



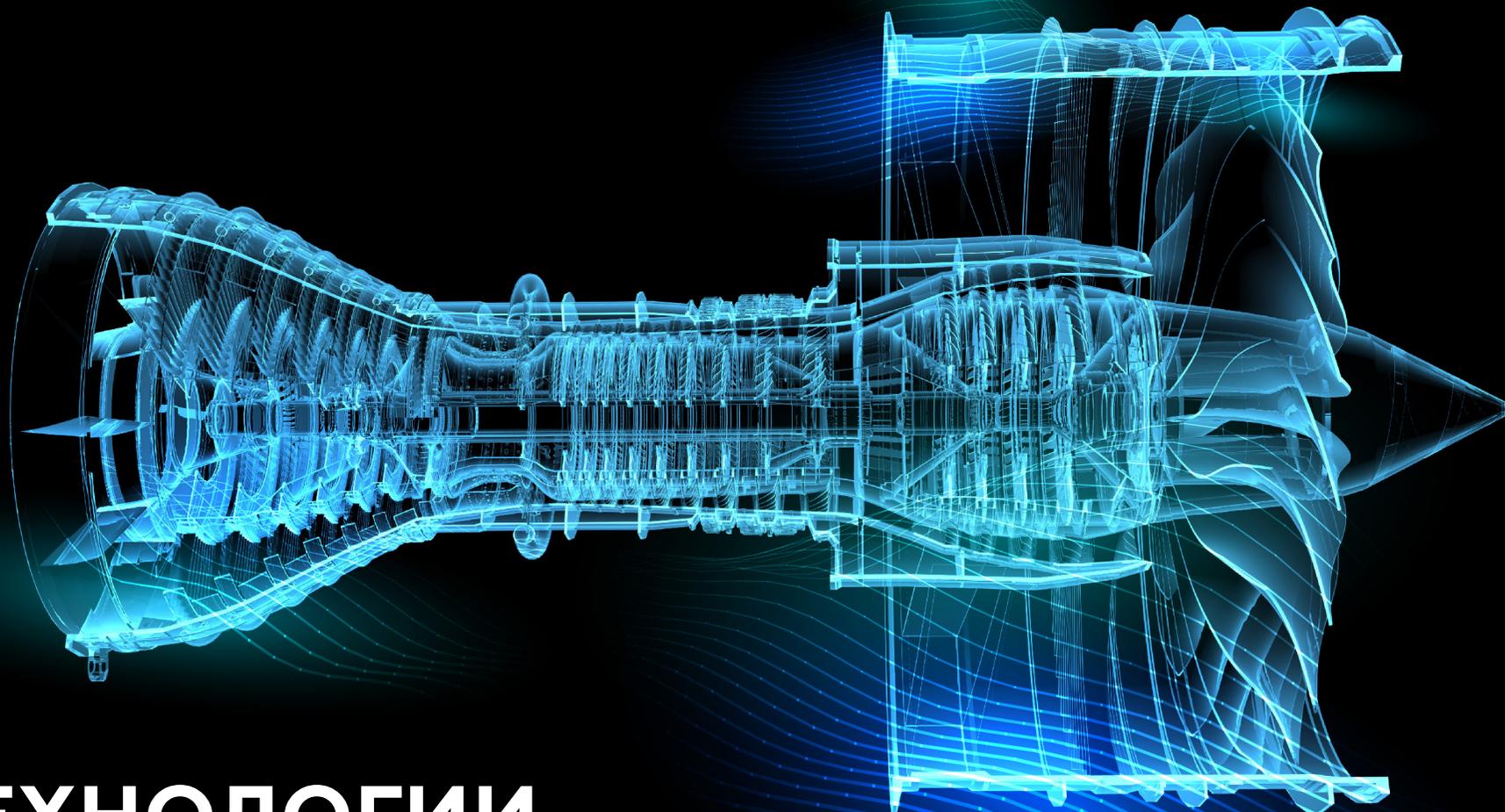
КОМПЛЕКС ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ  
И ИМУЩЕСТВЕННО-ЗЕМЕЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ  
ПРАВИТЕЛЬСТВА МОСКВЫ



ДЕПАРТАМЕНТ ИНВЕСТИЦИОННОЙ  
И ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ  
ГОРОДА МОСКВЫ

**АПР**

АГЕНТСТВО  
ПРОМЫШЛЕННОГО  
РАЗВИТИЯ МОСКВЫ



# ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ

жизненным циклом  
изделия (PLM-системы)

Москва | 2020 год

## СОДЕРЖАНИЕ



Основные термины и определения.....	4-7
Введение.....	8-9
История.....	10-12
Обзор технологии.	
Основные принципы работы.....	13-29
Состав (структура) технологии и классификация.....	30-47
Преимущества и недостатки технологии.....	48-50
Основные направления развития технологии.	
Технологические тренды.....	51-57
Области применения технологии согласно классификации.....	58
Примеры внедрения и/или использования технологии в промышленности.....	59-67
Расчёт долговечности конструкции.....	59
Имитационное моделирование для гарантии выполнения производственного плана.....	59
Кооперационные и технологические цепочки.....	68-71
Основные поставщики и производители.....	72-100
Мировые производители (Топ-10).....	72
Российские производители.....	81
Московские производители.....	85
Перечень источников информации.....	102-105



## ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

### **ID-моделирование**

Функциональное моделирование макроуровня проектируемой системы / принципиальной схемы будущего изделия.. Позволяет моделировать сложные технические изделия, которые состоят из множества подсистем.

### **Архитектура клиент-сервер (англ. client-server)**

Вычислительная сетевая архитектура в виде программного обеспечения, в которой задания или сетевая нагрузка распределены между поставщиками услуг, называемыми серверами, и заказчиками услуг, называемыми клиентами. Обычно эти программы расположены на разных вычислительных машинах и взаимодействуют между собой через вычислительную сеть посредством сетевых протоколов, но могут быть расположены на одной машине.

### **АСКУЭ**

Автоматизированная система коммерческого учёта электроэнергии.

### **АСУ ТП**

Автоматизированная система управления технологическими процессами, которая автоматизирует основные операции технологического процесса и управление технологическим оборудованием на промышленных предприятиях.

### **АСУП**

Автоматизированная система управления производством.

### **АСУТП (англ. computer aided process planning, CAPP)**

Автоматизированные системы управления технологическими процессами.

### **Блокчейн (англ. blockchain)**

Распределённая база данных, которая хранит информацию обо всех транзакциях участников системы в виде «цепочки

блоков» (blockchain). Пользователи системы имеют доступ ко всему реестру и выступают в качестве «коллективного нотариуса», который подтверждает истинность информации в базе данных.

### **Буфер (англ. buffer)**

Область памяти, которая используется для временного хранения данных при вводе или выводе.

### **Веб-служба, веб-сервис (англ. web service)**

Программная система со стандартизированными интерфейсами, а также HTML-документ сайта, отображаемый браузером пользователя, идентифицируемая уникальным веб-адресом – URL-адресом.

### **Галактика CPM**

Линейка цифровых продуктов для создания комплексных систем управления компаниями и холдингами, в основе которой лежит идея непрерывного цикла управления бизнесом на уровне стратегии, процессов и исполнения задач.

### **Галактика eLMS**

Цифровое комплексное решение, которое позволяет организовать сквозной процесс обучения и развития персонала, интегрируемое с основными информационными системами предприятия в части кадрового делопроизводства, бюджетного планирования и прочее.

### **Галактика HCM**

Система цифровой автоматизации управления человеческими ресурсами.

### **Гипертекст (англ. hypertext)**

Термин, обозначающий систему, которая состоит из текстовых страниц, имеющих перекрёстные ссылки.

### **Диаграмма Ганта (англ. Gantt chart)**

Тип столбчатых диаграмм или гистограмм, который используется для иллюстрации плана-графика работ по проекту с привязкой ко времени. Является одним из методов планирования проектов.

### **ДСЕ**

Детали и сборочные единицы.

### **ЕСКД**

Единая система конструкторской документации.

### **ЕСТД**

Единая система технологической документации.

### **ИПИ-технологии**

Технологии информационной поддержки процессов жизненного цикла изделий.

### **КБ**

Конструкторское бюро.

### **Компоновочная геометрия**

Представляет собой файл сборки, который создается с помощью простых геометрических объектов, таких как точки, отрезки, окружности, плоскости. Компоновочная геометрия разрабатывается, чтобы показать расположение основных элементов и привязку деталей в сборке, а также основные формообразующие элементы для создания 3D-моделей деталей.

### **Метод конечных элементов**

#### **(англ. finite element analysis, FEA)**

Численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными и интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики. Широко используется для решения задач механики деформируемого

твёрдого тела, теплообмена, гидродинамики, электродинамики и топологической оптимизации.

**НИИ**

Научно-исследовательский институт.

**НИОКР**

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

**НПО**

Научно-производственное объединение.

**САПР**

Система автоматизированного проектирования.

**Сквозное проектирование**

Подразумевает передачу результатов одного этапа проектирования на следующий этап в единой проектной среде. При этом изменения, вносимые на любом этапе, отображаются во всех частях проекта. Сквозное проектирование позволяет разработчику контролировать целостность проекта, отслеживать и синхронизировать изменения [80].

**СУБД (англ. database management system)**

Система управления базами данных — это совокупность программных и лингвистических средств общего или специального назначения для создания, управления и использования баз данных.

**Терминальная архитектура**

Организация сетевой информационной системы, которая оптимизирует финансовые затраты для построения гибкой и надёжной информационной системы.

**ТИМ**

Технология информационного моделирования.

**Толстый клиент (англ. fat client)**

В компьютерной архитектуре клиент-сервер это приложение, которое предоставляет расширенную функциональность независимо от центрального сервера, функция которого в этом случае хранить информацию, а вся работа по обработке и представлению этих данных переносится на машину клиента.

**Тонкий клиент (англ. thin client)**

Компьютер или программа-клиент в сетях с клиент-серверной или терминальной архитектурой, который переносит все или большую часть задач по обработке информации на сервер.

**Файловый кэш (англ. file cache)**

Буфер с быстрым доступом к информации, которую запросят с наибольшей вероятностью. Доступ к информации происходит быстрее, чем выборка исходных данных из медленной памяти или удалённого источника, однако объём такой информации ограничен.

**Цифровой двойник (англ. digital twin)**

Цифровая интерактивная копия реального физического объекта, созданная для эффективного управления им и оптимизации бизнес-процессов его создания [4].

**ЧПУ (числовое программное управление)**

Система цифровых вычислительных устройств для управления производственным оборудованием.

**АЕС (англ. architecture, engineering and construction)**

Цифровые инструменты для проектирования зданий, гражданской инфраструктуры и строительства.

**АММ (англ. advanced manufacturing management)**

Автоматизированная информационная система по управле-

нию производством.

**API (application programming interface)**

Программный интерфейс приложения или интерфейс прикладного программирования описывает способы, наборы классов, процедур, функций, структур или констант, которыми компьютерные программы взаимодействуют друг с другом.

**BI (англ. business intelligence)**

Система цифровой аналитической поддержки принятия управленческих решений на уровне руководства предприятия.

**BIM (англ. building information modeling)**

Информационное моделирование здания или информационная модель здания.

Российский термин «ТИМ» является прямым переводом с английского языка.

Это цифровое представление физических и функциональных характеристик объекта, которое описывает геометрию здания и учитывает множество факторов и информацию об объекте, об отдельных его элементах, о производителе; учитывает географию, дизайн, а также влияние объекта на окружающую среду и наоборот. Все эти данные вместе с технико-экономическими показателями и другими характеристиками объекта формируют такую информационную модель, в которой изменение одного параметра приводит к автоматическому перерасчёту остальных.

**Blockchain (англ.)**

Перевод на русский язык — цепь из блоков, цепочка блоков. Это непрерывная последовательная цепочка блоков, представляющая собой связный список и содержащая инфор-

мацию. Связь между блоками обеспечивается нумерацией и тем, что каждый блок содержит свою собственную хеш-сумму и хеш-сумму предыдущего блока. Для изменения информации в блоке придётся редактировать и все последующие и предыдущие блоки. Копии цепочек блоков хранятся на множестве разных компьютеров независимо друг от друга. Это делает затруднительным внесение изменений в информацию, хранящуюся в блоке.

**BOM (bill of materials)**

Ведомость спецификаций изделия — это список материалов и комплектующих, их количества, необходимых для производства данного изделия.

**BRep (boundary representation)**

Граничное представление, в котором форма объекта образуется совмещением поверхностей, граней и вершин.

**CAD (computer-aided design)**

Система автоматизированного проектирования.

**CAE (computer-aided engineering)**

Компьютерные системы для решения различных инженерных задач: расчётов, анализа или симуляции физических процессов.

**CAI (computer-aided inspection)**

Компьютерные системы для контроля качества физических моделей и изделий, причём цифровая модель выступает в качестве эталона. Используются совместно с измерительными приборами.

**CALS (continuous acquisition and life cycle support)**

Непрерывная информационная поддержка процессов жизненного цикла изделий.

**CAM (computer-aided manufacturing)**

Компьютерные системы для подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ.

**CPC (collaborative product commerce)**

Цифровая среда управления корпоративной информацией участников производственной цепочки для координации процессов проектирования, производства и послепродажного обслуживания на протяжении жизненного цикла изделия.

**CRM (customer relationship management)**

Система цифрового управления взаимоотношениями с клиентами.

**CSG (constructive solid geometry)**

Конструктивная твердотельная геометрия, в которой форма объекта определяется применением булевых операций над примитивами, такими как блоки, цилиндры, сферы и другие.

**EAM (англ. enterprise asset management)**

Система цифрового управления основными фондами предприятия для систематической и скоординированной деятельности организации, нацеленная на оптимальное управление физическими активами и режимами их работы, рисками и расходами на протяжении всего жизненного цикла для достижения и выполнения стратегических планов организации.

**ECM (engineering change management)**

Система цифрового управления изменениями в инженерных системах, их планирования, реализации и оценки в зависимости от влияния разных факторов.

**ECM (англ. enterprise content management)**

Управление корпоративным контентом — это система управления цифровыми документами и другими типами контента,

а также их хранение, обработка и доставка в рамках организации. На постсоветском пространстве понятие ECM-системы трактуется как сходное с понятием «системы электронного документооборота» (СЭД).

**ERP (enterprise resource planning)**

Система цифрового планирования ресурсов предприятия.

**ESB (англ. enterprise service bus)**

Сервисная шина предприятия — это связующее программное обеспечение, которое обеспечивает централизованный и унифицированный событийно-ориентированный обмен сообщениями между различными информационными системами на принципах сервис-ориентированной архитектуры.

**HTML (hypertext markup language)**

Язык гипертекстовой разметки. Стандартизированный язык разметки документов в сети «Интернет». Интерпретируется браузерами; полученный в результате интерпретации форматированный текст отображается на экране монитора компьютера или мобильного устройства.

**ILS (англ. integrated logistics support)**

Технологии интегрированной логистической поддержки (ИЛП) применяют для формирования и обеспечения эффективного функционирования системы технической эксплуатации. Эту деятельность осуществляют на всех стадиях и этапах жизненного цикла изделия с целью обеспечения заданных эксплуатационно-технических характеристик изделий.

**IoT (internet of things)**

Концепция вычислительной сети, описывающей способы взаимодействия физических объектов, устройств и систем между собой и с окружающим миром с применением

технологий связи и стандартов соединения, исключаящее участие человека [15].

**МСМ (англ. manufacturing cooperation management)**

Система цифрового управления межзаводской кооперацией в производстве сложной машиностроительной продукции по всей производственной сети.

**МДМ (англ. master data management)**

Управление основными данными компании или управление мастер-данными — это совокупность процессов и инструментов для постоянного определения и управления основными данными компании, в том числе справочными, с целью создания единого источника полной и непротиворечивой информации, которая используется в работе разными подразделениями компании или дочерними предприятиями компании.

**МЭС (англ. manufacturing execution system)**

Система оперативного планирования и управления производственными процессами.

**МОМ (англ. manufacturing operations management)**

Управление производственными процессами и операциями, которое позволяет повысить автоматизацию и прозрачность производственных процессов и обеспечить взаимодействие между инженерными службами и производственными подразделениями.

**МРП (material requirements planning)**

Компьютерные системы для планирования потребностей в материалах.

**МРП-2 (англ. manufacturing or material requirement planning)**

Система цифрового планирования производства.

**PCM (product configuration management)**

Система цифрового установления функциональных и физических характеристик изделия, их согласованности с заданными требованиями и с проектной и эксплуатационной документацией на протяжении его срока службы.

**РДМ (англ. product data management)**

Управление информацией об изделии.

**РЛМ (англ. product lifecycle management)**

Управление жизненным циклом изделия.

**С&СМ (англ. sales and service management)**

Система управления продажами и обслуживанием.

**СааС (англ. software as a service)**

Программное обеспечение как услуга.

**САДА (англ. supervisory control and data acquisition)**

Система цифрового диспетчерского управления производственными процессами. Предназначена для обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления.

**СМ (supply chain management)**

Система цифрового управления цепочками поставок.

**SPARK matrix (strategic performance assessment and ranking)**

Матрица стратегической оценки эффективности и рейтинга.

**SQL (англ. structured query language)**

Язык структурированных запросов, который применяется для создания, модификации и управления данными в реляционных базах данных.

**URL-адрес, (англ. uniform resource locator)**

Унифицированный указатель ресурса. Является системой унифицированных адресов электронных ресурсов. Используется в качестве стандарта записи ссылок на объекты в сети «Интернет».

**Workflow (англ.)**

Переводится на русский язык как «поток работ». В общем случае это графическое представление потока задач в рамках рабочего процесса и связанных с ним подпроцессах.

В PLM платформах — это последовательность выдаваемых в электронной форме заданий на согласование документов, содержащих ссылки на электронные документы внутри PLM платформы.

**ХааС (everything as a service)**

Модель бизнеса «Всё как услуга», которая подразумевает изменение и/или модернизацию служб компании в сервисную модель.

## ВВЕДЕНИЕ



Сегодня конкурентоспособность и рентабельность производства определяются уровнем внедрения цифровых технологий в производственный процесс, управление которым — задача компьютерных программ по управлению жизненным циклом изделия.

Существует несколько подходов к определению Product lifecycle management (далее PLM).

Термин «управление жизненным циклом изделия» является дословным переводом с английского языка. Существующие определения указывают на различие подходов в понимании роли PLM в деятельности организации.

PLM — подход к эффективному управлению продуктами компании на протяжении жизненного цикла

изделия [12].

PLM — управление жизненным циклом изделия от идеи до утилизации. PLM объединяет людей, информацию, процессы и предоставляет полную информацию об изделии, необходимую компании [11].

Если проследить развитие PLM-систем, то можно определить PLM как цифровую платформу, которая расширяет функционал PDM-систем и нивелирует разрыв между производственными процессами и бизнес-процессами [8].

Термин «управление жизненным циклом изделия» появился в результате эволюции систем автоматизированного проектирования.

К середине 1990-х гг. не было единого мнения, что относить к инженерной информации об изделии. Постепенно эта информация стала восприниматься как общие данные об изделии, что привело к появлению термина «управление данными об изделии».

В ходе развития PLM менялись и подходы к определению жизненного цикла изделия. Если при возникновении PLM под жизненным циклом изделия понимали проектные и конструкторские работы, то по мере развития концепции в неё стали включать операции и процессы, происходящие внутри жизненного цикла изделия.



## ИСТОРИЯ

<p><b>1960–1970–е годы</b></p>	<p>Начало внедрения вычислительной техники в производственные процессы. Компьютеры применяли для решения частных задач, которые относились к разным этапам жизненного цикла изделий. С помощью вычислительной техники автоматизировали учётно-управленческие функции внутри автоматизированной системы управления производством (АСУП). Одновременно с ними появились автоматизированные системы управления технологическими процессами АСУТП [18], [19].</p>
<p><b>1970–е годы</b></p>	<p>Появление первых системы для конструкторского проектирования – CAD-систем, которые использовали средства вычислительной техники в процессах конструкторской и технологической подготовки производства и генерировали двумерные чертежи изделий [5]. Для улучшения логистики ресурсов предприятия были разработана система планирования потребности в материалах – MRP, которую позже была преобразована в систему планирования производственных ресурсов – MRP II [7].</p>
<p><b>1976 год</b></p>	<p>Возникновение идеи интегрированных компьютерных производственных систем, обусловленная увеличением числа компьютерных систем на предприятиях и проблемой обмена информацией между ними. Госстандарт СССР разработал методику описания изделий в условиях автоматизации проектирования и производства для выработки единого системного подхода к формализованному представлению конструкторской и технологической информации и формированию информационного языка. Основу методики составляла модель, структура которой объединяла элементы изделия и отношения между ними.</p>
<p><b>Начало 80-х годов</b></p>	<p>Появление 3D CAD-систем, которые заменили двумерные CAD-системы и позволили инженерам конструировать произвольные поверхности твёрдого тела в трёх измерениях. Методы проектирования эволюционируют от статических, двумерных чертежей с разными видами и разрезами, к динамическим, трёхмерным виртуальным геометрическим моделям изделий. Появление CAE-систем, которые разрабатывали параллельно с 3D CAD-системами. CAE-системы расширяли функциональные возможности компьютерного проектирования за счёт того, что помогали инженерам оценить работоспособность и поведение трёхмерной модели изделия в условиях, близких к реальной эксплуатации, без больших затрат времени и средств [6]. Появление CAM-систем, используя которые инженеры получили возможность писать управляющие программы для станков с ЧПУ на основе результатов инженерного анализа.</p>

<p><b>1985 год</b></p>	<p>Разработана CALS-технология для военно-промышленного комплекса США, которая стандартизировала электронное представление изделий и обмен технической и коммерческой информацией. CALS-технология упорядочивала процессы и сокращала затраты, связанные с информационной поддержкой логистики.</p>
<p><b>Середина-конец 80-х годов</b></p>	<p>Появление программных комплексов управления данными об изделии — PDM [8], которые создавались для поддержки CAD, CAM и CAE. Функции ранних PDM-систем заключались в предоставлении пользователям информации об изделии и обеспечение её целостности через центральное хранилище данных. Во время работы над новой моделью автомобиля — Jeep Grand Cherokee, в середине 1980-х годов XX века инженеры компании American Motors Corporation<sup>1</sup> (AMC) разработали первую PLM систему для управления жизненным циклом изделия и увеличения скорости вывода на рынок новой модели [11].</p>
<p><b>1990-е годы</b></p>	<p>Переход PDM-систем в CPC-системы, обусловленный ростом контрактного производства и развитием интернет-технологий, которые предоставили необходимую инфраструктуру для разработки лёгких и универсальных пользовательских интерфейсов с низкой стоимостью поддержки. Развитие интернет-технологий позволило снизить стоимость владения CPC-системами для предприятий и наладить кооперацию с международными поставщиками и клиентами. CPC-системы управляли только технико-конструкторской документацией; чего было недостаточно для управления жизненным циклом изделия [9]. Систему планирования производственных ресурсов заменила система планирования ресурсов предприятия — ERP. Появление системы управления взаимоотношениями с клиентами — CRM. Появление системы управления цепочками поставок — SCM. ERP, CRM и SCM ориентировались каждый на свой этап жизненного цикла изделия. PDM не интегрировались с ERP, CRM и SCM, так как изначально разрабатывались для обработки технико-конструкторской информации [10].</p>
<p><b>2005 год</b></p>	<p>Компания Dassault Systems разработала концепцию PLM, которая стала развитием CALS-технологий, — управление информацией об изделии на всех этапах жизненного цикла. PLM программы были призваны расширить возможности PDM программ. Если PDM ориентировались на управление информацией, то PLM представляла собой процесс, который поддерживал сбор, организацию и повторное использование информации в течение жизненного цикла изделия.</p>
<p><b>Вторая половина 2000-х годов</b></p>	<p>Интеграция PLM-систем и ERP-систем</p>
<p><b>2010-е годы</b></p>	<p>Появление концепции цифрового предприятия, основу которого составляет интеграция PLM-систем и ERP-систем, управляемого искусственным интеллектом.</p>

<sup>1</sup>American Motors Corporation (AMC) – американская автомобилестроительная корпорация, существовавшая с 1954 по 1987 год.

