документооборота. Именно исходя из требований к системе, качеству отслеживаемости данных, необходимой скорости принятия решения на основании выбранной отрасли и ее специфики и проектируется весь процесс с использованием нужных инструментов и подсистем [10]. Таким образом, архитектура становится живым инструментом, который подстраивается под контекст отрасли, обеспечивая баланс между глубиной моделирования, скоростью внедрения и требованиями к качеству и прослеживаемости данных, исходя из которых.

Заключение. В статье было рассмотрено формирование сквозной цифровой архитектуры управления жизненным циклом изделия, охватывающей взаимосвязь систем CAD, CAE, FEA, CAM, MES, ERP, PLM/PDM и QMS/CAQ. Были проанализированы ключевые информационные потоки между системами и составлена таблица, отражающая маршруты данных и логику взаимодействия подсистем. Особое внимание уделено роли PLM как центрального звена, обеспечивающего единую среду данных и механизм управления изменениями, а также адаптации архитектуры под специфику отраслей промышленности.

Основной целью работы являлась разработка обобщенного видения цифровой экосистемы предприятия, демонстрирующего, каким образом через интеграцию инженерных, технологических и управленческих систем можно реализовать концепцию «цифровой нити». Цель достигнута: описана логика

обмена данными и обозначены принципы гибкой адаптации модели к отраслевым условиям. Полученные результаты могут служить методической основой для внедрения интегрированных PLM-решений и построения цифровых двойников на предприятиях различного профиля.

Список источников

- [1] ГОСТ 2.052–2015. *Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Электронная модель изделия*. Москва, Стандартинформ, 2016, 24 с.
- [2] ГОСТ Р 15.301–2016. *Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки на производство*. Москва, Стандартинформ, 2017, 20 с.
- [3] Игнаткин Н.Е., Бром А.Е., Самойлова И.А. Концепция цифровых экосистем в промышленности. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, 2024, № 8, с. 70–72. <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2024-8-70-71>
- [4] Бром А.Е., Третьякова В.А. Управление планированием на производственном предприятии на уровне бизнес-процессов. *Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики. XIX Междунар. науч.-практ. конф.: материалы*. Тольятти, Волжский университет имени В.Н. Татищева (институт), 2023, т. 1, с. 147–150. EDN ALJBMG
- [5] Травушкина А.А., Шаброва А.С. Обзор эволюции концепции plm-систем. *Студенческая научная весна. Всерос. студенческая конф., посв. 170-летию В.Г. Шухова: сб. тез.* Москва, Издательский дом «Научная библиотека», 2023, с. 148–150.
- [6] Maslennikova Y., Brom A. Methodology of quantitative and qualitative evaluation of an industrial enterprise digital potential on the example of evaluation of the “personnel resources” component. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference on Earth Science*. IOP Publishing Ltd., 2021, art. no. 062100.
- [7] Дорпер М.Г., Шумилина М.А. Интеграция различных систем планирования ресурсов и управления жизненным циклом (обзор). *Инженерный вестник Дона*, 2022, № 12 (96), с. 178–195.
- [8] Макарова Н.В., Горланов Е.А. Сравнительный анализ информационных систем для управления жизненным циклом изделия. *Актуальные проблемы экономики и управления*, 2022, № 1 (33), с. 25–29.
- [9] Масленникова Ю.Л., Бром А.Е. К вопросу об оценке эффективности опытного производства в промышленности. *Экономическое развитие России*, 2023, т. 30, № 3, с. 14–20.
- [10] Коротаев Г.Н., Терентьев А.И. Система поддержки принятия решений при управлении цепями поставок. *Студенческая научная весна. Всерос. студенческая конф., посв. 85-летию со дня рождения академика И.Б. Федорова*. Москва, Издательский дом «Научная библиотека», 2025, с. 133–134. EDN OPSKKT