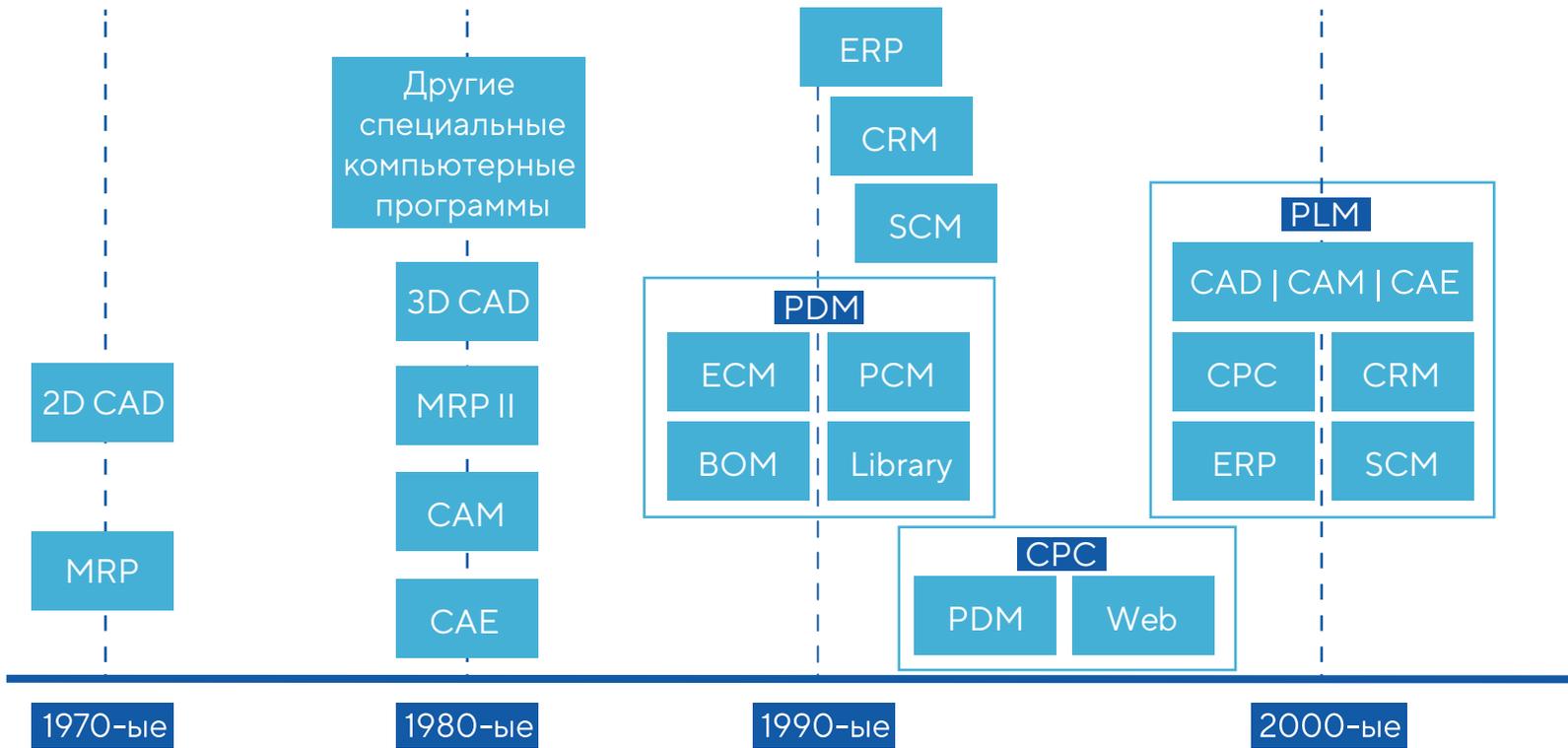


Рисунок 1 – Эволюция систем управления производством и продуктом

## ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ

Процесс работы предприятия регламентируется большим количеством документации. Чертежи, технологические карты, нормативные документы, изменения, вносимые в процессе согласования и прочее. Систематизировать и контролировать этот поток информации сложно даже на небольших предприятиях. Внедрение PLM-технологий создаёт контролируемую среду распространения информации на предприятии, в которой хранится вся документация, доступная по первому требованию. В PLM-платформе хранится информация обо всех версиях изделия, что позволяет повторно использовать решения, реализованные в предыдущих проектах. PLM-технологии собирают данные о функционировании изделия у заказчика. Сбор и анализ информации о способах и условиях эксплуатации изделия у заказчика, о воздействии условий эксплуатации на изделие даёт разработчику возможность улучшить изделие путём устранения выявленных недостатков и оптимизации технических характеристик [67].

Применение PLM и ERP производственными компаниями увеличивает рентабельность производства. Оба направления до недавнего времени развивались независимо друг от друга, что обусловило отсутствие на предприятиях единого информационного пространства для технической подготовки, оперативного учёта и управления ресурсами производства на уровне участка, цеха и предприятия в целом, хотя информа-

ционные потоки двух платформ пересекаются. Поэтому в профессиональных кругах всё чаще говорят о необходимости взаимной интеграции PLM и ERP.

PLM и ERP предназначены для решения разных задач. PLM аккумулирует информацию об изделии и процессах изготовления. ERP аккумулирует информацию о бизнес-процессах, таких как планирование производства, снабжение, ведение складского хозяйства, сбыт, учёт издержек. PLM работает с неструктурированными данными, такими как эскизы, чертежи, модели, и обрабатывает контекстно-зависимую информацию. ERP работает со структурированными данными и оптимизированы для управления транзакциями [38].

Жизненный цикл изделия — явления и процессы, повторяющиеся с периодичностью, определяемой временем существования типовой конструкции изделия от её замысла до утилизации или конкретного экземпляра изделия от момента завершения его производства до утилизации [22].

Эффективное сотрудничество между участниками территориально распределенной команды стало возможно благодаря PLM-технологиям, которые предоставляют глобальную среду управления цифровой информацией об изделии. Благодаря этому пользователи проектируют и тестируют изделия, и моделируют производственные процессы в виртуальном пространстве, которое имитирует реальные условия.

### **К основным стадиям жизненного цикла изделия относятся:**

- маркетинг;
- проектирование и разработка продукции;
- планирование и контроль процессов;
- закупка материалов и комплектующих;
- производство или предоставление услуг;
- упаковка и хранение;
- монтаж и ввод в эксплуатацию;
- техническая помощь и сервисное обслуживание;
- послепродажная деятельность или эксплуатация;
- утилизация и переработка в конце полезного срока службы.

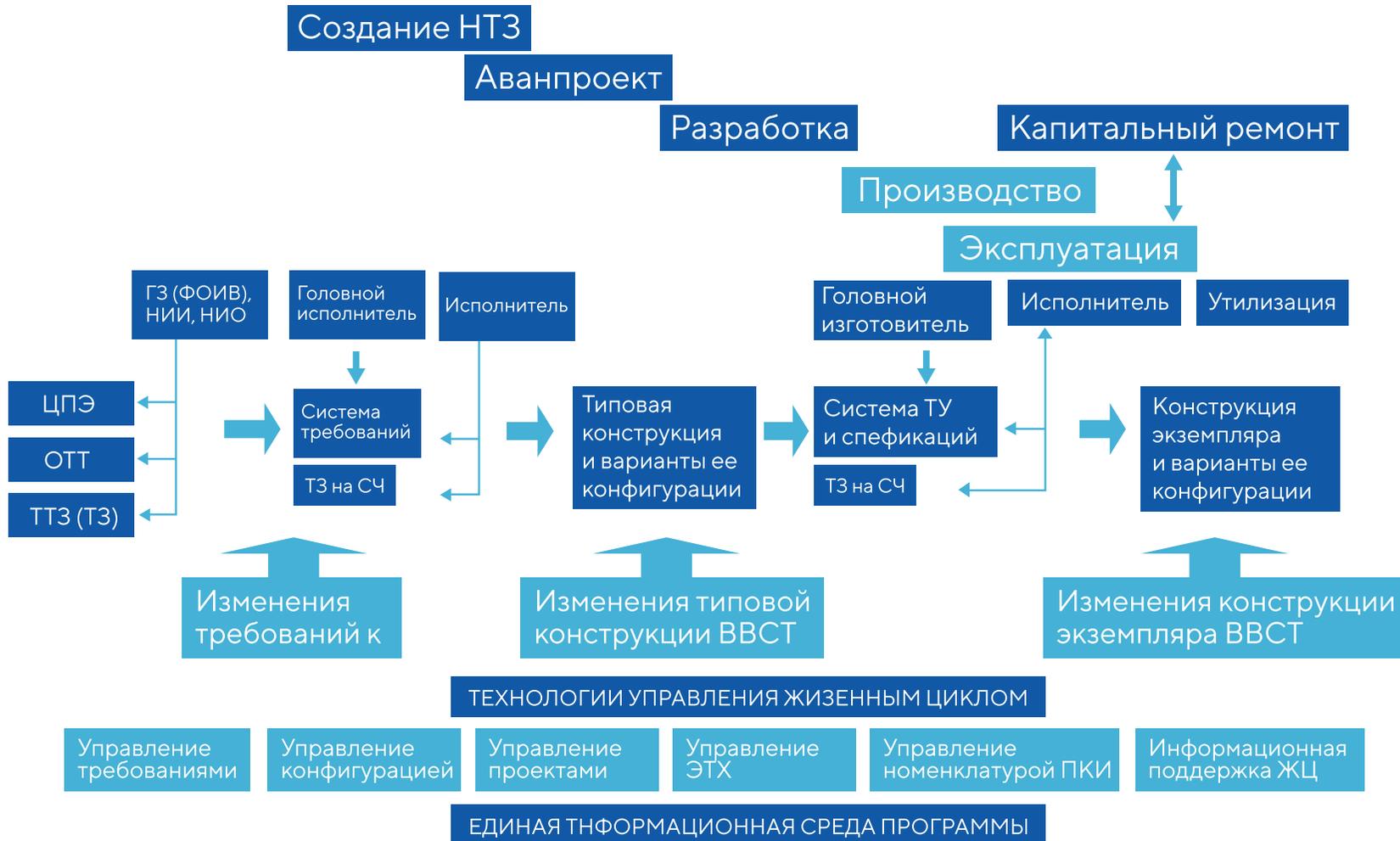


Рисунок 2 – Схема процесса управления жизненным циклом изделия

## CALS-ТЕХНОЛОГИЯ

Первоначально CALS-технология разработана в военно-промышленном комплексе США в 1985 году для стандартизации электронного представления изделий и обмена технической и коммерческой информацией. CALS-технология упорядочивала процессы и сокращала затраты, связанные с информационной поддержкой логистики:

- заказ;
- поставка;
- обслуживание;
- эксплуатация;
- ремонт средств вооружений и военной техники.

Это технологии непрерывной информационной поддержки жизненного цикла изделий — информационные технологии описания изделий, производственной среды и процессов, протекающих в этой среде. Данные, порождаемые и преобразуемые этими информационными технологиями, представляются в виде, оговорённом в нормативном документе информационной поддержки жизненного цикла продукции, и служат для обмена или совместного использования различными участниками жизненного цикла продукции [23].

Эффективность в логистике привела к распространению такого подхода на все стадии жизненного цикла изделия.

Цель CALS-технологии: поставить готовое изделие в комплекте с трёхмерной электронной моделью, которая содержит необходимую информацию об изделии: конструкторскую, технологическую, эксплуатационную, технические характеристики, регламент профилактических и ремонтных работ.

Разница между CALS и PLM заключается в терминологии и стандартизации. CALS-технология используется в США, а PLM платформы — в Европе.

Дальнейшее развитие CALS-технология получила в концепции PLM — управление информацией об изделии на всех этапах жизненного цикла, которую выдвинула компания Dassault Systems в 2005 году [21].

**PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT (PLM)** — управление жизненным циклом изделия на всех его стадиях: с момента выявления потребностей общества в определённом изделии до его утилизации после использования.

## ЦЕЛИ ВНЕДРЕНИЯ PLM ПЛАТФОРМЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ:

- увеличение выручки;
- сокращение затрат, связанных с производством и реализацией ассортимента продукции;
- максимизация стоимости продуктового портфеля.

## В ЗАДАЧУ PLM ВХОДИТ СТРАТЕГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАЗРАБОТКОЙ ПРОДУКТА:

- описание продукта;
- моделирование продукта;
- управление данными о продукте;
- подготовка производства продукта;
- производство продукта;
- сопровождение продукта;
- управление структурированным портфелем продуктов;
- максимизация финансовой отдачи портфеля продуктов;
- управление проектами разработки, поддержки и переработки продукции;
- управление отзывами о продуктах;
- обеспечение условий для совместной работы с партнерами по проектированию и с клиентами;
- сбор, поддержание и предоставление информации о продукте в требуемое место и время.

Кроме указанных задач, требуется решать задачи управления совместной разработкой продуктов и общими данными, урегулирования конфликтов не только внутри, но и вне компании [20].

## ВЫДЕЛЯЮТ ШЕСТЬ ГЛАВНЫХ ЗАДАЧ PLM-СИСТЕМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОДУКТА [1]:

### 1. Управление данными о продукте.

Данные о продукте занимают значительную часть в общем объёме информации о жизненном цикле изделия. Эти данные используют для решения задач производства, материально-технического снабжения, сбыта, эксплуатации и ремонта.

### 2. Управление основными средствами производства.

Обеспечивает достижение высокого уровня контроля и точности работы оборудования для бесперебойного цикла производства.

### 3. Управление программами и проектами.

Предоставляет информацию о взаимосвязанных работах для эффективного управления проектом: бюджет проектируемого изделия, планирование необходимых производственных мощностей, установка логистических и коммуникационных связей.

### 4. Сотрудничество на протяжении жизненного цикла продукта.

Повышает эффективность разработки изделия сокращает его себестоимость и срок вывода на рынок за счёт непрерывной обратной связи между интегрированными процессами проектирования, производства, сбыта и обслуживания.

### 5. Управление качеством.

PLM-системы позволяют эффективно решать задачи

контроля качества на всех этапах жизненного цикла изделия:

- маркетинг;
- проектирование;
- разработка технических условий;
- материально-техническое снабжение;
- закупка;
- разработка производственных процессов;
- производство;
- испытания;
- сертификация;
- монтаж;
- эксплуатация;
- техобслуживание;
- утилизация.

### 6. Охрана окружающей среды и труда, производственная медицина.

Позволяет снизить затраты и минимизировать производственные риски с учётом требований законодательства в области охраны окружающей среды и труда за счёт сокращения времени на заполнение бланков и предписаний по технике безопасности.

Сегодня недостаточно только средств геометрического моделирования для разработки изделий, поэтому концепция PLM выходит за рамки CAD, CAM, CAE, PDM.

70% всех затрат на продукт приходится на цикл проектирования — PLM, а остальное на оперативное управление и логистику — ERP.

Применение ERP платформ начинается там, где геометрическая информация не важна: управление ресурсами, финансовыми потоками, запасами и т. п.

PLM и ERP дополняют друг друга. PLM отвечает за разработку продукта. ERP отвечает за послепродажное обслуживание, информация для которого поступает из PLM платформы. Важную роль при этом играет обмен последней информацией между платформами.

Компания Dassault Systems определяет основу производственной деятельности, как модель PPR<sup>2</sup>, которая представляет собой информационную «магистраль», которая соединяет PLM, ERP, SCM и CRM. Эти платформы не существуют изолированно, а находятся в тесной взаимосвязи, поэтому в скором времени эти платформы будут единым PLM-решением.

Конкурентоспособность предприятий сегодня определяется не самим фактом использования ERP, SCM или CRM, она определяется оптимальным использованием этих технологий для решения задач, т.е. PLM платформа выступает фундаментом для развёртывания интегрированной инфраструктуры управления жизненным циклом изделий [20].

Применение PLM активно развивается в создании сложной наукоёмкой продукции, которую проекти-

<sup>2</sup>Продукт, процесс, ресурс (от англ. PPR: P – Product. P – Process. R – Resource).

руют и производят интегрированные промышленные структуры: НИИ, НПО, КБ, предприятия технического обслуживания, ремонта, утилизации и др.

Развитие концепции PLM обусловило появление «виртуального предприятия» — нового подхода к выполнению сложных проектов, который объединяет на контрактной основе участников жизненного цикла изделия, действующих в едином информационном поле. Благодаря такому подходу становится возможным реализовать совместные проекты по разработке, производству, сбыту и сервисному обслуживанию наукоемких товаров.

#### **НОВИЗНА КОНЦЕПЦИИ PLM:**

- широта охвата и системность подхода;
- стандартизация представления информации;
- преемственность и сохранность результатов.

Главные проблемы PLM, которые мешают управлению информацией об изделии:

- огромное количество информации — «информационный хаос»;
- коммуникационные барьеры между участниками жизненного цикла изделия.

Решением этих проблем является создание единого информационного пространства для участников жизненного цикла изделия, включая потребителя, в основе которого лежит использование открытых архитектур, международных стандартов, совместных систем хранения данных и программно-технических средств.

#### **ХАРАКТЕРНЫЕ ПРИЗНАКИ PLM-СИСТЕМ**

1. PLM, наряду с ERP и MES, направлены на достижение операционной прозрачности, производственной гибкости и эффективности.
2. PLM описывает изделие в условиях постоянного роста объема данных о нём.
3. Применение PLM в сложном многооперационном производстве позволяет контролировать качество изделий путём отслеживания каждого этапа производства с учётом требований, предъявляемых заказчиком, что повышает конкурентоспособность предприятия.
4. PLM интегрирует в себя сферы деятельности, в которых использование данных об изделии и обмен ими обеспечивают требуемое качество и рост ценности изделия [1].
5. PLM охватывает задачи каждого этапа жизненного цикла изделия: от ранних этапов разработки до производства, сопровождения и утилизации.
6. В рамках PLM возможна разработка «цифрового двойника», который объединяет геометрию механических, электронных, кабельно-жгутовых и программных компонентов с физикой процессов, моделирующих поведение физического объекта с высокой степенью достоверности. С помощью цифрового двойника можно выполнять сложные инженерные расчёты и поиск оптимальной конструкции. Раньше выполнение подобных задач требовало большого количества промежуточных действий, что сильно ус-

ложняло процесс поиска оптимального инженерного и научного решения. Сегодня с использованием PLM и цифровых двойников поиск решения происходит в единой среде, в короткие сроки и с заданным результатом.

7. PLM предоставляет средства разработки изделий и процессов технологической подготовки производства как одной детали, так и сложносоставного изделия, которое состоит из тысяч частей и подсистем.

8. Применение PLM сокращает сроки разработки новых изделий до 30%.

9. Сквозное проектирование выстраивает производственную цепочку таким образом, что на ранних стадиях разработки учитываются требования, которые предъявляются к конечным изделиям [3].

10. PLM программы используются как в крупных транснациональных корпорациях, так и в малых или средних предприятиях.

#### **ОСНОВНЫЕ ОТРАСЛИ ВНЕДРЕНИЯ PLM ПЛАТФОРМ**

- аэрокосмическая и оборонная промышленность;
- автомобилестроение и транспорт;
- потребительские товары и розничная торговля;
- электроника и полупроводниковая техника;
- энергетика;
- тяжелое машиностроение и промышленное оборудование;
- судостроение;

- медицина и фармацевтика;
- строительство и городская инфраструктура;
- научные исследования;
- нефтегазовая промышленность.

Список изделий, для которых используется PLM, обширный и включает в себя сельскохозяйственную технику, авиакосмическую технику, автомобили, химикаты, компьютеры, бытовую электронику и технику, электрооборудование, лифты, эскалаторы, продукты питания, мебель, медицинское и промышленное оборудование, лекарства, корабли, одежду и обувь, программное обеспечение, телекоммуникационное оборудование, поезда, турбины, часы и прочее [13].

### ПРЕДПОСЫЛКИ ВНЕДРЕНИЯ PLM ПЛАТФОРМ

1. Длительные сроки выведения новых изделий на рынок.
2. Срыв сроков разработки и производства новых изделий.
3. Большие затраты на содержание конструкторских бюро.
4. Низкая скорость разработки новых изделий и внесения изменений в конструкторско-технологическую документацию.
5. Проблемы кооперации конструкторских бюро и производственных подразделений.
6. Не эффективное управление разработкой новых изделий.
7. Низкое качество разрабатываемой и производимой продукции.

8. Несоблюдение требований маркетинга и производства при проектировании.

9. Сотрудники компании ориентируются на показатели объема.

Эти проблемы вызваны низкой степенью автоматизации производства. Если бухгалтерский учёт и управление финансами компании автоматизированы, то PLM на производственных предприятиях начали внедряться недавно [50].

### ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОГРАММНЫХ КОМПОНЕНТОВ PLM ПЛАТФОРМ

Качество управления жизненным циклом изделия зависит от характера взаимодействия программных компонентов между собой и технологии выполнения процессов с их использованием [2].

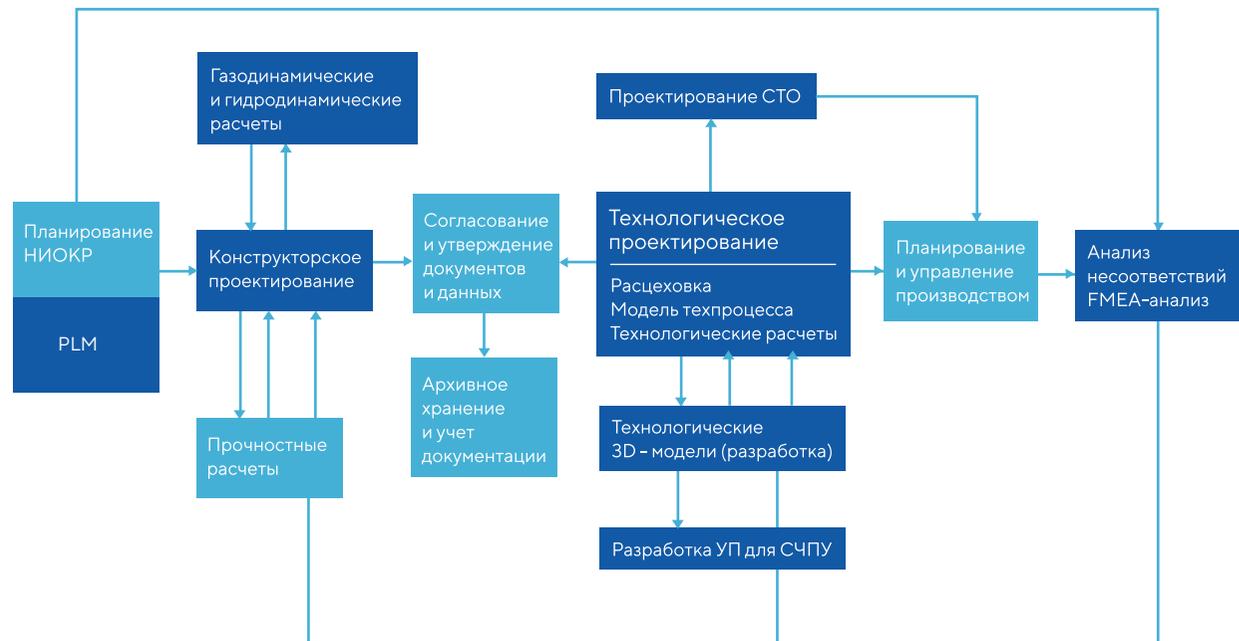


Рисунок 3 – Схема автоматизируемых процессов и интеграционных связей в PLM платформе

## ПЛАНИРОВАНИЕ НИОКР

Планирование НИОКР позволяет работать над проектом коллективно, структурировать взаимосвязанные работы, выдавать задания исполнителям и отслеживать выполнение этих заданий.

### При планировании НИОКР предусмотрены:

- индикация конфликтов планирования;
- отображение графика проекта в виде диаграммы Ганта;
- создание отчетов по плановым и фактическим показателям.

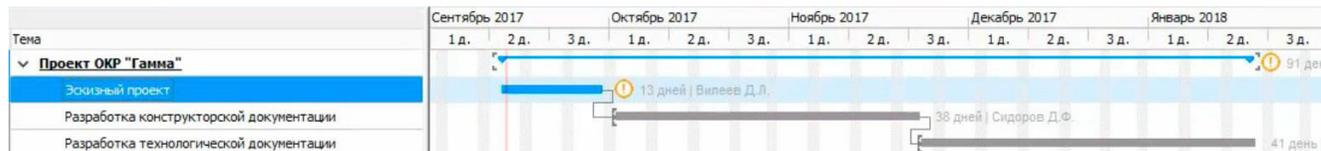


Рисунок 4 – Пример планирования НИОКР с использованием диаграммы Ганта

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ

Детальному конструкторскому проектированию новых изделий предшествует определение базовых параметров изделия на основе расчётных моделей. Результаты таких расчётов определяют геометрическую форму компонентов изделия, конструктивные решения и требуемые материалы изготовления.

## ЭСКИЗНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

После нескольких итераций расчётов и оптимизации теоретической модели начинается этап эскизного проектирования изделия, на котором разрабатывается компоновка изделия с указанием габаритов, форм поверхностей,

мест крепежа, крайних положений подвижных частей. На этом этапе также определяются основные узлы изделия, которые требуют детального проектирования. В результате формируется укрупнённая структура изделия, на основании которой детализируется календарный план-график опытно-конструкторских работ. А инженеры получают задания на проектирование отдельных узлов и подсистем.

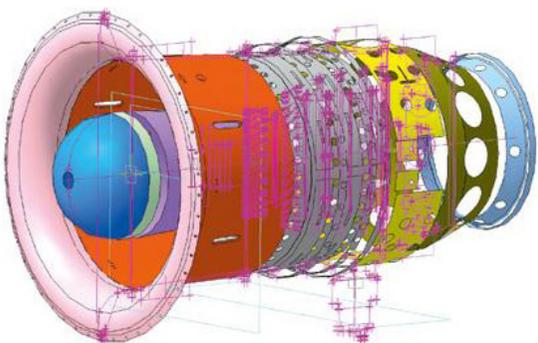


Рисунок 5 – Пример эскизного проектирования

### РАБОЧЕЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Проектирование нового изделия начинается не «с чистого листа», а с изучения имеющегося опыта и анализа эксплуатации изделий-аналогов. Цель анализа – это выработать конструктивные решения, которые повысят эксплуатационные характеристики будущего изделия.

На этапе разработки рабочей конструкторской документации конструкторы, получив задания в системе

планирования, приступают к проектированию изделия в CAD программе. Проектирование изделий выполняется согласно компоновочной геометрии, которая играет роль технического задания на проектирование и является опорной при построении геометрии элементов конструкции. При таком подходе конструктор ассоциативно изменяет конструкцию проектируемого узла при изменении постановки задачи. Ведущий конструктор видит, насколько конструкция проектируемой детали вписывается в конструкцию изделия, выявляет конфликты и несоответствия, чтобы вовремя изменить компоновочную геометрию. Для участников процесса компоновочная геометрия единой средой проектирования и играет роль технического задания на проектирование.

В ходе проектирования применяются твердотельное и поверхностное моделирование. Отдельные виды узлов и деталей проектируют с использованием специализированных прикладных приложений. Для назначения материалов изготовления, добавления стандартных и покупных изделий используется единая система управления нормативно-справочной информацией.



Рисунок 6 – Пример проектирования изделия в CAD программе

### ПРОЧНОСТНЫЕ РАСЧЁТЫ

Расчёт прочности отдельных элементов изделия проходит в среде CAE программы, в которой задаются граничные условия, генерируется конечно-элементная сетка, выбирается тип расчёта.

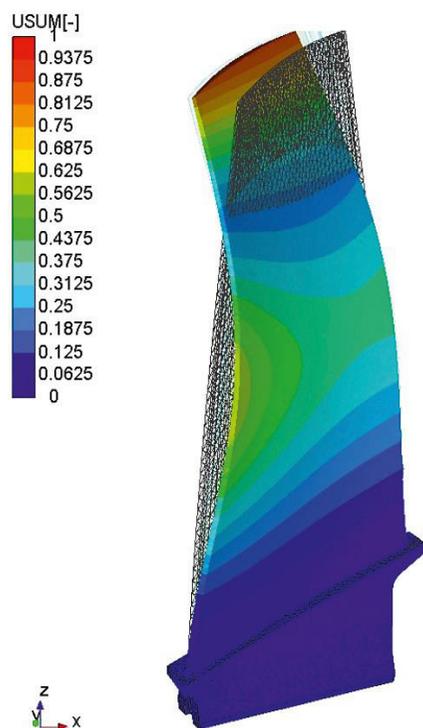


Рисунок 7 – Пример прочностного расчёта детали

### ОФОРМЛЕНИЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

На основе разработанной электронной модели изделия формируются ассоциативно связанные с моделью чертежи согласно требованиям стандартов ЕСКД с учётом информации об особенностях конструкции в различных видах документов. Чертежи имеют ассоциативную связь с 3D-моделью и автоматически перестраиваются при её изменении, что снизит трудоёмкость оформления конструкторской документации.

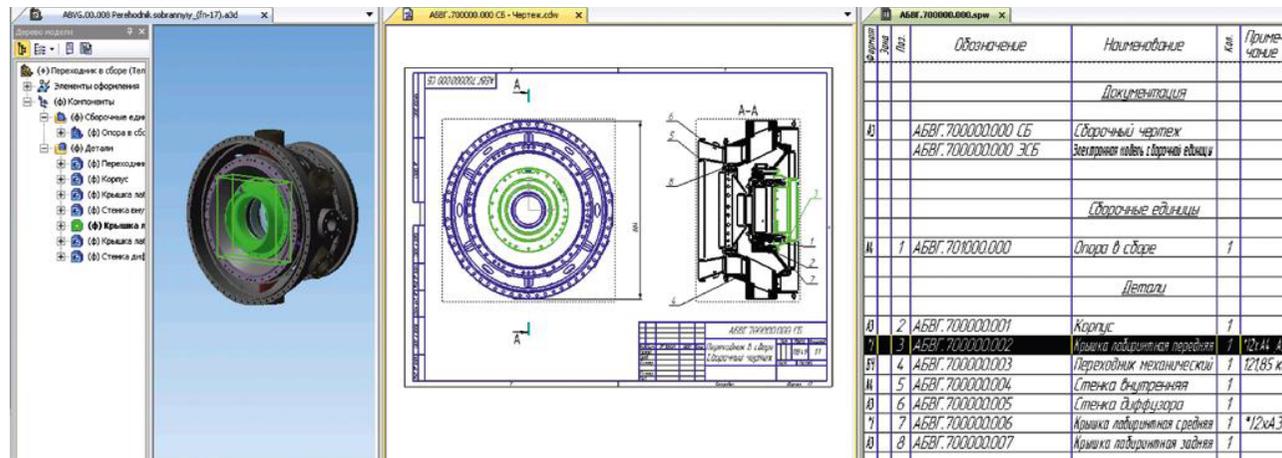


Рисунок 8 – Пример оформления конструкторской документации из 3D-модели

## ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Планирование работ по технологической подготовке производства (ТПП) начинается с формирования укрупнённого плана и производится в системе планирования, встроенной в PLM платформу. План ТПП может быть составной частью плана по разработке нового изделия или самостоятельным планом.

Первая задача в рамках укрупнённого плана ТПП – это формирование межцеховых технологических маршрутов. В рамках её выполнения технологи задают последовательность прохождения деталей и сборочных единиц по производственным цехам, формируя межцеховые маршруты для каждого элемента в электронной структуре изделия.

Современные PLM платформы могут автоматически формировать планы работ цеховых технологических бюро на основании данных межцеховых технологических маршрутов. Аналогичным образом формируется план работ по проектированию оснастки или разработки управляющей программы.

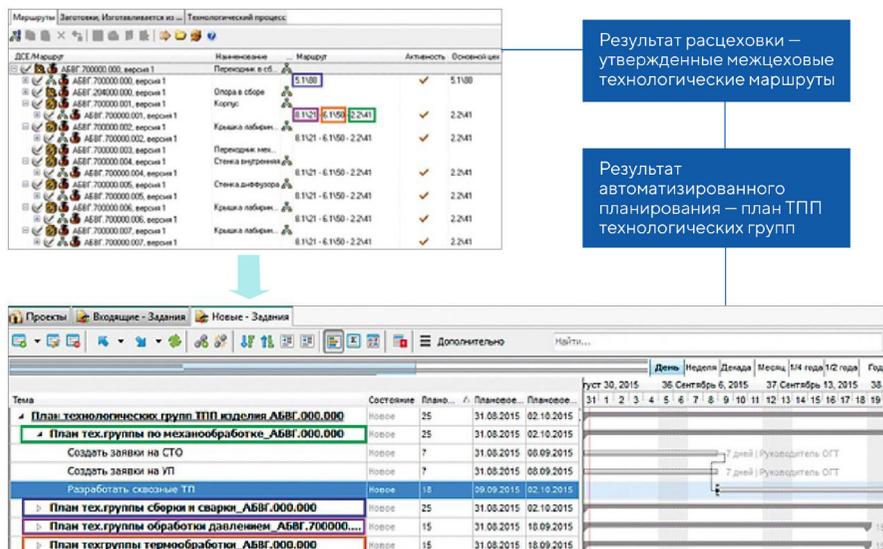


Рисунок 9 – Пример планирования технологической подготовки производства

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Получив задание на технологическое проектирование по конкретному перечню деталей и сборочных единиц, технологическое бюро начинает разрабатывать технологические процессы.

1.1. Разработка технологических процессов в виде иерархической структуры операций, переходов, оборудования, инструментов, оснастки и профессий.

1.2. Согласование параметров технологического процесса с геометрическими параметрами 3D-модели. При изменении 3D-модели параметры техпроцесса изменяются ассоциативно.

1.3. Расчёт режимов обработки, материальны и трудовых затрат на производство изделия.

1.4. Формирование технологической документации в соответствии с требованиями ЕСТД.

1.5. Параллельное проектирование сквозных техпроцессов в режиме реального времени.

1.6. Формирование заявок на проектирование специальных средств технологического оснащения.

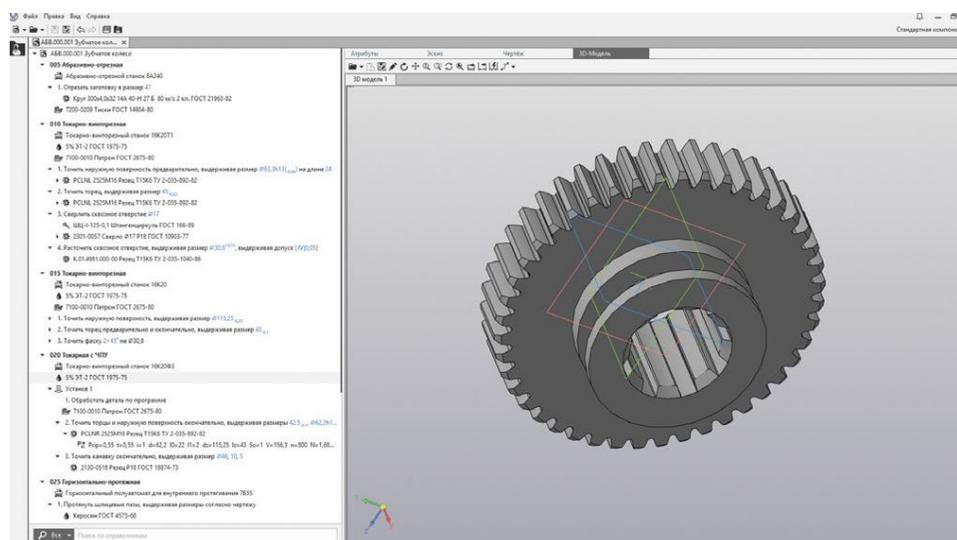


Рисунок 10 – Пример проектирования технологии изготовления

### РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Технолог-программист загружает 3D-модели заготовки и детали в модуль CAM, в котором задаёт оборудование, инструмент и параметры обработки. Модуль CAM распознаёт конструктивные элементы 3D-модели детали, определяет зоны и режимы обработки, формирует процесс обработки. Система автоматически рассчитывает траекторию обработки, генерирует управляющую программу и моделирует обработку с учётом виртуальной модели станка и инструмента на основе полученной управляющей программы для конкретного станка и его стойки.

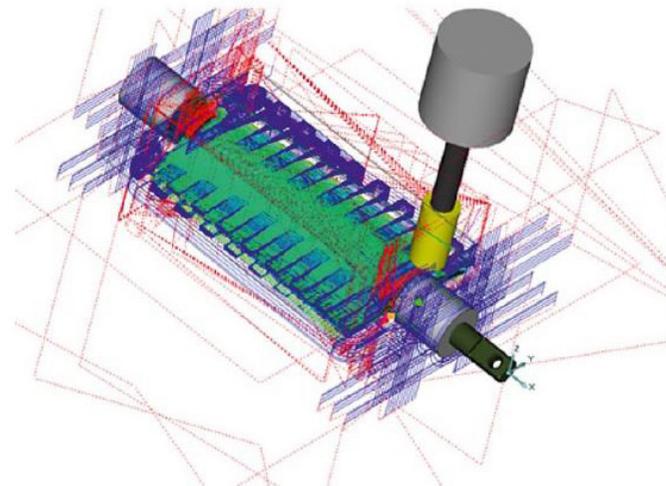
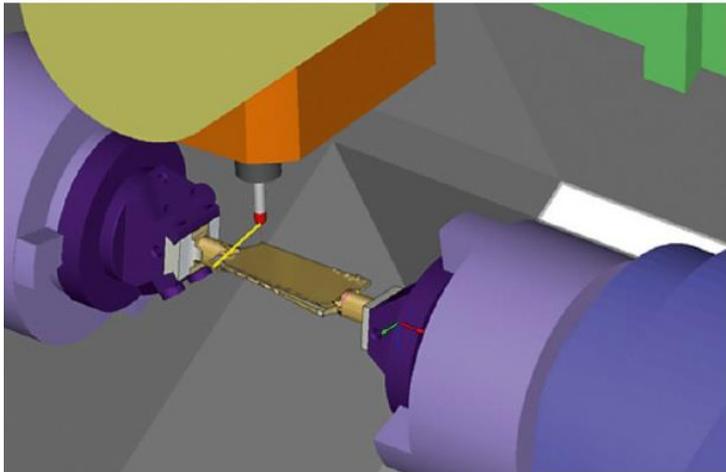


Рисунок 11 – Пример моделирования процесса обработки детали в модуле CAM

## ОФОРМЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

После разработки технологического процесса формируется комплект технологической документации согласно требованиям ЕСКД.

№	Операция	Обозначение документа
001	3 Токарный диаметр Ø68 на длине 20	2701-0027 Резец РРРМ ГОСТ 80370-73
002	Шлифовальный ШЦ-4-250-0,05 ГОСТ 866-89	
003	4 Токарный фаску выдерживать размер 145°	2701-0027 Резец РРРМ ГОСТ 80370-73
004	5 Вкрутить и закрутить заготовку в корпусе с вылетом 100мм	
005	6 Подфрезовать торцы выдерживать размер 100 от торца	2701-0027 Резец РРРМ ГОСТ 80370-73
006	7 Шлифовальный ШЦ-4-250-0,05 ГОСТ 866-89	
007	8 Установить и закрутить заготовку в корпусе с упором в торцы поджать центром	
008	9 Токарный диаметр 24 под резьбу М24 на длине 48 с подфрезой торца	2701-0027 Резец РРРМ ГОСТ 80370-73
009	Шлифовальный ШЦ-4-250-0,05 ГОСТ 866-89	
010	10 Токарный Ø45,3 на длине 114±1 с подфрезой торца выдерживать размер 6	2701-0027 Резец РРРМ ГОСТ 80370-73
011	Мерная карта	

Рисунок 12 — Пример оформления технологической документации в PLM платформе

## СОГЛАСОВАНИЕ ДОКУМЕНТОВ И ДАННЫХ

По завершении разработки комплекты конструкторской и технологической документации подписывают и передают в производство. Для этого существует два сценария:

1. В качестве подлинника принимается электронный документ, подписанный электронными подписями или собственноручными подписями на информационно-удостоверяющем листе уполномоченных лиц в соответствии с ролью в процессе согласования и утверждения.
2. В качестве подлинника принимается документ на бумажном носителе, подписанный собственноручно подписями должностных лиц. В PLM платформах при этом отслеживаются статусы согласования соответствующих документов путём подписания электронными подписями электронных оригиналов документов.

**Для согласования и утверждения документации в обоих случаях применяются следующие механизмы:**

1. WorkFlow. Последовательность выдаваемых в электронной форме заданий на согласование документов, содержащих ссылки на электронные документы внутри PLM платформы.
2. Вторичное представление документов. Просмотр содержимого и рецензирование документов с использованием графических и текстовых пометок непосредственно в окне PLM платформы.
3. Электронная подпись. Контроль авторства и целостности документов. Установление личности подписавшего документ и неизменность документа после подписания должностным лицом. PLM платформы применяют как простую, так и усиленную электронную подпись, в соответствии с Федеральным законом № 63-ФЗ.

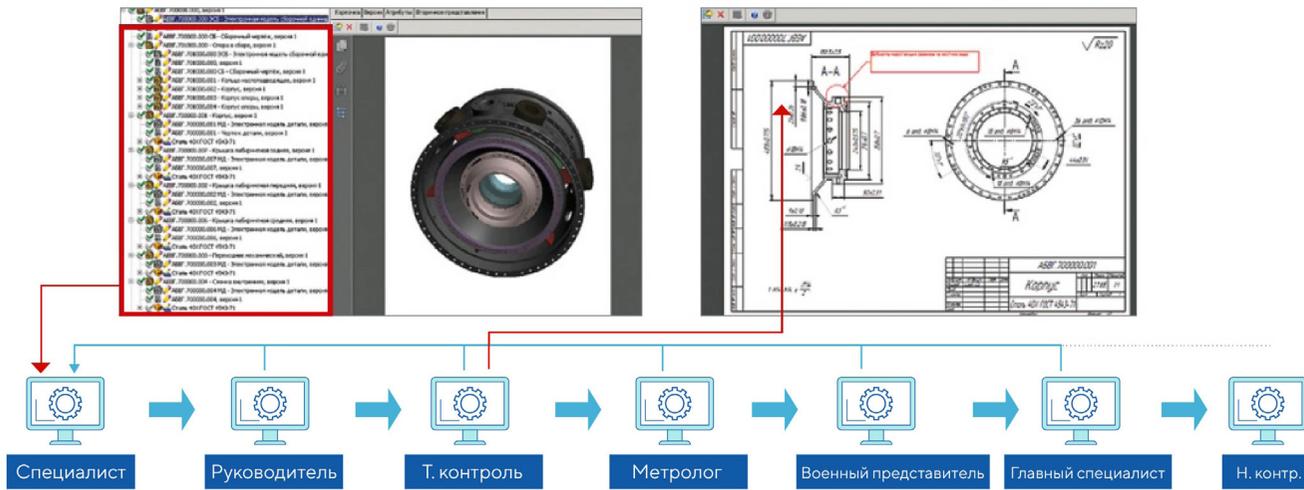


Рисунок 13 – Пример процесса согласования документации в PLM платформе

## РЕГИСТРАЦИЯ, ХРАНЕНИЯ, ВЫДАЧА И УЧЁТ ДОКУМЕНТОВ

После утверждения документ выпускают. Процедура выпуска означает постановку документа на учёт с соответствующим статусом, который говорит участникам ЖЦИ о том, что документ готов к использованию в работе.

### В PLM платформах предусмотрены:

- регистрация документов на бумажном и электронном носителях;
- регистрация документов собственной разработки и внешних организаций;
- регистрация подлинника документа, дубликата, копии;
- регистрация изменений в документах, поставленных на учёт;
- учёт выдачи документов потребителям по заявкам;
- учёт передачи документов внешним организациям;
- оповещение пользователей об изменениях в документах;
- Фиксация возврата документов потребителем.

## ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ

Инженерные процессы не обходятся без изменений, которые направлены на улучшение конструкции изделия, технологии его изготовления и устранение ошибок проектирования. Создание новых версий информационных объектов и документов, оформление изменений, формирование предварительных извеще-

ний на заводах-изготовителях соответствует требованиям ГОСТ 2.503.

The screenshot shows a web-based form for registering a document change. The form is organized into several sections:

- Тип извещения:** A dropdown menu with the selected option "Извещение об изменении (ИИ)".
- Предприятие:** A text input field containing "СПЕКТР".
- Подразделение:** A text input field containing "ОГК".
- Обозначение извещения:** A dropdown menu with the selected option "ИИ-190318.60597".
- Дата выпуска:** A date picker set to "27.04.2018".
- Срок изменения:** A date picker set to "28.06.2018".
- Срок погашения:** A date picker set to "...".
- Обозначение...:** A text input field containing "078.505.9.0120.00 ЭСБ...".
- Дополнительная информация:** A dropdown menu.
- Лист:** A text input field containing "1".
- Листов:** A text input field containing "1".
- Причина:** A dropdown menu with the selected option "Введение улучшений и усовершенствований конструктивных".
- Указание о заделе:** A dropdown menu with the selected option "На заделе не отражается".
- Указание о внедрении:** A dropdown menu with the selected option "Внедрить с момента получения извещения".
- Применяемость:** Two empty dropdown menus.
- Разослать:** A dropdown menu.
- Приложение:** A text input field.
- Составил:** A dropdown menu with the selected option "Петров А.В.".
  - Связать с:** A dropdown menu.

Рисунок 14 – Пример проведения изменений в PLM платформе

## **ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ОБ ИЗДЕЛИИ В ПРОИЗВОДСТВО**

Электронное описание изделия содержит информацию о конструкции изделия и процесса изготовления. Описание изделия нужно для систем управления производством, таких как MES и подобных модулей в составе ERP, так как по ним система управления производством «понимает», какие закупить материалы и комплектующие, какие компоненты изготовить, какие ресурсы для этого потребуются — оборудование, рабочие, материалы, средства технологического оснащения, какова последовательность выполнения операций технологического процесса. Поэтому важной задачей процесса ЖЦИ является задача интеграции PDM- и ERP-систем.

Модели данных и особенности функционирования PDM и ERP-систем различаются от предприятия к предприятию, поэтому в PLM платформах пользователи могут гибко конфигурировать правила выгрузки данных из БД для передачи в смежные системы или загрузки в неё. Это осуществляется путём формирования правил выгрузки визуальными средствами, путём реализации сложной логики на языке SQL или динамически подключаемых библиотек. Кроме того, пользователи могут автоматически выгружать по расписанию только изменённые с момента последнего экспорта данные.

## **УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ**

После завершения разработки и утверждения документации информация об изделии и технологии изготовления передаются в систему производственного планирования и управления.

В PLM платформах реализована замкнутая трёхуровневая система управления. Взаимосвязь между учётом, планированием и формированием отчётности на каждом уровне управления формирует актуальные электронные базы учёта и позволяет получать выборку данных за необходимый плановый период в разрезе заказа, цеха, участка, рабочего места.

### **Уровень предприятия**

Уровень предприятия отвечает за планирование и учёт взаимоотношений с заказчиками по выпуску продукции, выполнению работ, оказанию услуг. Основная единица учёта — это заказ, на основании которого изготавливается продукция к заданному сроку.

### **Межцеховой уровень**

Межцеховой уровень отвечает за планирование, контроль и учёт изготовленной продукции — деталей и сборочных единиц, а также ведёт учёт перемещения продукции и ДСЕ между производственными подразделениями предприятия. Основная единица учёта — партия ДСЕ.

### **Внутрицеховой уровень**

Внутрицеховой уровень отвечает за пооперационный учёт изготовления ДСЕ. Основная единица учёта на этом уровне — технологическая операция над партией ДСЕ.

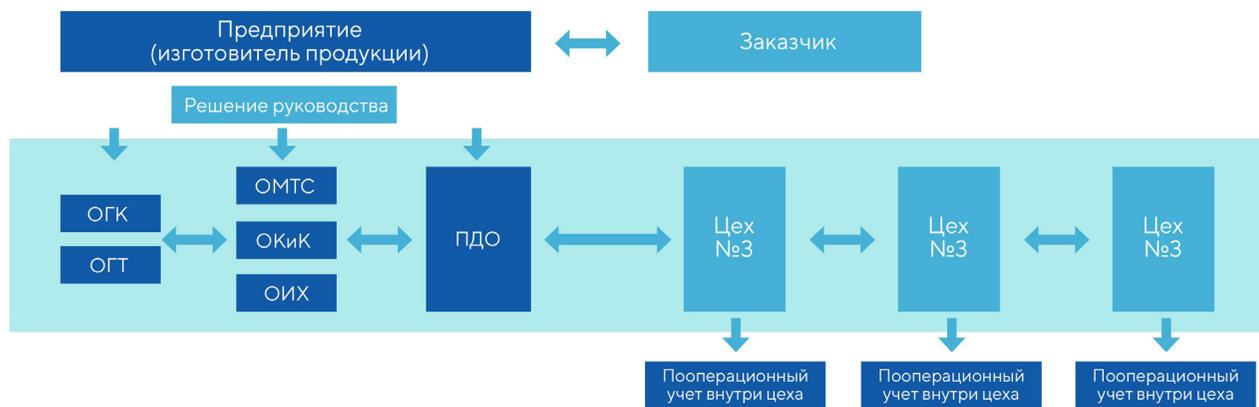


Рисунок 15 – Пример системы управления производством в PLM платформе

### Учёт несоответствий в эксплуатации

В процессе эксплуатации изделия могут возникать отказы или несоответствия изделия заявленным характеристикам. Эта информация регистрируется для устранения несоответствий и отработки рекламаций и собирается, чтобы принимать меры по недопущению подобных отказов или несоответствий в будущем в аналогичных или похожих изделиях.

## СОСТАВ (СТРУКТУРА) ТЕХНОЛОГИИ И КЛАССИФИКАЦИЯ

Разработка и изготовление современных изделий требует применения программного обеспечения разного направления:

- система автоматизированного проектирования (CAD);
- расчёт инженерных данных (CAE);
- инструменты для проектирования технологий изготовления;
- анализ качества изделий;
- планирование работ;
- диспетчеризация производства.

Разработчики инженерного программного обеспечения обладают компетенциями в создании и развитии программных средств в своей области. Это приводит к тому, что предприятие имеет большое количество инженерного программного обеспечения разной направленности без возможности взаимной интеграции. Эффективность управления процессами жизненного цикла изделия зависит от уровня интеграции программных компонентов между собой и выполнения процессов с их использованием [2].

### ЯДРО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Современные платформы автоматизированного проектирования имеют специализированный программный блок, который отвечает за геометрическое представление объекта, модификацию и инженерный анализ.

Ядро геометрического моделирования — это способ представления объекта с операторами моделирования и функциями анализа. Оно содержит библиотеку функций и классов для создания геометрических объектов — точка, отрезок, дуга, кривая, поверхность, твёрдое тело, изменения форм и размеров, и управления ими.

Разработчики инженерного ПО проектируют, кодируют и поддерживают ядро геометрического моделирования самостоятельно, либо лицензируют у сторонних разработчиков.

NURBS<sup>3</sup> — основной класс поверхностей в трёхмерном моделировании.

Ядра геометрического моделирования оценивают по следующим критериям:

- точность;
- надёжность;
- эффективность.

**Геометрическое моделирование отвечает на вопрос, как представить моделируемый объект:**

1. Точное представление объекта.

1.1. Конструктивная твердотельная геометрия (англ. Constructive Solid Geometry, CSG) — форма объекта определяется применением булевых операций<sup>4</sup> над примитивами, такими как блоки, цилиндры, сферы и др.

1.2. Граничное представление (англ. Boundary Representation, BRep) — форма объекта образуется совмещением поверхностей, граней и вершин.

2. Неточное представление объекта.

2.1. Фасетное представление — форма объекта определяется фасетами<sup>5</sup>.

2.2. Воксельное представление — форма объекта определяется вокселями<sup>6</sup>.

<sup>3</sup> Неоднородный рациональный B-сплайн (англ. Non-uniform rational B-spline) — это математическая форма, применяемая в компьютерной графике для генерации и представления кривых и поверхностей.

<sup>4</sup> Булевы операции близки, но не тождественны, логическим связкам классической логики [26]. Булева операция создаёт новое тело на основе двух и более существующих тел, которое является комбинацией исходных тел. Существует три типа булевой операции:

- сложение. Результат выполнения операции — тело, объединяющее в себе все части тел, участвующих в операции;
- вычитание. Результат выполнения операции — тело, полученное вычитанием одного тела из другого;

- пересечение. Результат выполнения операции — тело, полученное пересечением тел, участвующих в операции и состоящее из общих частей этих тел.

<sup>5</sup> Фасета в геометрии — это элемент многогранника или связанной геометрической структуры, который на единицу меньше размерности структуры, т.е. это любой многоугольник, вершины которого являются вершинами многогранника, но который сам не является гранью [28].

<sup>6</sup> Воксел (англ. voxel) — это акроним, образованный из слов «объёмный» (англ. volumetric) и «пиксель» (англ. pixel).

Воксель — это аналог двумерных пикселей для трёхмерного пространства, содержащий значение элемента растра в трёхмерном пространстве [29].

	НАИМЕНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ЯДРА	ПРОИЗВОДИТЕЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ЯДРА
1	ACIS	Spatial Corp. (Dassault Systemes)
2	Parasolid	Siemens
3	SMLib	Solid Modelling Solutions
4	C3D	C3D Labs
5	RGK (Russian Geometric Kernel – Российское Геометрическое Ядро)	Проект «Разработка отечественного лицензируе- мого 3D-ядра» под руководством МГТУ «Станкин»
6	OpenCascade	OpenCascade
7	Granite	Parametric Technology Corporation (PTC)

Таблица 1 – Производители геометрических ядер

Выделяют следующие направления перспективных исследований и разработок, связанных с геометрическим моделированием [24], [25]:

**• НАДЁЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ АЛГОРИТМОВ.**

Исследования, направленные на обеспечение надёжности вычислений и обеспечение логического ветвления алгоритмов для исключения недостоверных вычислений.

**• ОТКРЫТОЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ЯДРО.**

Создание геометрического ядра с открытым исходным кодом, обладающего новыми качествами проектирования не только по отношению к созданию геометрических форм, но и по отношению ко всему кругу задач реинжиниринга, инженерного анализа, оптимизации по геометрическим, функциональным и технологическим критериям.

**• ОБМЕН ИНЖЕНЕРНЫМИ ДАННЫМИ.**

Разработка открытого(-ых) формата, поддерживающего новое ядро и создания конвертеров, обеспечивающих надёжное чтение и запись.

**• ПРЯМОЕ РЕДАКТИРОВАНИЕ.**

Распознавание конструктивных элементов модели и их редактирование без потери замысла проектировщика. Доступность прямого редактирования должны быть в геометрическом ядре.

• Параметрическая оптимизация.

Обеспечение в геометрическом ядре адекватных параметров и критериев или ограничений, создающих возможность решения задач параметрической оптимизации.

**• ОБРАТНЫЙ ИНЖИНИРИНГ.**

Включение в состав ядра геометрического моделирования нового поколения операций для реинжиниринга из точечно-сеточного представления, возникающих в процессе проектирования по различным причинам.

Технические средства, используемые в PLM-технологиях, не являются специфическими, предназначенными только для PLM-технологий. Специфическими являются средства лингвистического, математического и программного обеспечения PLM, а также международные PLM-стандарты, регламентирующие средства информационного и методического обеспечения. Основные типы автоматизированных систем обработки информации в PLM, используемых в жизненном цикле изделия, представлены на рис. 16.

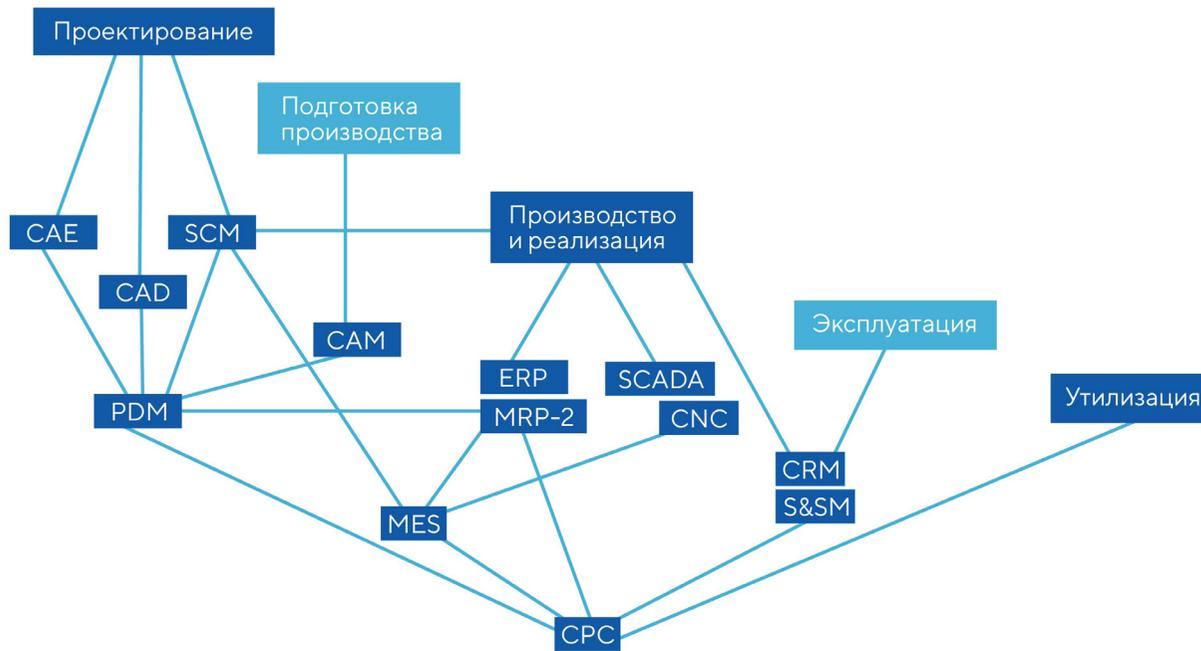


Рисунок 16 – Этапы жизненного цикла промышленных изделий и системы их автоматизации

## CAD<sup>7</sup>

Это средства автоматизированного проектирования изделий, которые реализуют информационные технологии для выполнения функций проектирования и представляют собой организационно-техническую платформу для автоматизации проектирования, включающую персонал и комплекс технических, программных и других средств автоматизации [30], [31], [32].

В России для обозначения программ автоматизированного проектирования используется акроним – САПР.

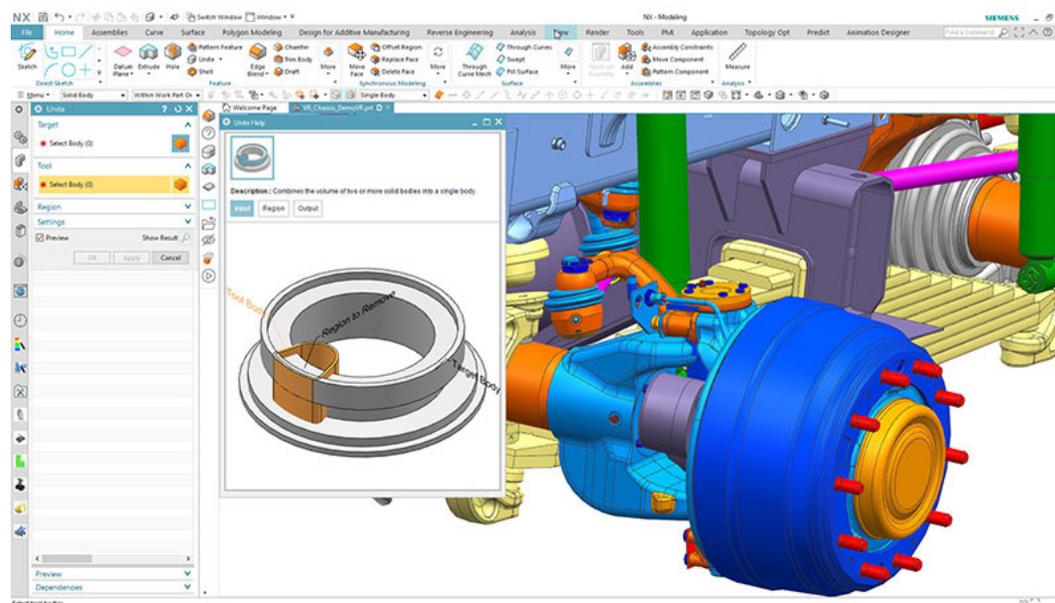


Рисунок 17 – Пример CAD-системы

<sup>7</sup> Российский термин САПР (системы автоматизированного проектирования) трактуется шире термина CAD и включает в себя CAE, CAM и с недавних пор – CAI.

## CAE

Это программы для решения инженерных задач: расчётов, анализа и симуляции физических процессов. Алгоритмы CAE основаны на численных методах решения дифференциальных уравнений. Современные CAE применяются совместно или интегрированы в CAD.

CAE позволяет оценить поведение компьютерной модели изделия в реальных условиях эксплуатации и проверить работоспособность изделия.

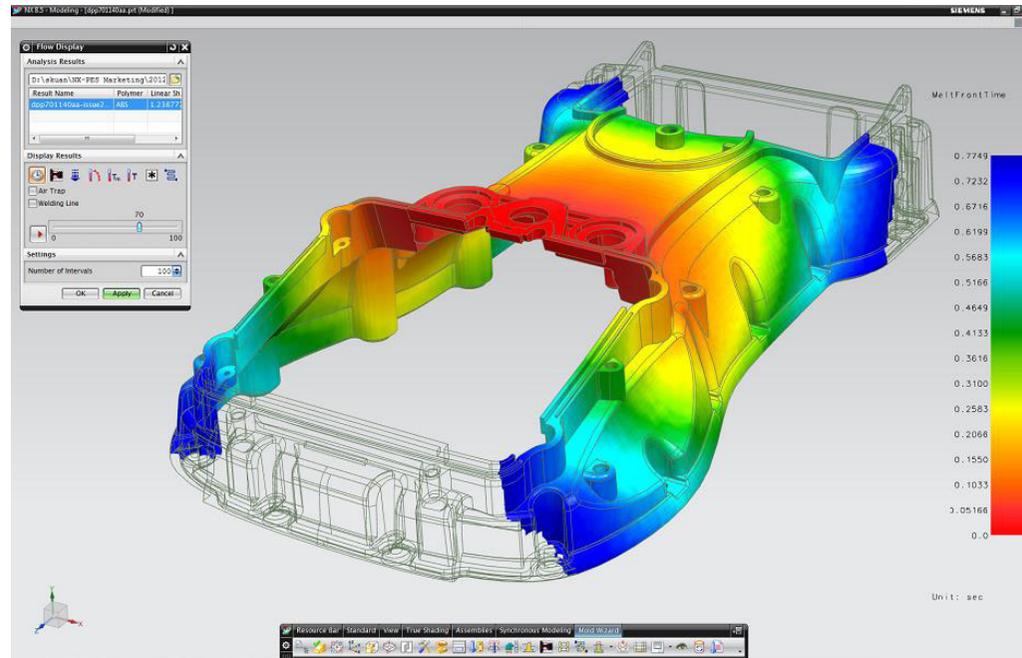
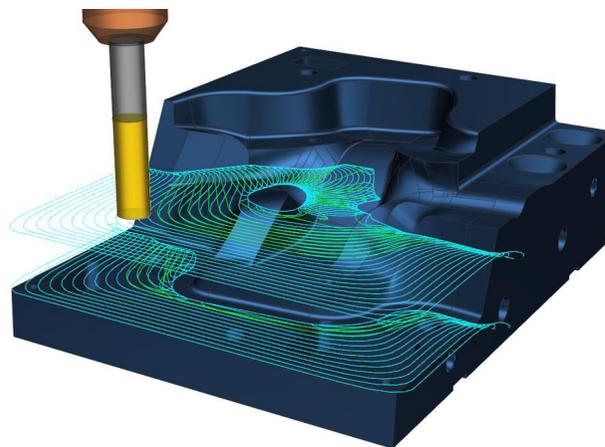


Рисунок 18 – Пример CAE-системы

### CAM

Используется для программирования производственных процессов, станков с ЧПУ. В CAM используются модели и сборки, созданные в CAD, для формирования траекторий перемещения инструментов.

Под CAM понимают, как процесс компьютерной подготовки производства, так и программно-вычислительные комплексы, которые используют инженеры-технологи.



### CAI

Компьютерные системы для контроля качества физических моделей и изделий, причём цифровая модель выступает в качестве эталона. Используются совместно с измерительными приборами.

Рисунок 19 – Пример CAM-системы

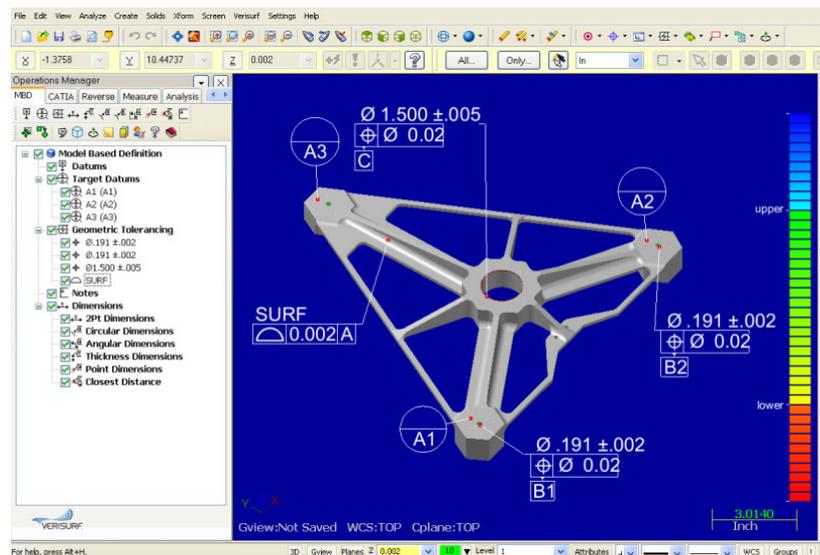


Рисунок 20 – Пример CAI-системы

## MRP

Используется для планирования ресурсов на предприятии и включает в себя функции автоматического создания заказов на закупку и производство необходимых комплектующих. MRP оптимизирует время поставки материалов и комплектующих таким образом, чтобы материалы, необходимые для производства, поступали одновременно.

MRP ускоряет доставку тех материалов, которые в данный момент нужны в первую очередь, и задерживает преждевременные поступления [35].

## ВOM<sup>8</sup>

Содержит информацию о сборках, деталях, комплектующих и сырьё, необходимых для изготовления одной единицы готового продукта с указанием количества каждого предмета. Информация представляется в виде иерархии, где готовый продукт отображается на верхнем уровне, а сборки, детали, комплектующие и сырьё на нижних уровнях. указано количество каждого предмета, необходимого для завершения одной единицы следующего самого высокого уровня сборки [36].

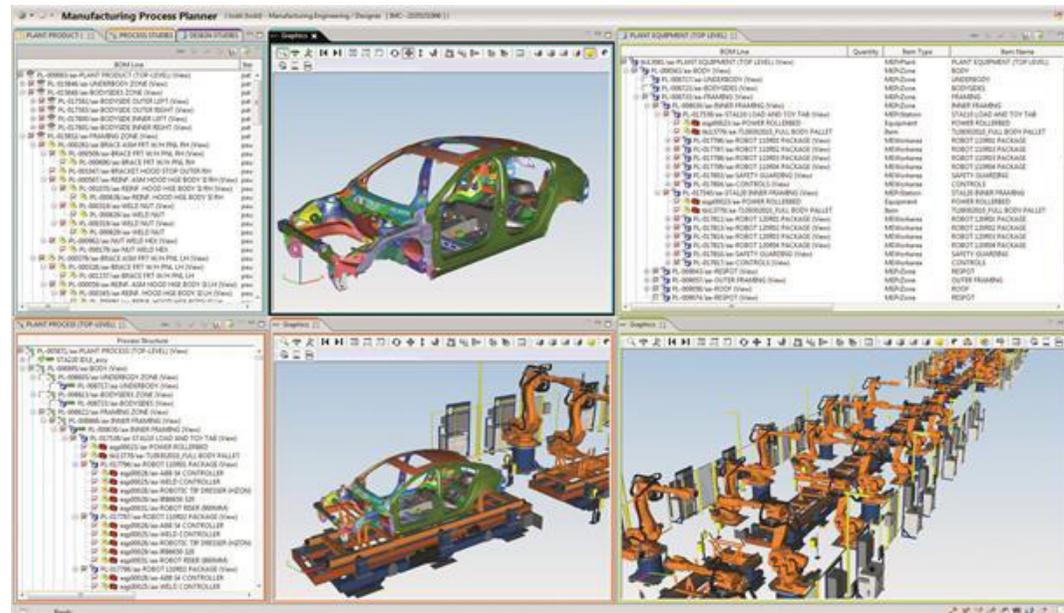


Рисунок 21 – Пример WOM

<sup>8</sup> Российским аналогом термина WOM является спецификация на изделие.

### PCM

Устанавливает функциональные и физические характеристики изделия, их согласованность с заданными требованиями и с проектной и эксплуатационной документацией на протяжении срока службы изделия [37].

### ECM

Система цифрового управления изменениями в инженерных системах, их планирования, реализации и оценки в зависимости от влияния разных факторов.

### CPC

Цифровая среда управления корпоративной информацией участников производственной цепочки для координации процессов проектирования, производства и послепродажного обслуживания на протяжении жизненного цикла изделия.

### CRM

Система цифрового управления взаимоотношениями с клиентами. CRM формирует документы по шаблону, ставит задачи менеджерам на каждом этапе сделки, отправляет сообщения и письма клиентам, создает отчеты по заданным показателям, рассчитывает стоимость услуг, отслеживает важные даты и сроки [39].

### SCM

Система цифрового управления цепочками поставок. SCM автоматизирует и управляет снабжением, товародвижением на предприятии и распространением продукции. Управление цепочками поставок включает в себя изготовление продукции, поставку сырья, месторасположение, запасы, транспортировка и ин-

формация [40].

### ERP

Система цифрового планирования ресурсов предприятия. ERP управляет бизнес-процессами, такими как бухгалтерский учёт, закупки, управление проектами, управление рисками, обеспечение нормативно-правового соответствия, планирование, составление бюджетов и прогнозов, создание финансовых отчетов.

ERP объединяет многочисленные бизнес-процессы и передаёт данные между ними, устраняет дублирование и обеспечивает целостность данных с помощью «единого источника достоверных данных» [41].



Рисунок 22 – Пример ERP

## MES

Система оперативного управления производственными процессами, в которой используются данные о статусе и движения заказов и материалов на изготовление на производственных участках – производственные задания.

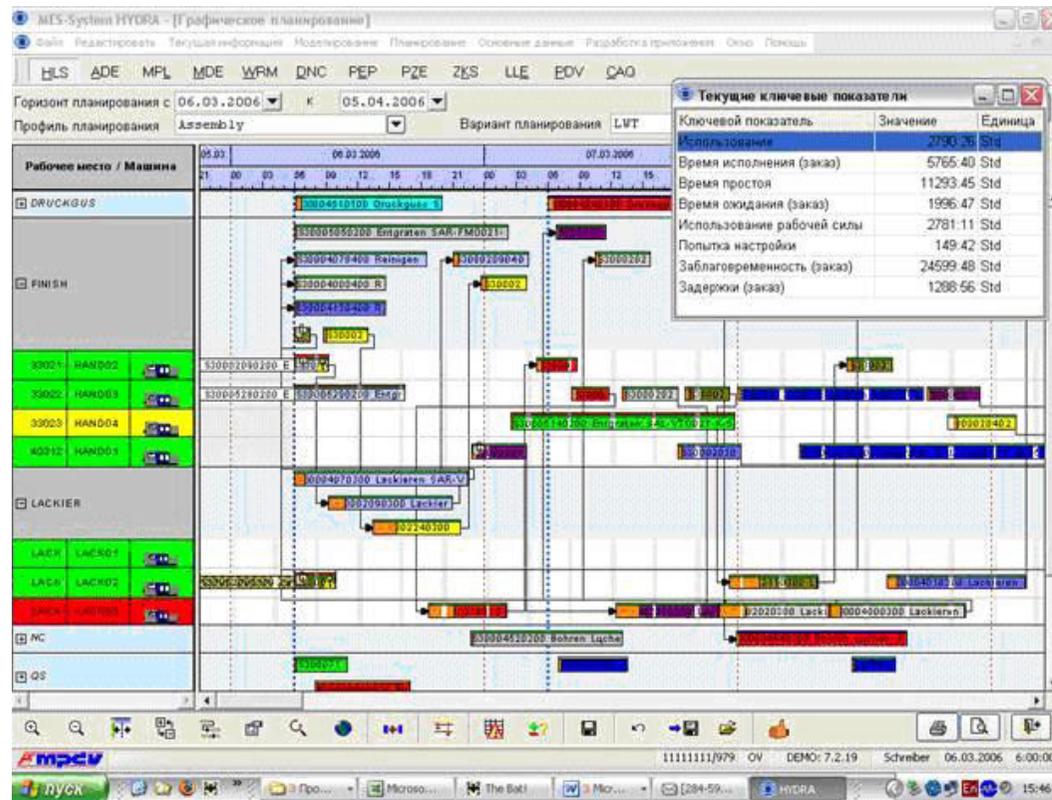


Рисунок 23 – Пример MES

### SCADA

Система цифрового диспетчерского управления производственными процессами. Предназначена для сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления в реальном времени.

SCADA может являться частью АСУ ТП, АСКУЭ, экологического мониторинга, научных экспериментов, автоматизации здания и прочее. SCADA используют во всех отраслях хозяйства, где требуется операторский контроль над технологическими процессами в реальном времени.

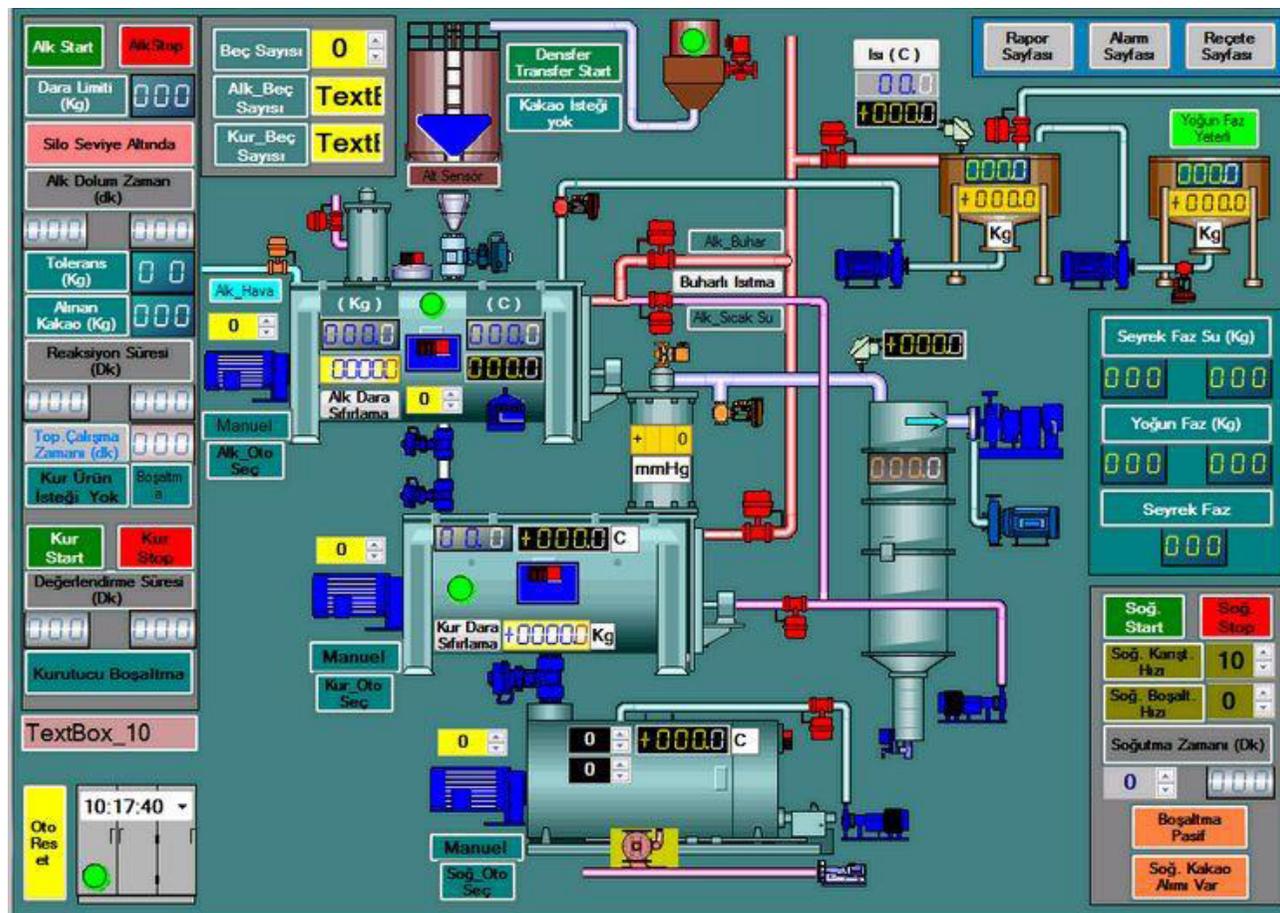


Рисунок 24 – Пример отображения информации в SCADA-системе

Перечисленные выше автоматизированные системы способны работать независимо. Однако эффективность автоматизации повышается, если данные, генерируемые одной программой, становятся доступны другим программам, поскольку принимаемые в них решения становятся обоснованными.

Для достижения требуемого уровня взаимодействия промышленных автоматизированных систем требуется создание единого информационного пространства не только на отдельных предприятиях, но и при объединении предприятий. Единое информационное пространство обеспечивается благодаря унификации формы и содержания информации о конкретных изделиях на различных этапах жизненного цикла.

Унификация формы достигается использованием стандартных форматов и языков представления информации в межпрограммных обменах и при документировании.

Унификация содержания, которая понимается как однозначная правильная интерпретация информации о конкретном изделии на всех этапах жизненного цикла, достигается разработкой онтологии, то есть мета-описаний приложений, закрепляемых в прикладных PLM-протоколах.

**АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО  
КОМПЛЕКСА PLM ПЛАТФОРМЫ [21]**

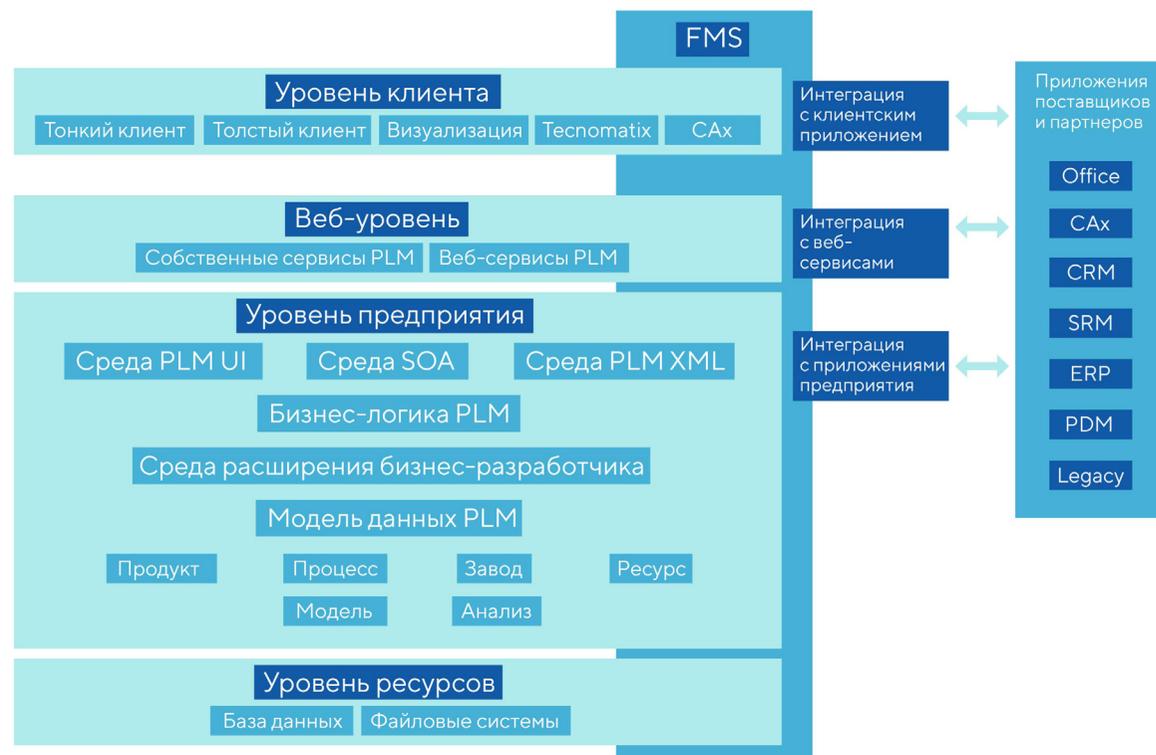


Рисунок 25 – Принципиальная архитектура PLM платформы

### УРОВЕНЬ КЛИЕНТА

Это рабочее место конечного пользователя, где осуществляется управляющее воздействие и взаимодействие с пользователем. Дополнительно здесь может находиться файловый кэш клиента, чтобы сократить время доставки файлов. На этом уровне поддерживается толстый клиент с полной функциональностью и тонкий клиент для доступа к базе данных через веб-браузер. К этому уровню относятся любые клиентские приложения, являющиеся как инструментами пользователя, так и информационными системами, потребляющими информацию об изделии.

### ВЕБ-УРОВЕНЬ

На этом уровне маршрутизируются клиентские запросы к нужному серверу, выполняются функции аутентификации и авторизации пользователя. Этот уровень является шлюзом между клиентом и сервером. Для маршрутизации запросов используются возможности современных веб-серверов.

### УРОВЕНЬ БИЗНЕС-ЛОГИКИ

На этом уровне выполняются запросы пользователей, транзакции и тому подобное. Также здесь выполняется проверка прав доступа к объектам баз данных.

### УРОВЕНЬ РЕСУРСОВ

На этом уровне в базах данных хранятся мета-данные и файлы, которые предоставляются средствами СУБД. PLM платформы используют промышленные решения СУБД, такие как MS SQL, Oracle, DB2, чтобы повысить производительность и надёжность информационной системы.

### FMS

Этот уровень представляет собой отдельную систему, которая предназначена для хранения и передачи данных на уровень клиента с использованием гибкого механизма кэширования. Благодаря этому пользователи получают единый доступ к хранимым данным, не отвлекаясь на детали реализации используемой СУБД и файлового хранилища.

### ТРЕБОВАНИЯ К АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ [51]:

- функциональная законченность в организационном, производственном и управленческом плане, чтобы уменьшить трудности интеграции в производственный процесс;
- наличие развитой организационно-методической поддержки разработки, внедрения, обучения, использования и сопровождения;
- открытый на программно-аппаратном уровне интерфейс для интеграции с другими автоматизированными системами;
- наличие механизма структурной, функциональной и параметрической настройки на конкретные условия применения;
- общение системы с пользователем должно вестись в привычных терминах и понятиях предметной области.

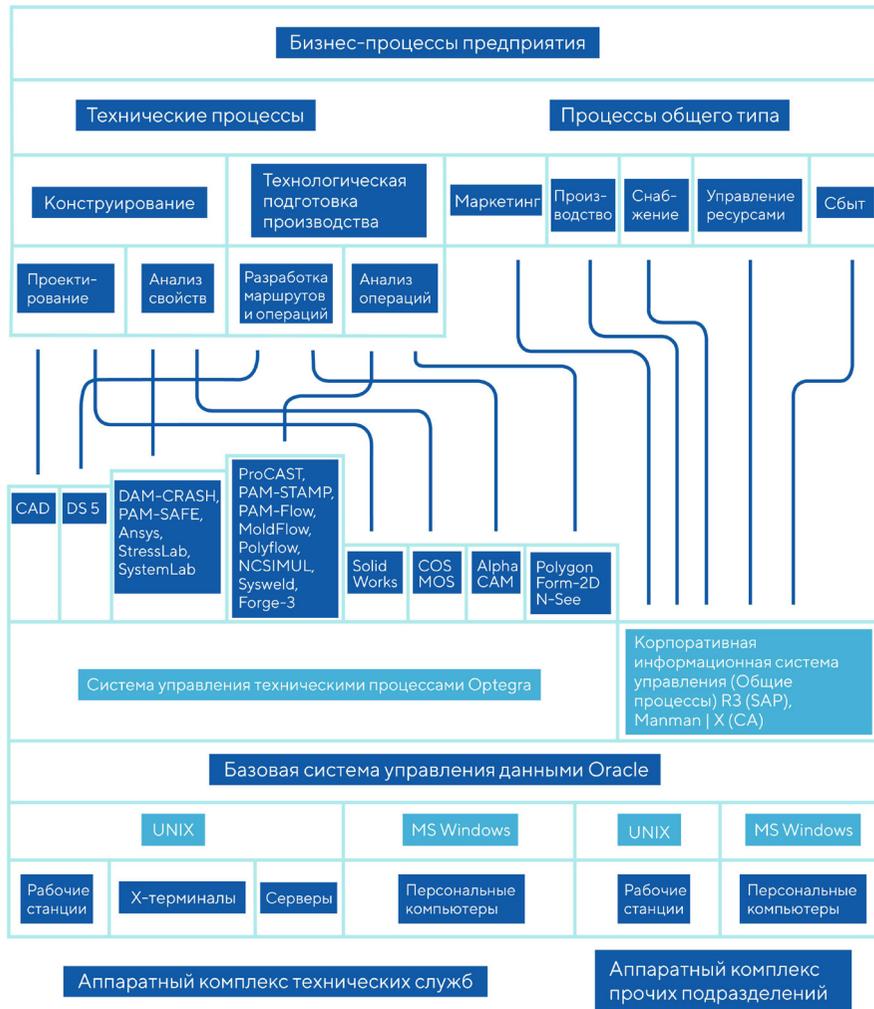


Рисунок 26 – Программно-техническая поддержка бизнес-процессов предприятия

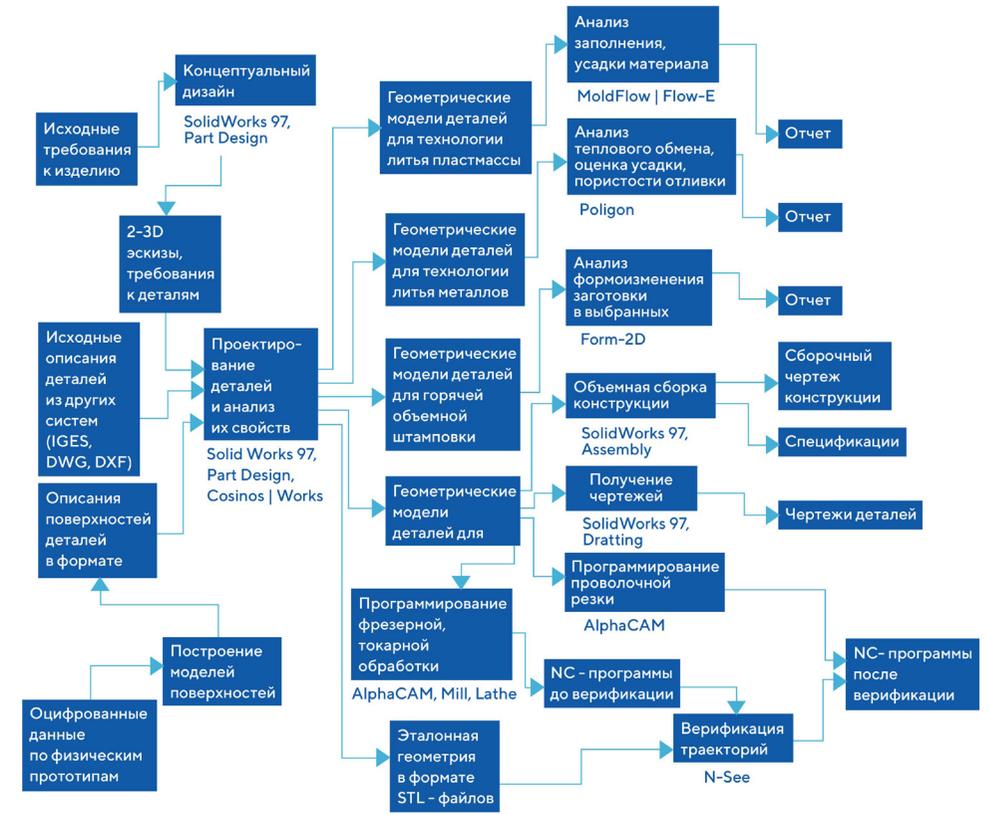


Рисунок 27 – Схема функциональной связи автоматизированных систем

### ВЗАИМОСВЯЗЬ ТЕХНОЛОГИЙ И СТАНДАРТОВ В ОБЛАСТИ PLM ТЕХНОЛОГИЙ

Обеспечение качества и повышение конкурентоспособности товаров и услуг и связанная с этим необходимость для производителя доказывать способность поставлять качественные изделия привело к стандартизации основных информационных технологий управления предприятием, разработки продукции и информационного обмена в цепочке поставщик сырьепроизводительпотребитель. Место и роль информационных технологий и международных стандартов, а также взаимосвязь между ними приведены на рис. 28.

Выходы, связанные с производством продукции у поставщика и у производителя представляются с использованием стандартов MRP, MRP II, ERP, ISO 15531 ManDate.

Характеристики и состояние продукции у поставщика и у производителя представляются с использованием стандартов ISO10303 STEP, ISO 15531 ManDate.

Требования потребителя и производителя учитываются в стандартах ФСА, ФФА, FMEA, QFD.

Обратная связь поставщика, производителя и потребителя регулируется стандартами на базе стандартов ISO 9000, MRP, MRP II, ERP, ISO 15531 ManDate, ISO 10303 STEP.



Рисунок 28 – Взаимосвязь международных стандартов в области управления в цепочке поставщик сырьепроизводительпотребитель

ISO 15531 ManDate включён в систему стандартов PLM-технологий и предназначен для коллективного доступа участников жизненного цикла к информации о производственном процессе. Использует согласованные со стандартом ISO 10303 STEP форматы представления данных.

ISO 10303 STEP — это семейство стандартов PLM-технологий. Предназначен для обеспечения коллективного доступа участников жизненного цикла к информации о:

- конструкции изделия;
- процедурам испытаний изделия;
- эксплуатационной документации на изделие;
- другой информации по всем стадиям жизненного цикла изделия.

Необходимость управления данными об изделии, представленными в формате ISO 10303 STEP, связана с тем, что информация о конструкции изделия занимает большую часть в общем объёме информации, используемой в ходе жизненного цикла изделия. На основе этой информации решаются задачи производства изделия, материально-технического снабжения, сбыта, эксплуатации, ремонта и других процессов.

ФСА — функционально-стоимостной анализ. Технология разработки и анализа изделий, сокращающая себестоимость изделий, выравнивая соотношение «важность - стоимость» элементов изделия.

ФФА — функционально-физический анализ. Технология, которая позволяет разрабатывать и анализировать технические системы.

FMEA (англ. failure mode and effect analysis) — анализ причин и последствий дефектов. Метод анализа изделий и процессов, который выявляет элементы конструкции или технологические операции, имеющие повышенный потенциальный риск для потребителя, после чего разрабатываются предупреждающие мероприятия для снижения риска до приемлемых величин.

QFD (англ. quality function deployment) — развёртывание функций качества. Эта технология разработки и подготовки производства продуктов для преобразования запросов потребителя в технические требования.

Интеграция программных продуктов достигается путём стандартизации представления информации в процессе проектирования, материально-технического снабжения, производства, ремонта, послепродажного сервиса.

Разработка наукоёмкой продукции в мире развивается в сторону полного перехода на безбумажную электронную версию проектирования, изготовления и сбыта продукции, а современное производство становится географически распределённым. Компании кооперируются для совместного выполнения сложных проектов. Это приводит к появлению

«виртуальных» предприятий — форма объединения на контрактной основе предприятий и организаций, участвующих в поддержке жизненного цикла общего изделия и связанных общими техническими процессами. Это виртуальное предприятие должно работать по единым правилам в едином информационном пространстве. В случае изменения состава участников из-за смены поставщиков или исполнителей должна обеспечиваться преемственность и сохранность достигнутого результата в виде моделей, расчётов, документации, программ, баз данных.

Таким образом, PLM-технологии представляют собой организацию процессов разработки, производства, послепродажного сервиса и эксплуатации изделий за счёт информационной поддержки процессов жизненного цикла на основе стандартизации методов представления информации на каждой стадии жизненного цикла и безбумажного электронного обмена данными.

PLM технологии определяют набор правил, регламентов, стандартов, в соответствии с которыми строится информационное взаимодействие участников жизненного цикла изделий.

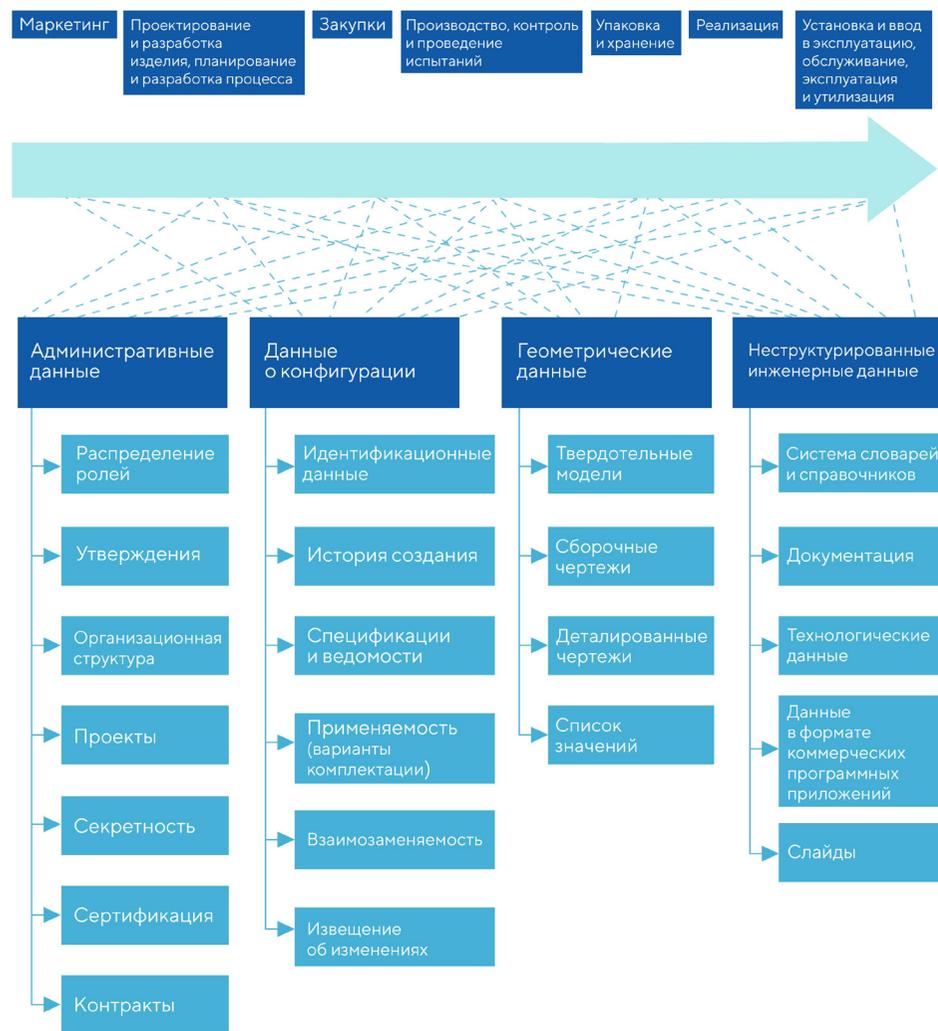


Рисунок 29 – Использование конструкторских данных в ходе жизненного цикла изделия

Слой	Стадии			
<b>Организационный</b>	Проектирование изделия. Управление проектами.	Производство изделия		Эксплуатация изделия
		ТПП	Изготовление изделия	
<b>Информационный</b>	Научные исследования и конструирование. Формирование ЕИПП и БЗ.	Технологическое проектирование. Формирование БЗ на оснастку.	Оценка технологичности и эффективности производства.	Оценка эффективности эксплуатации изделия. Сохранение КД.
<b>Управления качества</b>	Контроль качества при проектировании.	Контроль качества при технологическом проектировании.	Контроль качества при изготовлении.	Контроль качества в ходе эксплуатации.
<b>Модельный</b>	Компьютерное моделирование изделия: – функциональных свойств; – механических свойств.	Компьютерное моделирование процессов ТПП: – штамповки; – литья пластмасс; – механической обработки и других.	Компьютерное моделирование производственной системы на уровне: – участка; – цеха; – завода.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Компьютерное моделирование эксплуатации изделия.</li> <li>• Рекомендации по повышению потребительских свойств изделия.</li> </ul>
<b>Материальный</b>	Оформление комплекта КД на изделие.	Изготовление технологической оснастки.	Изготовление изделия.	Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт.

Таблица 2 – Компоненты проектных и производственных работ в ходе реализации изделия в компьютерной среде

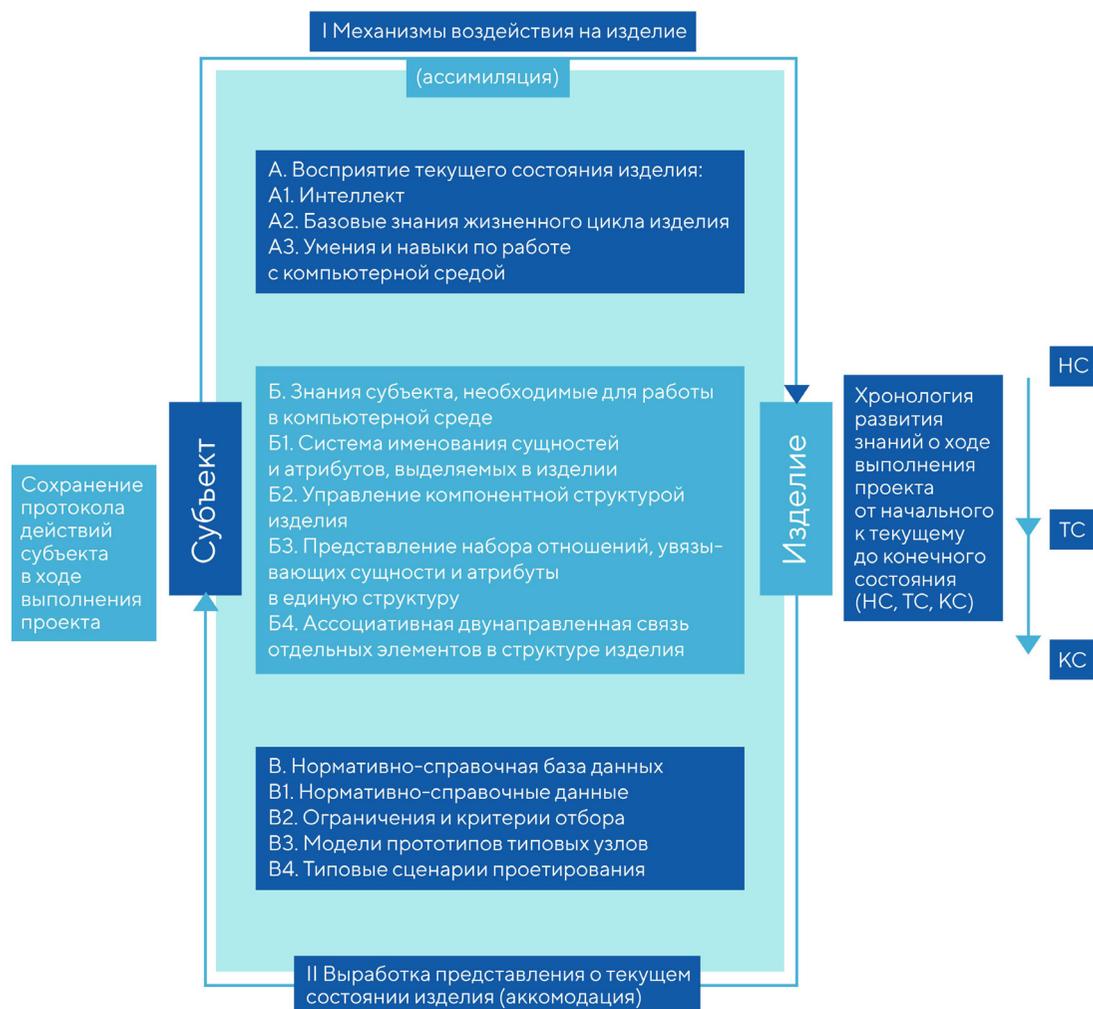


Рисунок 30 – Обобщенная модель взаимосвязи компонентов технологической среды для реализации процесса проектирования в машиностроении

## ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ТЕХНОЛОГИИ

### ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ PLM [33], [34], [59]:

1. Сокращение времени вывода изделия на рынок.
2. Сокращение времени разработки.
3. Сокращение стоимости жизненного цикла изделия.
4. Сокращение материальных издержек.
5. Повышение качества изделия.
6. Быстрый обмен электронными данными и документами.
7. Параллельное выполнение сложных проектов несколькими рабочими группами.
8. Планирование и управление цепочкой предприятий, которые участвуют в жизненном цикле изделия.
9. Развитие кооперационных связей.
10. Уменьшение количества ошибок при разработке изделия.
11. Гарантия наличия требуемых комплектующих и уменьшение временных задержек при их доставке ведут к увеличению выпуска готовых изделий без увеличения числа рабочих мест и нагрузки на производственное оборудование.
12. Сокращение производственного брака при сборке готовой продукции, возникающего из-за использования неправильных комплектующих.
13. Контроль статуса каждого материала позволяет однозначно отслеживать его путь на производстве, начиная с создания заказа на материал, до положения материала в готовом изделии. Благодаря этому достигается полная достоверность и эффективность произ-

водственного учёта.

14. Создание изделий с заданной стоимостью владения (проектирование под заданную стоимость, непрерывное снижение издержек при серийном производстве продукции и в процессе послепродажной поддержки) путем многократно повторяемого (итерационного) процесса конструкторско-технологического проектирования изделия на каждом этапе ЖЦИ. Процесс заключается в формировании альтернативных проектных решений, их анализе на основе моделирования последствий принимаемых решений (ERP-система в этом случае выступает в качестве источника информации о запасах, фактических сроках выполнения заказов, узких местах в производстве и т.д.) и выборе оптимального проектного решения исходя из заданных требований.
15. Заявленные технические характеристики изделий соответствуют фактическим техническим характеристикам, реализуемых в процессе эксплуатации;
16. Обеспечение стабильного уровня качества изделий.
17. Выпуск изделий к определённому сроку.

### ОСНОВНЫЕ НЕДОСТАТКИ ПРИМЕНЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ PLM [59].

**Существует целый ряд нерешённых или решённых не в полном объёме проблем в области ИПИ-технологий, в частности, следующие:**

1. Необходима разработка более полной норматив-

ной базы по представлению конструкторской, технологической, производственной, логистической, эксплуатационной информации об изделии, данных о качестве. Наиболее проработанными можно считать стандарты серии ИСО 103035, касающиеся конструкторских данных об изделии и определяющие «нейтральный» формат их представления.

2. Недостаточно полно и чётко описаны, и, следовательно, не формализованы среда, физические, технологические и производственные процессы, сопровождающие изделия на протяжении всего жизненного цикла, и, как следствие, невозможность разработки средств, обеспечивающих имитационное моделирование этих процессов и среды, в которой эти процессы протекают.

3. Так как повышение качественных и функциональных характеристик изделий возможно лишь с развитием междисциплинарных подходов происходит активное развитие CAD/CAM/CAE-систем с мультифизическим уклоном, что приводит к конвергенции знаний и технологий и повышает интегрируемость решений. С другой стороны, мультифизический подход повышает сложность программных систем, предъявляет повышенные требования к пониманию разработчиком физических основ рассматриваемых явлений, размывает дифференцируемость существующих направлений.

4. В связи с развитием мультидисциплинарного подхода размываются четкие границы функциональности

для внедрённых программных систем, что затрудняет определение состава данных, создаваемых или преобразуемых в системе и передаваемых в/из неё.

5. Имеются проблемы в интеграции функциональных программных систем, на базе которых строятся интегрированные информационные системы компаний. При этом появления универсального средства интеграции информации в ближайшее время ожидать не приходится из-за отсутствия общепринятой нормативной базы по структуре, составу и форме представления большей части информации об изделии.

6. Высокая стоимость сервиса и технической поддержки зарубежных продуктов.

7. Программные «закладки» в зарубежных продуктах.

### НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ CALS И PLM-ТЕХНОЛОГИЙ [51]

Области PLM-технологий	Научные проблемы
Методы анализа и реинжиниринга бизнес-процессов.	Методология создания новой технологической среды средствами вычислительной техники в области производства и управления производством.
Методы и средства параллельного проектирования.	Методология разработки сложных изделий путём декомпозиции и параллельного ведения проектов.
Технологии логистики.	Теория управления сложными системами организационно-экономического и организационно-технологического типа.
Технологии Интернет/Интранет.	Теория передачи информации по телекоммуникационным компьютерным сетям.
Унифицированная модель изделия (STEP) и электронная документация на изделие.	Теория создания многоаспектных математических функциональных, геометрических, конструкторских и технологических моделей изделий.

Таблица 3 – Научные проблемы CALS и PLM-технологий

При работе с PLM платформами пользователи сталкиваются с проблемой создания единого смыслового содержания данных при прохождении этапов жизненного цикла изделия. Это вызвано тем, что классические подходы к созданию СУБД ограничены семантически, то есть мало говорят о смысловом значении данных и семантических требованиях к ним. Важность этой проблемы обусловлена тем, что различные системы используют одни и те же данные об одних и тех же объектах с разных точек зрения в одно и то же время при параллельном решении задач. Поэтому в PLM технологиях используются концептуальные модели данных, которые в большей степени отражают смысловое содержание информации [51].



## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ

Главные тенденции в управлении жизненным циклом изделия, которые формируются в цифровой экономике [13], [17], [38].

### ПЕРВЫЙ ТРЕНД: ИНФОРМАЦИЯ О ПРОДУКТЕ КАК УСЛУГА (PDAAS).



Рисунок 31 — Принципиальная схема тренда PDAaS

### Компании, которые используют PLM платформы, столкнулись с тремя проблемами:

1. Объем информации об изделии увеличивается на каждом этапе жизненного цикла. В среднем изделию присваивают 120 атрибутов.
2. Архитектура PLM платформ не позволяет сотрудникам получать информацию об изделии в режиме реального времени.
3. Низкая скорость выполнения запросов и принятия решений.

Концепция PDAaS решает описанные проблемы путём переноса информации о продукте из PLM в т.н. «PLM с большими данными», которая управляет информационной иерархической структурой, производственными процессами, и обеспечивает информацией участников по запросу в режиме реального времени.

### Преимущества концепции PDAaS:

- сокращает время принятия решения;
- сокращает время вывода на рынок новых продуктов;
- сокращает время изменения существующих продуктов;
- сокращает нагрузку на PLM платформу.

**ВТОРОЙ ТРЕНД: АРХИТЕКТУРА  
МИКРОСЕРВИСОВ ДЛЯ PLM.**

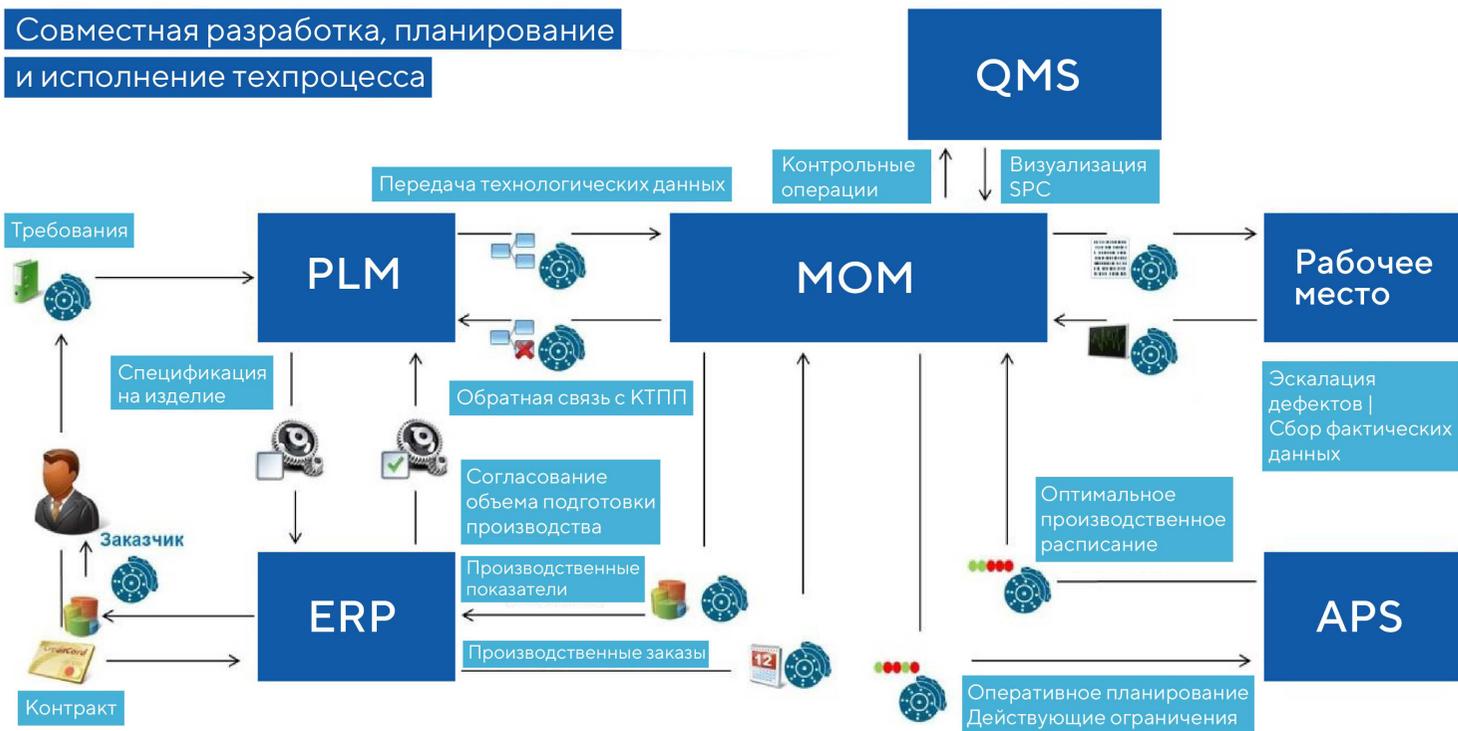


Рисунок 32 – Принципиальная схема архитектуры микросервисов PLM системы

Развитие этой тенденции вызвано ограничениями архитектуры PLM платформы в области расширения базового функционала, что требует полного обновления платформы. Этот процесс является длительным и дорогим. После обновления требуется протестировать платформу для сведения к минимуму количества ошибок и сбоев на предприятии.

Микросервисы для PLM платформы решат указанную проблему, т.к. каждый отвечает за выполнение конкретных дополнительных функций, например, аудит, безопасность и прочие. Эти функции разрабатываются как отдельные модули в архитектуре микросервисов, и управляются независимо друг от друга.

**Преимущества архитектуры микросервисов:**

- ускоряет введение нового функционала в PLM платформу;
- ускоряет обновление PLM платформы;
- увеличивает время безотказной работы платформы, т.к. при выходе из строя отдельного модуля, платформа продолжит работать.

**ТРЕТИЙ ТРЕНД: РАЗМЕЩЕНИЕ PLM ПЛАТФОРМ НА БЛОКЧЕЙНЕ.**

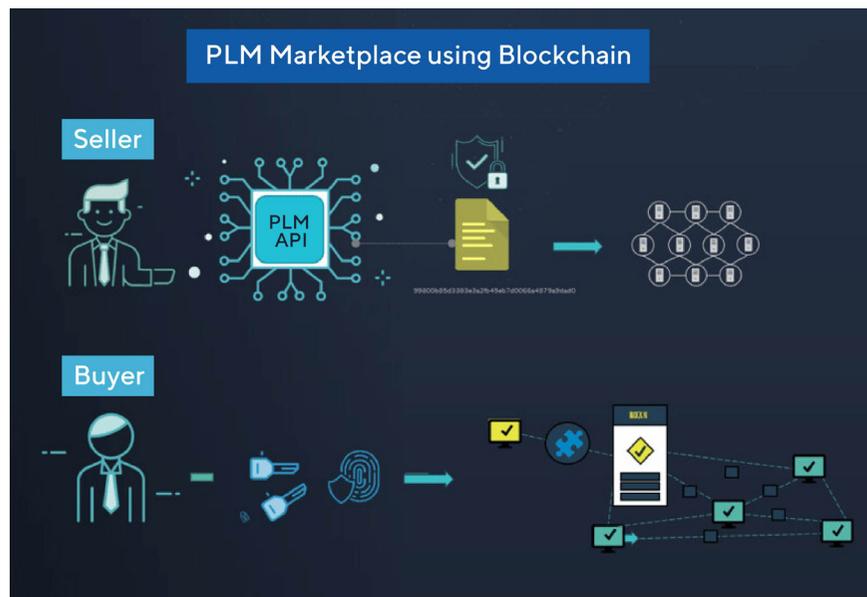


Рисунок 33 – Принципиальная схема применения технологии «блокчейн» в PLM-системе

Применение технологии «блокчейн» увеличит прозрачность деятельности и сократит время разработки изделия, т.к. участники сети блокчейна — разработчики, поставщики, производители, отдел логистики, отдел продаж, контрагенты — будут работать в инфраструктуре без централизованного управления. Внедрение технологии «блокчейн» в производство ограничено тем, что она находится на стадии исследований. Пример внедрения технологии «блокчейн» в управление организацией — программа Leonardo Blockchain3 компании SAP, которая упрощает сложные многокомпонентные процессы и укрепляет доверие между участниками при помощи приложений распределенного реестра за счёт:

- бесперебойного развёртывание в «облаке»;
- открытой блокчейн-платформы;
- прозрачности информации;
- полнофункциональных блокчейн-приложения;
- мониторинга и анализа данных блокчейн-приложений в реальном времени;
- интеграции корпоративных данных и данных блокчейн-приложений.

#### ЧЕТВЁРТЫЙ ТРЕНД: ИНТЕГРАЦИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В PLM ПЛАТФОРМЫ.



Рисунок 34 — Принципиальная схема интеграции аддитивных технологий в PLM-систему

Высокотехнологичные отрасли, такие как аэрокосмическая, оборонная промышленность, промышленное оборудование и автомобилестроение, всё чаще применяют аддитивные технологии для изготовления сложных деталей, требующих сложной механической обработки.

#### ПЯТЫЙ ТРЕНД: ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ (VR) И ДОПОЛНЕННОЙ (AR) РЕАЛЬНОСТЕЙ.



Рисунок 35 — Принципиальная схема применения технологий дополненной реальности и виртуальной реальности в PLM-системе

Технологии VR и AR применяют в компьютерном моделировании для повышения качества изделий и эффективности производственных операций.

**ШЕСТОЙ ТРЕНД: ПРИМЕНЕНИЕ  
ТЕХНОЛОГИИ ИОТ.**

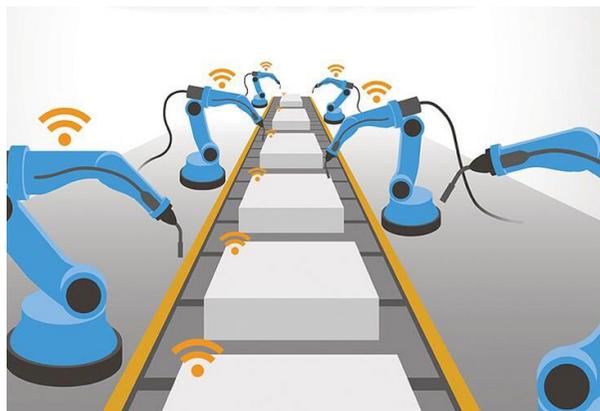


Рисунок 36 – Принципиальная схема применения технологий IoT в PLM-системе

**СЕДЬМОЙ ТРЕНД: ПРИМЕНЕНИЕ ОБЛАЧНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ.**

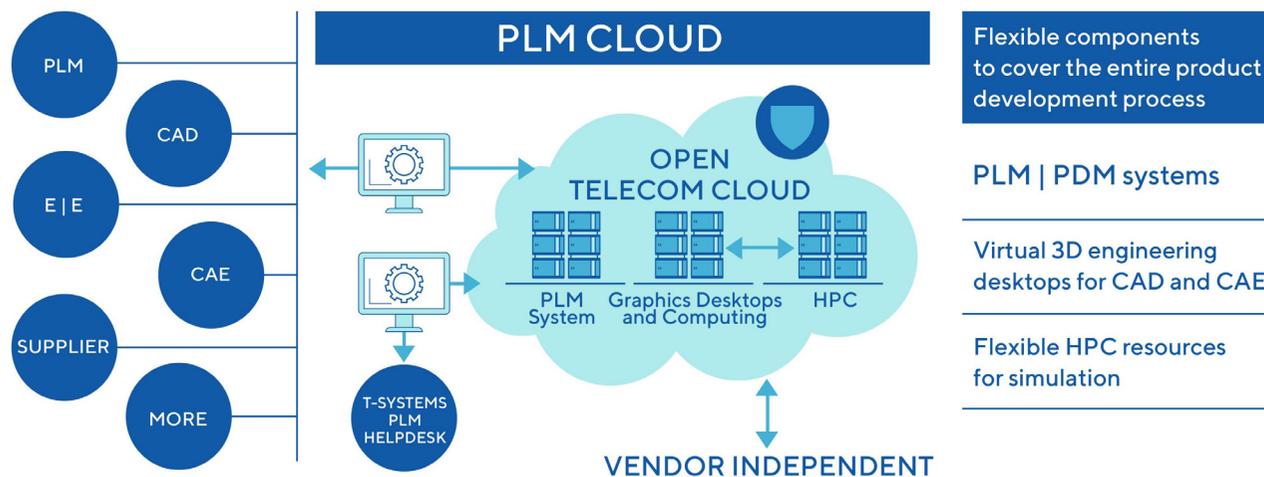


Рисунок 37 – Принципиальная схема применения облачных технологий в PLM-системе

Разработчики PLM платформ внедряют облачные технологии для компаний малого и среднего бизнеса.

**ВОСЬМОЙ ТРЕНД: ГЛОБАЛИЗАЦИЯ.**

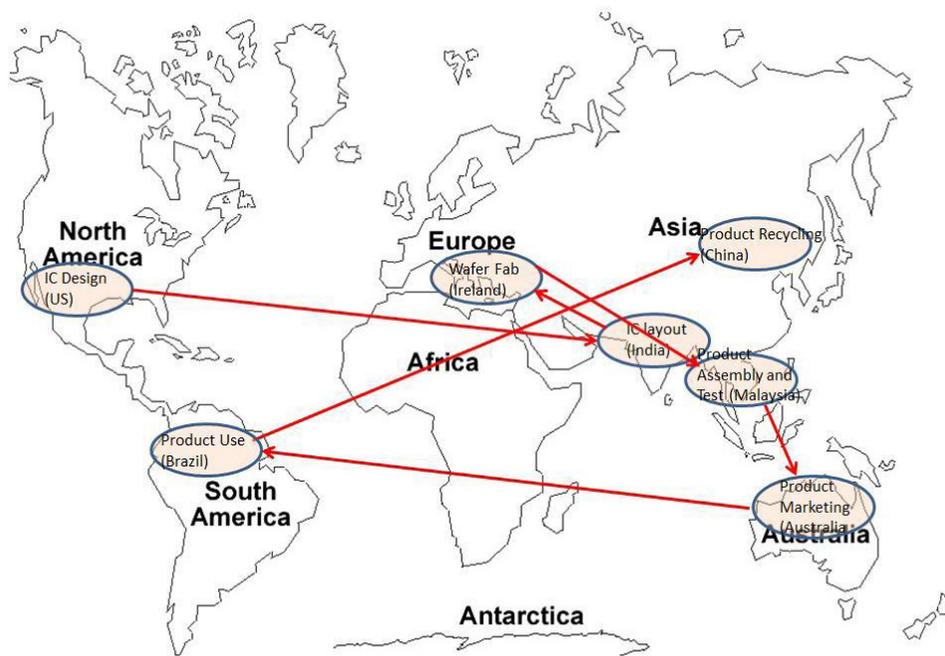


Рисунок 38 – Принципиальная схема глобализации в производстве

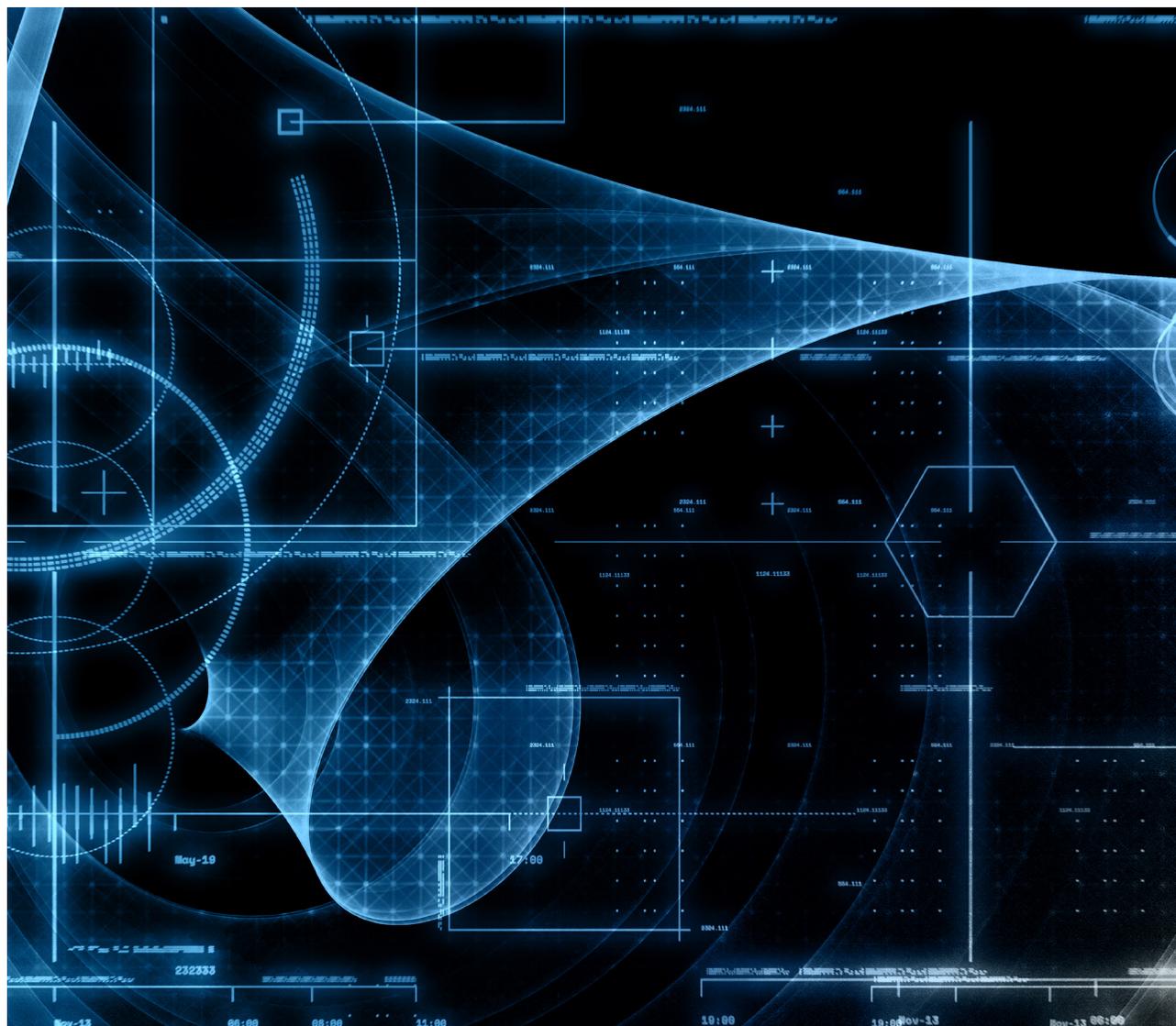
Глобализация мирового производства проявляется уже на этапе проектирования. Это выражается как в территориальном распределении проектирования, так и в изменении подхода – инженеры-конструкторы, начиная со стадии концепта изделия, учитывают глобальные логистические цепочки, а также выбирают технологии изготовления ключевых компонентов, чтобы добиться конкурентоспособности будущего изделия.

**ДЕВЯТЫЙ ТРЕНД: СБОРКА НА ЗАКАЗ.**



Рисунок 39 – Принципиальная схема производства и сборки на заказ

Современные производители заинтересованы в удовлетворении требований покупателей продукции с набором опций, требуемым конкретным заказчиком. Эта задача решается конфигурированием изделия на протяжении жизненного цикла. Попутно решается и задача унификации. Работа по схеме «сборка на заказ» экономически выгодна производителю и потребителю. Такой подход был известен до появления концепции PLM, но она предоставила технологическую платформу для комплексного решения этих задач.



## ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СОГЛАСНО КЛАССИФИКАЦИИ

В связи с тем, что PLM системы ориентированы на конечное изделие, то они применяются в разных отраслях, которые разрабатывают, производят и поддерживают изделия [13].

### **Отрасли применения PLM-систем [68], [69], [70], [1]:**

1. Аэрокосмическая и оборонная промышленность.
2. Автомобилестроение и транспорт.
3. Потребительские товары и розничная торговля.
4. Электроника и полупроводниковая техника.
5. Энергетика.
6. Городская инфраструктура.
7. Машиностроение, в том числе тяжёлое.
8. Промышленное оборудование.
9. Судостроение.
10. Медицинские изделия и фармацевтика.
11. Разработка программного обеспечения.
12. Биотехнологии.
13. Научные исследования.
14. Строительство.
15. Нефтегазовая промышленность.
16. Образование.
17. Государственные учреждения.

### **PLM применяется компаниями, производящими [13]:**

- идентичные изделия, например, автомобили или электронное оборудование;
- уникальные изделия;
- изделия в соответствии с требованиями клиента.

### **PLM-системы применяют с целью [1]:**

1. Управления процессом формирования идей.
2. Управления производством изделий.
3. Анализа и управления моделированием.
4. Послепродажного обслуживания, техобслуживания и ремонта.
5. Управления исходными требованиями к изделию.
6. Управления портфельными активами.
7. Управления интеграцией электронных устройств и программного обеспечения.
8. Проектирования систем.
9. Управления техническими характеристиками/рецептурой/номенклатурой.
10. Управления соответствиями.

## ПРИМЕРЫ ВНЕДРЕНИЯ И/ИЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### РАСЧЁТ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ



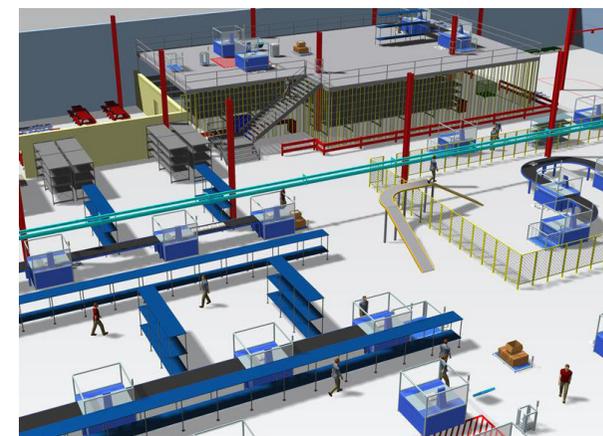
Новая модель скутеров Piaggio создана с использованием системы расчёта долговечности LMS Virtual.Lab от компании Siemens PLM Software. Данная система была выбрана компанией Piaggio для разработки двигателя скутера, в конструкции которого был применён ряд оригинальных решений, отвечающих требованиям целевого рынка. В частности, двигатель должен быть очень эффективным и отличаться низким уровнем токсичных выбросов. Применение LMS Virtual.Lab для расчёта усталостной прочности и долговечности коленвала позволило выявить уязвимое место. Выполненный анализ вызывающих разрушение фак-

торов установил, что основным источником усталостных повреждений является переходная посадка между коленвалом и шатуном и даже незначительные изменения в характере сопряжения этих деталей могут оказать заметное влияние на работу всего коленвала. Путём сравнения результатов расчётов с требованиями стандартов удалось устранить проблему. В результате текущий вариант конструкции, включая наиболее нагруженный участок, соответствует принятому запасу прочности, и проектирование скутера было продолжено. Рикардо Тести, инженер и многолетний пользователь системы LMS Virtual.Lab, работающий в отделе двигателей компании Piaggio, считает, что применение модуля LMS Virtual.Lab Durability в компании Piaggio позволило вдвое уменьшить число опытных образцов и заметно сократить сроки проектирования.

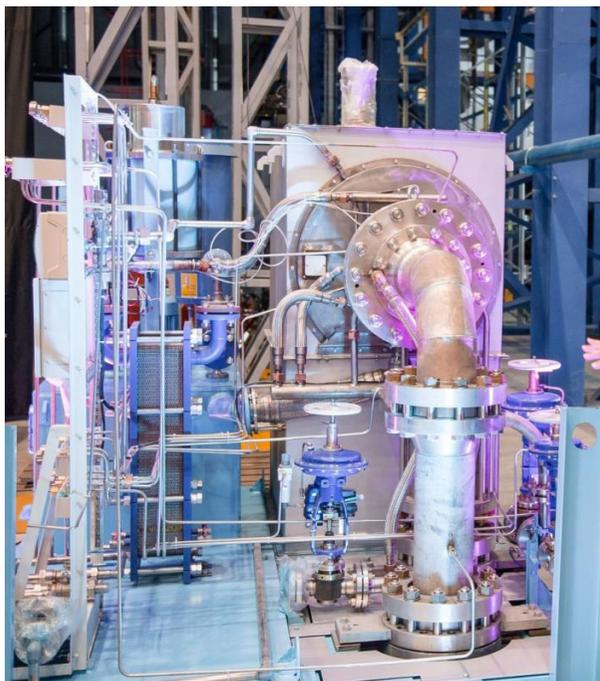
### ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ГАРАНТИИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНА

Виртуальная модель производства, созданная в Tecnomatix Plant Simulation, позволила заказчикам оптимизировать работу цехов и увеличить объём выпускаемой продукции. Tecnomatix Plant Simulation ориентировано на моделирование производственных систем. Одно из самых важных преимуществ имитационного моделирования,

в отличие от традиционных методов оценки потребности в оборудовании, заключается в том, что оно позволяет учесть количество и время переналадок, объём партии деталей, запускаемых в производство, очередность обработки на станках, время ожидания. Кроме того, в ходе моделирования оценивается множество вариантов организации производства, что повышает уровень достоверности результатов и экономит средства компании, а также быстро окупается. Имитационное моделирование является тем инструментом, который позволяет как объективно оценить потребность в дополнительных мощностях – оборудовании, новых технологиях или конкретных специалистах, так и корректно рассчитать окупаемость таких затрат в сжатые сроки.



**ПРИМЕНЕНИЕ PLM-ТЕХНОЛОГИЙ  
НА АО «КРИОГЕНМАШ»**



АО «Криогенмаш» занимается производством криогенной техники. Предприятие изготавливает воздухоразделительные установки (ВРУ), мембранные установки, установки для сжижения природного газа. Проектирование ВРУ и другой продукции на предприятии ведется при помощи продукта компании Dassault Systemes – CATIA V5. Все полученные и разработанные данные по проектам (предварительные

расчеты, технологические схемы, 3D-модели, КД, листы изменений и прочее) заносятся в SmarTeam.

Наиболее трудоемким этапом в процессе проектирования ВРУ (в частности, блока разделения воздуха – БРВ) является выполнение обвязки аппаратов и арматуры трубопроводами.

На разводку уходит более трети всего времени от общей продолжительности проектных работ. В зависимости от типа установки и ее производительности диаметры трубопроводов варьируются от 1200 мм до 10 мм.

При детальной проработке трубопроводов (наполнении трассы физическими элементами) конструктор наряду с основными характеристиками трубопровода (материалом, диаметром, толщиной стенки трубы/отвода, рабочим давлением) задает еще и характеристики сварочных швов, используемых для сборки трубопровода.

Это позволило технологической службе предприятия подсчитывать сварочный материал и длину швов в автоматическом режиме.

Впоследствии эти данные обрабатываются, интегрируются с базой данных материальных нормативов, и технологическая служба предприятия получает на выходе в автоматическом режиме данные о необходимом количестве сварочной проволоки, флюса и других материалов, требуемых для выполнения сварочных работ по сборке этого трубопровода. [52]

**BOMBARDIER ОПТИМИЗИРУЕТ ПРОЦЕССЫ  
РАЗРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ**



Ведущий мировой производитель поездов и самолетов Bombardier в кооперации с Siemens расширяет внедрение платформы по управлению жизненным циклом изделия (PLM) Teamcenter с целью оптимизации процессов разработки, изготовления и технической поддержки продукции.

Внедрение Teamcenter® позволит создать интегрированное междисциплинарное решение, объединяющее пользователей. Компания получит согласованные рабочие процессы и обеспечат надежную совместную работу в масштабах всего предприятия. Внедрение Teamcenter в компании Bombardier увеличит гибкость всех этапов разработки изделий. [53]

### ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ РЕШЕНИЙ SIEMENS НА ЗАВОДАХ REHAU AUTOMOTIVE



Немецкий производитель автомобильных комплектующих и полимерных изделий REHAU Automotive переводит 15 своих заводов исключительно на программные разработки Siemens. Они заменяют устаревшие системы, применявшиеся при разработке, изготовлении и контроле качества изделий. REHAU входит в число первых компаний в автомобильной отрасли, внедривших системы управления производством (MES) и управления качеством (QMS), интегрированные с системой управления жизненным циклом изделия (PLM), в масштабах всего предприятия.

Интегрированный пакет обеспечивает полную дигитализацию процессов разработки и изготовления изделий. Новое интегрированное решение позволит стандартизировать все процессы и оптимизировать логистику, чтобы выпускать изделия высокого качества. В состав разработанного специального шабло-

на для интегрированного решения, внедряемого в компании REHAU, входят все системы MOM-класса, включая Simatic IT UADM (MES-система) и IBS QMS Professional.

Шаблон также содержит Simatic IT Preactor APS – ведущую систему календарного планирования производства и Simatic WinCC – предлагаемое Siemens стандартное решение класса SCADA/HMI, обеспечивающее надежный обмен данными с цехами предприятия. Все системы тесно интегрированы с Teamcenter и с применяемой в компании REHAU ERP-системой. Такая интеграция сведений обо всех конструкторских изменениях гарантирует незамедлительную передачу данных на производство, при этом клиент Active Workspace для Teamcenter информирует конструкторов обо всех выявленных в изделии несоответствиях. В результате экономится время и повышается качество работы: инженеры видят все возникающие отклонения в нужном контексте и получают документацию на изделие на этапе изготовления. [53]

### РАЗРАБОТКА ЛАЙНЕРА AIRBUS A380



Французская компания Safran Landing Systems, занимавшаяся созданием шасси этого самолета, использовала решение Simcenter Amesim. A380 был введен в эксплуатацию с передней стойкой шасси, разработанной и настроенной полностью по 1D-модели, созданной в Simcenter Amesim. Результаты виртуальных испытаний шасси полностью подтвердились натурными. При этом разработчику удалось ускорить реализацию проекта за счет точного планирования испытаний и прогнозируемости эксперимента.

Airbus использовал Simcenter Amesim для создания цифровых двойников самолета A380, его топливной системы и двигателей, которые затем прошли испытания на виртуальном стенде. С помощью такого виртуального стенда специалисты смогли спрогнозировать и оценить эффекты пульсации давления в топливной системе.

По оценке разработчиков, цифровой подход позволил уменьшить время, необходимое на доработку и доводку топливной системы, почти на 2 года. При традиционном подходе, подразумевающем полный цикл натуральных испытаний, потребовалось бы больше времени и средств на создание и настройку стенда и проверку работы систем самолета. [54]

Разработка шасси вертолета на АО «МВЗ им. М.Л. Миля»

На ведущем предприятии по созданию вертолетной техники – АО «МВЗ

им. М.Л. Миля» при технической поддержке компании АО «ЛАНИТ» состоялся эксперимент построения математической модели посадки и движения вертолета по поверхности земли с помощью решений Simcenter.

Поскольку в России данный подход был реализован в вертолетной отрасли впервые с применением Simcenter, задача была решена в рамках изделия, для которого уже существуют данные натуральных стендовых и летных испытаний, использованных для верификации математической модели посадки вертолета.

**Эксперимент состоял из основных этапов:**

- синтез в Simcenter Amesim математических моделей амортизаторов как комбинации работы пневматической, гидравлической и механической систем;
- моделирование копровых испытаний колесных опор шасси посредством совместного расчета математических моделей амортизаторов, моделей кинематики опор шасси и моделей пневматиков;
- построение математической модели посадки вертолета на трехточечное колесное шасси с абсолютно жестким фюзеляжем, а также с учетом деформации планера вертолета.

Использование решений Simcenter для инженерного анализа поведения сложных систем авиационной техники позволяет получать достоверный результат на ранних стадиях проектирования, сокращая время на разработку и сертификацию новой конструкции. [3]

**РЕШЕНИЕ SIMCENTER 3D ОБЕСПЕЧИЛО NASA НЕОБХОДИМУЮ ПРОЧНОСТЬ СТАРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ЗАПУСКЕ РАКЕТЫ**



Компания ATK разрабатывает твердотопливные ускорители для ракеты-носителя Space Launch System – два боковых блока по обеим сторонам центральной ступени, создающие дополнительную тягу в течение первых двух минут полета. В первых полетах носителя SLS будут применяться модифицированные ускорители от космического челнока, также спроектированные в компании ATK. В рамках нового проекта компания ATK создаст и новые ускорители с увеличенной тягой, которые будут применяться в последующих полетах с большей полезной нагрузкой. Компания ATK уже почти десять лет применяет технологии по управлению жизненным циклом изделия от Siemens PLM Software, в том числе систему автоматизированного

проектирования NX, пакет решений для численного моделирования характеристик изделий Simcenter и систему управления процессами и данными об изделии Teamcenter.

Компания ATK использовала модуль Simcenter 3D Motion для моделирования кинематики движений убираемых креплений при пуске ракеты. При помощи анализа кинематики компания ATK быстро создала проектное решение, в котором крепления отводились нужным образом.

Основная цель SLS — создать временную последовательность пуска ракеты и обратного движения креплений, используя модуль Simcenter 3D Motion.

На основе конструкторской модели задней части твердотопливного ускорителя компания ATK создала конечно-элементную модель в Simcenter 3D.

Помимо экономии времени, важным преимуществом реализованного в компании ATK интегрированного процесса проектирования в NX и расчетов в Simcenter 3D стала убежденность в точности расчетной модели. Одна из проблем моделирования контактных взаимодействий в большой конечно-элементной сборке заключается в необходимости абсолютно точного совмещения деталей. При работе в Simcenter 3D детали в расчетной модели уже совмещены.

Применение Teamcenter позволяет рассчитывать нужные модели деталей и исполнения изделий. Все

расчеты синхронизированы с конструкторской документацией. [54]



На 40% увеличил дальность полета благодаря использованию NX CAD и Teamcenter при проектировании крыла.

Компания Piper Aircraft Inc. — производитель авиационной техники общего назначения, выпускающий всю линейку продукции: от надежных учебных самолетов до высокоэффективных турбовинтовых машин.

У компании появился заказ на воздушное судно с топливным баком большего объема для увеличения дальности полета. Для создания такого судна было решено модернизировать модель M500 до M600.

В основе Piper M600 — абсолютно новое крыло с превосходной аэродинамикой, позволяющей увеличить скорость и дальность полета. Проектирование велось с нуля. Заказчик указал свои требования, а Piper созда-

ла опытный образец на их основе. Фактически специалистам требовалось разработать принципиально новую конструкцию крыла для транспортировки большего объема топлива. Инженеры рассматривали варианты, отличающиеся размером или геометрией крыла, объемом топливных баков, количеством установленных систем, энергопотреблением, конструкцией законцовок и прочими характеристиками.

Необходимость выбрать нужный размер и снизить массу крыла стала одной из сложнейших задач. Для ее решения компания использовала систему автоматизированного проектирования NX™ и систему управления жизненным циклом изделия Teamcenter®. Решения Siemens PLM Software помогли Piper повторно использовать модели деталей, управлять данными, знаниями и интеллектуальной собственностью в масштабах всего предприятия, а также повысить эффективность производства и гарантировать соответствие нормативным требованиям.

Применение NX CAD ускоряет процесс проектирования — в большей степени за счет средств визуализации в 3D. К тому же более точная конструкция сокращает время сборки.

Реализованные в NX современные CAD-решения и технология цифровых двойников помогли компании Piper снизить себестоимость самолета.

Использование Teamcenter позволяет компании Piper

управлять всеми моделями деталей, проектировать сборки и сборочные процессы, а также объединять все службы предприятия – конструкторский и технологический отделы, службу снабжения и другие. Теперь все сотрудники получают доступ к информации о проектируемом самолете прямо в Teamcenter.

Система помогает и в работе с поставщиками. Они присылают в Piping 3D-модели, которые сотрудники компании добавляют в собственные сборки, чтобы сразу выявить возможные проблемы. Это свидетельствует о том, что NX и Teamcenter повышают точность и ускоряют процессы разработки.

Внедрение решений от Siemens PLM Software помогло компании Piping повысить производительность и достичь всех целей, поставленных перед программой разработки нового самолета. [54]



В рамках проекта «Цифровые технологии проектирования и производства» на трех предприятиях интегрированной структуры ракетного двигателестроения (НПО Энергомаш, Воронежский центр ракетного двигателестроения и Протон-ПМ) завершили работы по внедрению автоматизированной системы управления жизненным циклом изделий. Ее цель – автоматизация работы конструкторских, технологических и производственных подразделений. Внедренная в промышленную эксплуатацию автоматизированная система управления жизненным циклом изделия позволяет предприятиям интегрированной структуры ставить задачи по снижению себестоимости изготавливаемых жидкостных ракетных двигателей, сокращению сроков вывода продукции на рынок, оптимизации использования ресурсов, а также повышению качества выпускаемой продукции.

Одним из наиболее перспективных направлений цифровизации на сегодняшний день является распределенное проектирование: разработка изделия несколькими конструкторскими бюро одновременно. Обязательное условие – применение единой среды проектирования, единых стандартов работы в системе и единых справочных данных.

Процесс внедрения системы велся с 2016 года и состоял из восьми этапов. Первые четыре посвящены разработке инструмента для создания электронной конструкторской документации. Внедрение последних двух этапов PLM-системы обеспечит моделирование работы двигателя в стационарном режиме, создание статистических и динамических моделей рабочих процессов (литейных, листовой штамповки, объемного деформирования материалов и др.), проведение инженерных расчетов параметров двигателей, а также позволит перенести многолетний опыт использования CAE (программные продукты для решения инженерных задач) в информационную среду. [55]

### **ВНЕДРЕНИЕ PLM-СИСТЕМЫ В ООО «ИЗ-КАРТЭКС ИМ. П. Г. КОРОБКОВА»**

Цель внедрения PLM-системы – изготовление качественной наукоемкой продукции в короткие сроки.

#### **Задачи:**

- внедрение технологии электронного макета изделия;
- внедрение шаблона цифровой компоновочной схемы – PTS (Product template studio) в NX. В шаблоне PTS аккумулируются все знания об определенном классе изделий, а компоновочная схема конкретного изделия, соответствующего ТЗ, получается автоматически;
- внедрение Siemens Teamcenter – среды разработки изделия
- внедрение цифрового процесса технологической подготовки производства;
- получение полной информации об изделии на всех этапах жизненного цикла.

#### **Результат:**

- на этапе сборки экскаватора существенно уменьшилось число коллизий. Прежде в карьере нередко возникали нештатные ситуации при сборке, исправлять которые в полевых условиях всегда очень сложно.
- уменьшилось число извещений об изменениях.
- процесс конструирования изделия сократился по времени.
- упорядочивание работы с моделями и большими сборками.
- ускорение работы конструкторов в полтора раза.

- поскольку специфика предприятия заключается в том, что готовое изделие собирается непосредственно в карьере заказчика, то возможность сразу собрать изделие без проблем и переделок крайне важна. В этом аспекте технологии Siemens PLM дают предприятию колоссальный эффект [56].

### **ПАО «Компания «Сухой»**



В состав холдинга «Сухой» входят ведущие российские конструкторские бюро и серийные самолетостроительные заводы. Компания обеспечивает выполнение полного цикла работ в авиастроении – от проектирования до послепродажного обслуживания. Продукция холдинга – боевые самолеты марки «Су» являются передовыми образцами мирового рынка вооружений и составляют основу фронтовой авиации России и тактической авиации многих стран мира. Компания «Сухой» – крупнейший российский экспор-

тер авиационной техники.

#### **Задачи:**

- разработка и использование новейших технологий;
- повышение качества и снижение стоимости продукции;
- сокращение сроков и издержек опытно-конструкторских разработок и серийного производства.

#### **Решение:**

- внедрение новых методов разработки на основе компьютерного моделирования;
- переход на безбумажные технологии проектирования;
- создание единой системы управления качеством и стоимостью продукции.

#### **Результаты:**

- организация информационного взаимодействия с серийными заводами и поставщиками;
- снижение трудоемкости и времени внесения изменений, обеспечивающих эволюционное развитие и глубокую модернизацию изделий;
- создание централизованных библиотек стандартных изделий, используемых всеми предприятиями компании «Сухой»;
- ликвидация плазовых производств на серийных заводах;
- успешная разработка электронного макета и запуск по нему в производство на серийном заводе узлов самолета Су-30;
- успешно разработан самолет SSJ. [57]

### АО ПКО «Теплообменник»



Основная сфера деятельности ОАО ПКО «Теплообменник» — производство агрегатов авиационной техники для систем кондиционирования воздуха, систем обеспечения жизнедеятельности экипажа и пассажиров воздушных кораблей. Продукцией завода комплектуются все без исключения российские самолеты и вертолеты.

Многие изделия, выпускаемые ПКО «Теплообменник», критичны с точки зрения безопасности полетов: при выходе их из строя самолет терпит бедствие. Поэтому на первый план выходит надежность. Внедрение решений Siemens PLM Software позволило вывести разработку изделий на качественно новый уровень, изменить саму философию и основу процесса конструирования, мобилизовать творческий потенциал сотрудников.

Характерным изделием для ОАО ПКО «Теплообменник» является улитка турбины турбохолодильника – деталь, у которой нет ни одной плоскости, одни криволинейные поверхности.

Прежде места разрывов металла при формовании улиток закладывались прямо в чертежах, так как это считалось неизбежным. Применение NX, а также разработанной специалистами предприятия технологии проектирования и расчетов 3D-моделей улиток позволило избежать этого. Теперь на предприятии конструируют и изготавливают штампы, на которых улитки изготавливаются без разрывов, что исключает необходимость последующей сварки. Кроме того, использование NX CAM для создания УП дает возможность напрямую передавать технологом поверхности, созданные конструктором, чтобы в результате получилась деталь оснастки на станке с ЧПУ. За счет этого происходит огромная экономия средств на измерительном инструменте. Отпала необходимость в изготовлении шаблонов, которых ранее требовалось по 28 штук на каждую полуулитку.

#### Задачи:

- снижение веса, стоимости и повышение КПД изделий;
- увеличение ресурса и повышение надежности продукции;
- улучшение управления документооборотом и производственными процессами;
- соответствие производства и продукции международным требованиям к авиационной промышленности.

#### Решение:

- внедрение САПР NX и Solid Edge;
- переход к 5-осевой обработке;

- внедрение PDM-системы Teamcenter;
- обучение сотрудников использованию новых компьютерных технологий.

#### Результаты:

- снижение веса и стоимости, повышение КПД, увеличение ресурса и повышение надежности продукции;
- освоение 5-осевой обработки, включая подготовку управляющих программ для станков с ЧПУ;
- переход от производства отдельных агрегатов к созданию целых систем жизнеобеспечения летательных аппаратов;
- участие в международных разработках. [57]

### ОАО «УАЗ»



Ульяновский автомобильный завод, ведущий в России производитель автомобилей повышенной проходимости.

Ключевую роль в успешном развитии предприятия сегодня играют современные технологии проектиро-

вания.

На Ульяновском автомобильном заводе используется электронная технология проектирования и технологической подготовки производства. Она позволила значительно сократить сроки проектирования, при этом качество проектных работ повысилось за счет выявления недостатков конструкции и технологической оснастки еще на этапе проектирования.

Организация сквозного цикла проектирования и производства не только экономит время и деньги, но положительно сказывается на качестве выпускаемых автомобилей.

**Задачи:**

- повышение конкурентоспособности автомобилей УАЗ на российском и зарубежных рынках;
- увеличение прибыльности предприятия;
- сокращение сроков проектирования;
- повышение качества проектных работ.

**Решение:**

- внедрение на предприятии интегрированной системы проектирования и технологической подготовки производства;
- масштабное обучение сотрудников новым технологиям.

**Результаты:**

- значительное сокращение сроков разработки новых моделей автомобилей и их модернизации;
- повышение качества автомобилей;
- организация на предприятии сквозного цикла проектирования и производства, позволяющая суще-

ственно экономить временные

и финансовые ресурсы;

- переход на безбумажное взаимодействие между подразделениями завода;
  - создание полного электронного макета автомобиля;
- единство управления инженерными данными на всех этапах создания автомобилей. [57]

## КООПЕРАЦИОННЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЦЕПОЧКИ

Наименование технологии/продукта	Научные проблемы	Потребитель технологии/продукта	Примечание
T-FLEX DOCs	ЗАО «Топ Системы»	АО «ВНИИРТ»	[60]
Система управления полным жизненным циклом изделия	ГК "Ростех" (Национальный центр информатизации) ГК "Росатом" (РФЯЦ-ВНИИЭФ)	• Предприятия ОПК • Компании, входящих в госкорпорации ("Ростех" и "Росатом")	[62]
Отдельные модули системы	Компания "Програмсоюз"	• НПФ «Пакер», • ЗАО «Новомет-Пермь» • КБ «Венд-Дизайн Проект» • ОАО «Адмиралтейские Верфи» • АО «Уральское Конструкторское Бюро Транспортного Машиностроения» • ООО «Авторос» • ОАО «МГПМ» • ОАО «МРСК-Урала» • ОАО «КТРВ» • ОАО «ГосМКБ «Радуга» им. А.Я.Березняка» • ОАО «Центр технологии судостроения и судоремонта»	[61]
Система нормативно-справочной информации		• ОАО «УралНИТИ» • ОАО «СтройДорМаш»	
Delta Design (ЭРЕМЕКС) – система проектирования электронных устройств Комплекс АСКОН: КОМПАС-3D – система трехмерного проектирования САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ – система автоматизированного проектирования технологических процессов ЛОЦМАН:PLM – система управления инженерными данными и жизненным циклом изделия FlowVision (ТЕСИС) – моделирование тепловых процессов в радиоэлектронных изделиях	Консорциум "РазВИТие": "Аскон", «ТЕСИС», «ЭРЕМЕКС»	Концерн «Морское подводное оружие – Гидроприбор»	[63]

Наименование технологии/продукта	Научные проблемы	Потребитель технологии/продукта	Примечание
Delta Design (ЭРЕМЕКС) – система проектирования электронных устройств APM WinMachine (НТЦ «АПМ») – расчет конструкций, деталей машин и механизмов. FlowVision (ТЕСИС) – моделирование тепловых процессов в радиоэлектронных изделиях. Комплекс АСКОН: ЛОЦМАН:PLM – система управления инженерными данными и жизненным циклом изделия КОМПАС-График – автоматизированная система разработки и оформления конструкторской и проектной документации ЛОЦМАН:КБ – система управления проектированием и электронным архивом конструкторской документации	Консорциум "РазВИТие": "Аскон", «ТЕСИС», «ЭРЕМЕКС», НТЦ «АПМ»	Уральское проектно-конструкторское бюро «Деталь»	[63]
<ul style="list-style-type: none"> <li>• APM FEM (НТЦ «АПМ») – система прочностного анализа</li> <li>• КОМПАС-3D ("Аскон") – система трехмерного проектирования</li> </ul>	Консорциум "РазВИТие": "Аскон", НТЦ «АПМ»	«ТОЧИНВЕСТ» (производство дорожных металлоконструкций и продукции дорожной инфраструктуры)	[63]
КОМПАС-3D ("Аскон") – система трехмерного проектирования ADEM CAM – создание управляющих программ для любых типов станков и систем ЧПУ	Консорциум "РазВИТие": "Аскон", ADEM	«Тамбовский завод «Ревтруд»	[63]
nanoCAD СПДС «Универсальный маркер»	АО "Нанософт"	АО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций имени Н. Е. Крюкова»	[64]
NormaCS 4.x		ОАО «Адмиралтейские верфи»   НИИ «ЛОТ»   ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова»	[65]
nanoCAD Plus   nanoCAD СПДС nanoCAD СПДС «Стройплощадка»   nanoCAD СПДС «Железобетон»   nanoCAD «Механика» nanoCAD «Геоника»   nanoCAD «Конструкции» nanoCAD «Электро»   nanoCAD СКК   nanoCAD ВК		ОАО «СибВАМИ»	[66]

Наименование технологии/продукта	Научные проблемы	Потребитель технологии/продукта	Примечание
ERP/MES-системы	«1С»	ОАО «Мотовилихинские заводы»	[79]
Геометрическое ядро CGM и решатель геометрических ограничений Constraint Design Solver	«Ледас» (Россия)	CATIA	[78]
Модули CATIA: CATIA – Product Engineering Optimizer и CATIA – Knowledge Advisor			
ПО		BricsCAD	
ПО	SoftDev (Россия)	TurboCAD	
ПО	R&D центры в России	ARES	
Встроенный язык Lisp	Команда разработчиков (Россия)	IntelliCAD	[78]
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Трассировка печатных плат и проект браузерного CAD</li> <li>• Объединение функциональности механических и электронных САПР в Altium Designer и развитие направления Data Management</li> <li>• Геометрическое ядро C3D для моделирования гибко-жестких плат, операции сопряжения и экспорта данных в форматы STEP и Parasolid X_T</li> </ul>	Команда разработчиков (Россия)	Altium Designer	[78]
<p>Алгоритмы трассировки печатных плат и методы анализа и верификации высокоскоростных печатных плат</p> <p>ПО для моделирования течения жидкостей и газов (пакет FloEFD для задач гидрогазодинамики и теплообмена)</p>	Команда разработчиков (Россия)	Mentor Graphics	
Экстракция параметров микросхем, расчет задержек сигнала в кремниевых чипах, физическая верификация	Команда разработчиков (Россия)	Cadence	

Наименование технологии/продукта	Научные проблемы	Потребитель технологии/продукта	Примечание
ПО для процессорных решений ARC и инструментов фотолитографии	Команда разработчиков (Россия)	Synopsys	[78]
ПО для проектирования и производства микроэлектроники	Команда разработчиков (Россия)	Silvaco	
Система проектирования Esprit ExtraCAD	Rubius (Россия)	Esprit	
ПО: визуализация, интероперабельность, публикация данных, Web-разработка	Команда разработчиков (Россия) «Ледас» (Россия)	Open Design Alliance (ODA)	
ПО Open Cascade Technology – набор библиотек и средств разработки поверхностного и твердотельного 3D-моделирования, визуализации и трансляции CAD-данных	Open Cascade S.A.S. (Франция) Datavision (Россия)	Open Cascade	
ПО для AutoCAD	Команда разработчиков (Россия)	AutoLISP	

Таблица 4 – Кооперационные связи разработки и внедрения PLM-платформ.

## ОСНОВНЫЕ ПОСТАВЩИКИ И ПРОИЗВОДИТЕЛИ

### МИРОВЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ (ТОП-10)

Консалтинговая фирма Quadrant Knowledge Solutions в 2018 году провела стратегическую оценку эффективности и рейтинга производителей PLM программ методике SPARK Matrix [14].

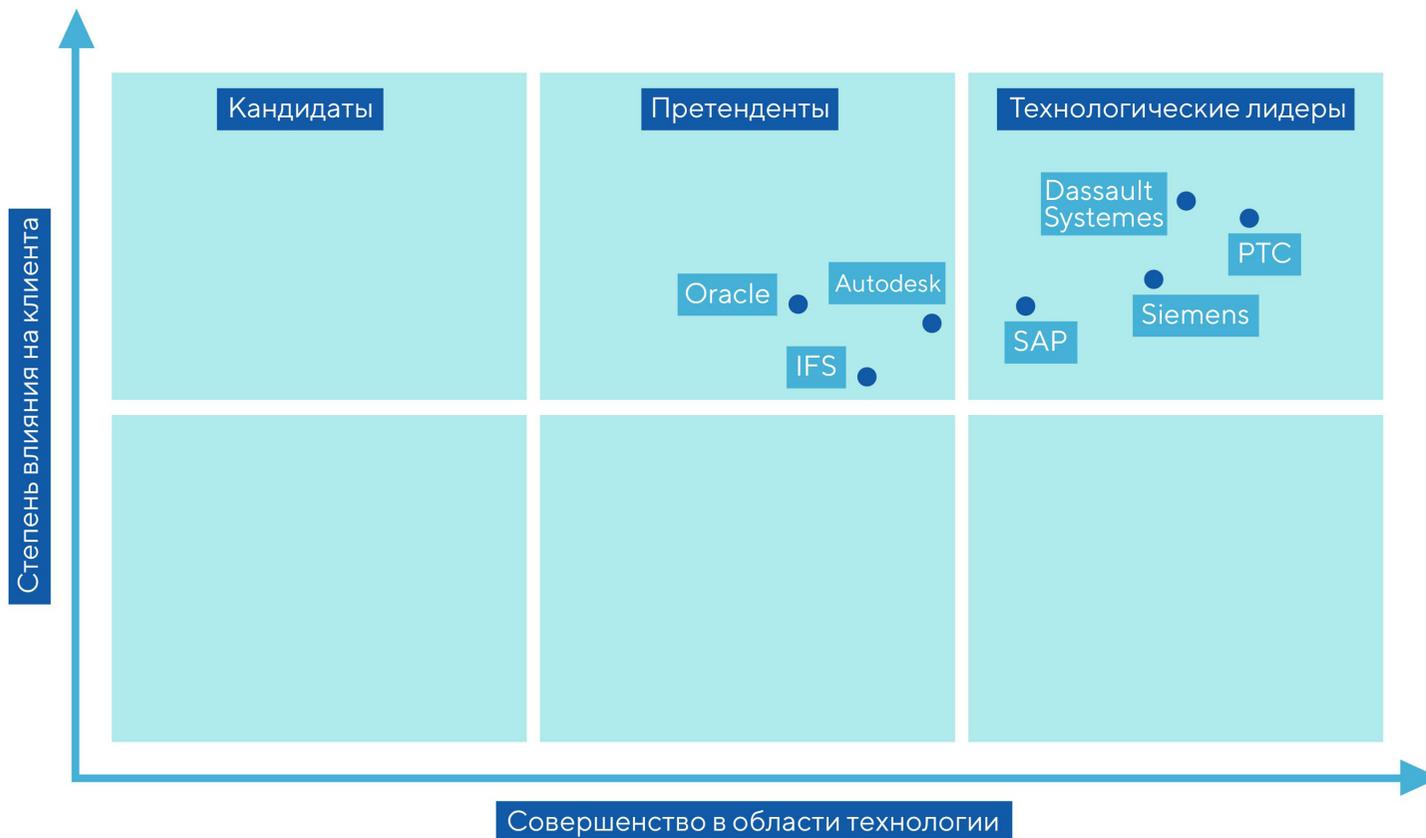


Рисунок 40 – Матрица стратегической оценки эффективности и рейтинга разработчиков PLM программ

Координатная плоскость образуется осью абсцисс, на которой располагается параметр «Совершенство в области технологии» (англ. Technology Excellence), и осью ординат, на которой располагается параметр «Степень влияния на клиента» (англ. CustomerImpact).

**Координатная плоскость поделена на три части:**

- кандидаты (англ. Aspirants);
  - претенденты (англ. Challengers);
  - технологические лидеры (англ. Technology Leaders).
- Технологическими лидерами являются PTC, Dassault Systemes, Siemens и SAP. А претенденты, стремящиеся к лидерам, — Autodesk, Oracle и IFS.
- Компания PTC стала лидером на рынке PLM программ за счёт сложной технологической платформы Windchil, которая поддерживает role-based и task-based приложения. Благодаря этому заказчик получает доступ к информации о продукте из нескольких источников в зависимости от потребностей пользователя. Внедрение технологий дополненной реальности Leveraging Vuforia ускоряет процесс разработки продукта.

**Компания Dassault Systemes предлагает клиентам программную платформу 3DEXPERIENCE, в состав которой входят:**

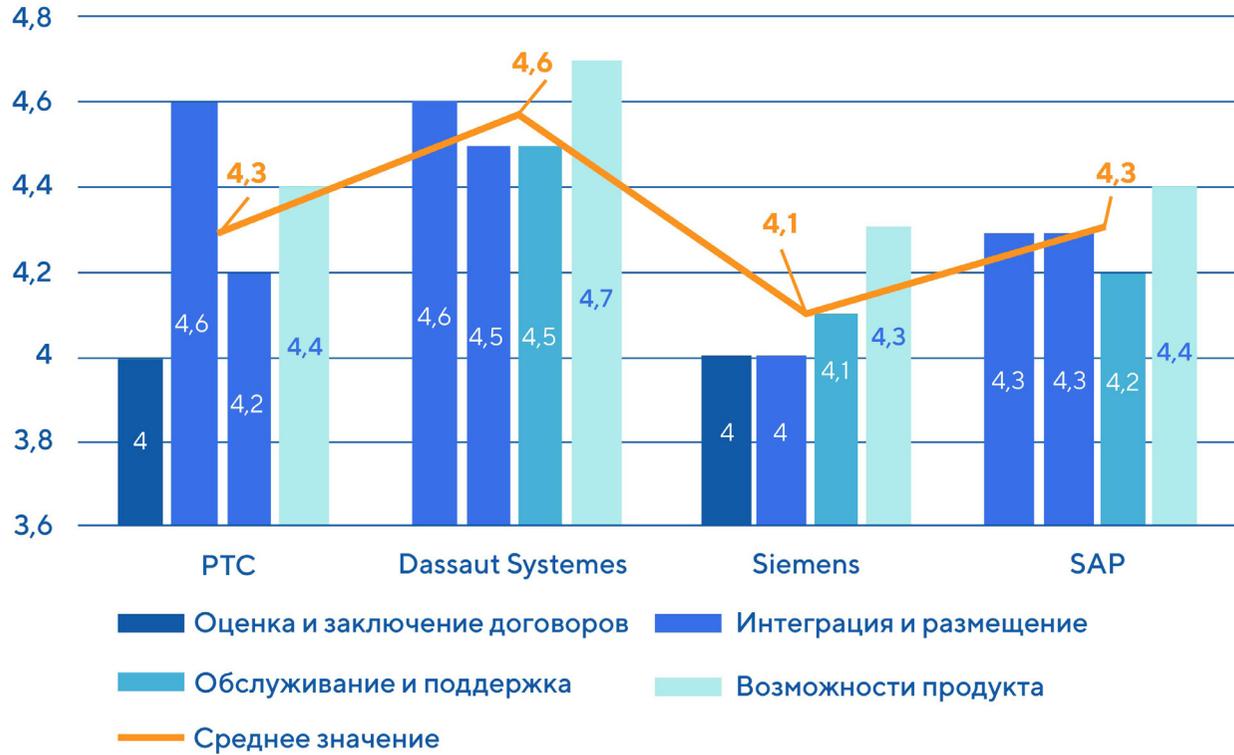
- 3D-дизайн;
- анализ;
- моделирование;
- интеллектуальное программное обеспечение.

3DEXPERIENCE — это единая интерактивная среда, которая интегрирует и связывает приложения PLM, включая аддитивные технологии, дополненную и виртуальную реальности.

Компания Siemens развивает платформу цифровых инноваций с открытой структурой, которая легко интегрирует решения PLM для создания цифрового потока, который включает цифрового двойника продукции и цифровой технологический процесс.

Компания SAP стремится расширить функционал проприетарной PLM, используя интегрированное приложение SAP Business Suite. Также SAP развивает платформу IoT, основанную на проектировании цифрового потока.

Рейтинг технологических лидеров PLM представлен ниже [16].



Из диаграммы видно, что компания Dassault Systemes имеет наибольшее среднее значение, рассчитанное по четырем показателям, в то время как лидером по рейтингу Quadrant Knowledge Solutions является компания PTC.

**Средние значения по показателям распределились следующим образом:**

- возможности продукта – 4,5;
- интеграция и размещение – 4,4;
- обслуживание и поддержка – 4,3;
- оценка и заключение договоров – 4,2.

Такое плотное распределение показателей показывает высокий уровень развития и качества PLM программ у технологических лидеров.

Рисунок 41 – Рейтинг технологических лидеров PLM. Источник: Gartner PeerInsights

## DASSAULT SYSTEMES



Адрес: 10, Rue Marcel Dassault,  
78140 Vélizy-Villacoublay, FRANCE  
Телефон: + 33 (1 61) 62-61-62  
E-mail: RU.MOSCOW.Reception@3ds.com  
(электронная почта московского офиса)  
Сайт: <https://www.3ds.com/>

Компания является одним из лидеров в сфере разработки методов и технологий цифровой трансформации и разрабатывает программное обеспечение для:

- 3D-дизайна;
- создания 3D цифрового макета;
- управления жизненным циклом изделия.

Компания разрабатывает программное обеспечение SIMULIA для автоматизированного инженерного анализа и моделирования.

Является разработчиком CATIA CAD, которая составляет основу практического применения остальных решений компании в соответствии с потребностями конкретных отраслей.

Разрабатывает платформу 3DEXPERIENCE — единую корпоративную среду, которая помогает вести

совместную деятельность производителей и потребителей, собирать их данные из разных программных продуктов трёхмерного проектирования, моделирования, анализа и аналитики.

Является разработчиком программного комплекса САПР SOLIDWORKS для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства. Обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения.

## AUTODESK, INC



Адрес: 111 McInnis Parkway, San Rafael, CA 94903, USA  
Телефон: (415) 507-50-00  
E-mail: -  
Сайт: <https://www.autodesk.com/>

Компания известна как разработчик AutoCAD, программы для автоматизированного проектирования.

Компания разрабатывает программное обеспечение для промышленного и гражданского строительства, машиностроения, проектирования средств информации и развлечений.

Компанией разработан широкий спектр программных продуктов для архитекторов, инженеров, конструкторов, дизайнеров, дизайнеров, 3D художников.

**SIEMENS INDUSTRY SOFTWARE, INC.**



Адрес: PLANO, TX, 5800 Granite Parkway, Suite 600,  
Plano, TX 75024, USA

Телефон: +1 (972) 987-30-00

E-mail: -

Сайт: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/>

Компания является ведущим мировым поставщиком программных решений для управления жизненным циклом изделий (PLM) и производством (MOM). Интеллектуальная линейка решений для инноваций помогает производителям оптимизировать процессы цифрового производства и воплощать в жизнь инновации.

Компания разрабатывает передовые программные решения для автоматизации процессов разработки, производства и сервисного обслуживания сложных электронных и мехатронных изделий. Платформа для цифровых инноваций интегрирует разрозненные процессы в единую цифровую систему и предоставляет широкий выбор интегрированных приложений, которые охватывают все сферы деятельности предприятия и позволяют создать единую полнофункциональную среду для цифровых инноваций.

**BRICSYS NV (является частью Hexagon AB)**



Адрес: Belgium, Bellevue 5/201, 9050, Ghent

Телефон: +32 (9) 244-01-90

E-mail: -

Сайт: <https://www.bricsys.com/en-intl/>

Компания разрабатывает программное обеспечение для автоматизированного проектирования, для проектирования мехатронных устройств, информационного моделирования зданий и сооружений.

**PTC, Inc.**



Адрес: 121 Seaport Boulevard, Boston, MA, 02210

Телефон: +1 (781) 370-50-00

E-mail: -

Сайт: <https://www.ptc.com>

Компания является международным разработчиком технологической платформы и решений, которые помогают предприятиям трансформировать процессы создания, эксплуатации и обслуживания изделий, предназначенных для интеллектуального сетевого мира.

Программные продукты компании помогают промышленным компаниям извлекать выгоду из цифровых технологий для увеличения конкурентного преимущества.

Компания разрабатывает продукты для:

- управления жизненным циклом изделий;
- автоматизированного проектирования;
- проведения инженерных расчётов;
- промышленного интернета вещей;
- дополненной реальности.

## HEXAGON AB



Адрес: Lilla Bantorget 15, SE-111 23 Stockholm, Sweden

Телефон: +46 (8) 601-26-20

E-mail: -

Сайт: <https://hexagon.com/>

Компания производит сенсорное оборудование, сканирующее оборудование, продукты для автономной работы, разрабатывает программное обеспечение для автоматизированного проектирования и инженерного анализа, для проектирования мехатронных устройств, информационного моделирования зданий и сооружений в рамках единой экосистемы.

Компания ведёт исследования в следующих областях:

- искусственный интеллект;
- граничные вычисления;
- мобильные решения;
- визуализация и представление данных;
- корпоративная интеграция.

## ANSYS, Inc.



Адрес: Southpointe, 2600 Ansys Drive, Canonsburg, PA 15317, USA

Телефон: 844-462-6797

E-mail: -

Сайт: <https://www.ansys.com/>

Компания разрабатывает программное обеспечение для автоматизированных инженерного анализа и моделирования на базе конечно-элементного анализа, которое прогнозирует поведение изделия в реальных условиях.

## MSC SOFTWARE (является частью Hexagon AB)



Адрес: 4675 MacArthur Court, Newport Beach, CA, 92660

Телефон: (714) 540-89-00

E-mail: [info-msc@mscsoftware.com](mailto:info-msc@mscsoftware.com)

Сайт: <https://www.mscsoftware.com/>

Компания разрабатывает программное обеспечение для автоматизированных инженерного анализа, а также программные продукты и системы в области информационных технологий, использование которых повышает эффективность разработки новых изделий и производства продукции.

**ALTIUM LLC**



Адрес: 4225 Executive Square, Level 7, La Jolla, CA 92037, USA  
Телефон: +1 858-864-1500  
E-mail: [info.na@altium.com](mailto:info.na@altium.com)  
Сайт: <https://www.altium.com/>

Компания занимается исследованиями и разработками в области проектирования печатных плат. Результатом этого является её флагманский продукт Altium Designer — САПР для печатных плат, который является наиболее распространённым на рынке решением для проектирования печатных плат.

**FREECAD**



Адрес: -  
Телефон: -  
E-mail: -  
Сайт: <https://www.freecadweb.org/>

Компания разрабатывает программу трёхмерного параметрического моделирования с открытым исходным кодом для проектирования объектов реального. FreeCAD позволяет конвертировать рабочие файлы в открытые форматы файлов, такие как STEP, IGES, STL, SVG, DXF, OBJ, IFC, DAE и многие другие. FreeCAD разработан для выполнения широкого спектра задач в области промышленного дизайна, машиностроения и архитектуры.

**SILVACO, INC.**



Адрес: 2811 Mission College Boulevard, 6th floor,  
Santa Clara, CA 95054  
Телефон: (408) 567-10-00  
E-mail: [sales@silvaco.com](mailto:sales@silvaco.com)  
Сайт: <https://silvaco.com/>

Компания разрабатывает программное обеспечение для проектирования полупроводников. Программные решения компании направлены на разработку поведения полупроводников на молекулярном уровне, влияющего на полупроводниковые устройства, на проектирование и анализ транзисторных схем и на проектирование систем на кристалле.

ONSHAPE, INC. (является частью PTC, Inc.)



Адрес: 121 Seaport Boulevard, Boston, MA, 02210

Телефон: +1-844-667-4273

E-mail: -

Сайт: <https://www.onshape.com/en/>

Первая платформа автоматизированного проектирования (САПР), которая работает по бизнес-модели «Программное обеспечение как услуга» (SaaS). Она объединяет надёжное автоматизированное проектирование с инструментами для управления данными и совместной работы.

GRAEBERT GMBH



Адрес: Nestorstraße, 36a, 10709 Berlin, Germany

Телефон: +49 (0)30 896 903 89

E-mail: [info@graebert.com](mailto:info@graebert.com)

Сайт: <https://www.graebert.com/>

Компания разрабатывает программное обеспечение, которое объединяет САПР для настольных компьютеров, мобильных устройств и облачных сред в единую комплексную экосистему.

Технологии САПР, которые разрабатывает Graebert, доступны в качестве платформы, которая позволяет разработчикам создавать самостоятельные приложения для автоматизированного проектирования.

INTELLICAD TECHNOLOGY CONSORTIUM



Адрес: 10260 SW Greenburg Road, Suite 400, Portland, Oregon 97223

Телефон: 1-503-293-7655

E-mail: [press@intellcad.org](mailto:press@intellcad.org)

Сайт: <https://www.intellcad.org/>

Консорциум работает над созданием платформы для совместной работы в области автоматизированного проектирования.

#### IMSI Design, LLC



Адрес: IMSI Design, LLC, 384 Bel Marin Keys Blvd. Suite 150,  
Novato, CA 94949  
Телефон: 415.483.8000  
E-mail: intl@imsidesign.com  
Сайт: <https://www.turbocad.com/>

Компания разрабатывает систему автоматизированного проектирования TurboCAD и DesignCAD, а также разрабатывает программное обеспечение автоматизированного проектирования для мобильных устройств.

#### SAP SE



Адрес: Dietmar-Hopp-Allee 16, 69190, Walldorf  
Телефон: +49-6227-74-7474  
E-mail: -  
Сайт: <https://www.sap.com/index.html>

Первоначально известная своим программным обеспечением для планирования ресурсов предприятия (ERP), SAP сегодня является лидером на рынке комплексных корпоративных приложений, баз данных, аналитики, интеллектуальных технологий и интеллектуальных помощников.  
Также компания разрабатывает платформу для Индустрии 4.0.

#### IFS AB



Адрес: Teknikringen 5 Box 1545 Linköping,  
SE-58115 Sweden4  
Телефон: 46-013-460-36-00  
E-mail: -  
Сайт: [www.ifsworld.com](http://www.ifsworld.com)

Компания разрабатывает программное обеспечение для интеллектуального управления ресурсами предприятия – ERP-систему IFS Applications.

## ORACLE CORP.



Адрес: 500 Oracle Parkway Redwood City, CA,  
94065, United States

Телефон: 1-650-506-7000

E-mail: -

Сайт: <https://www.oracle.com>

Компания специализируется на выпуске систем управления базами данных, связующего программного обеспечения, бизнес-приложений, таких как ERP- и CRM-системы, и специализированных отраслевых приложений. Наиболее известным продуктом компании является Oracle Database, который компания выпускает с момента основания. В 2008 году компания начала выпуск интегрированных аппаратно-программных комплексов, а в 2009 году, после поглощения Sun Microsystems, стала производить серверное оборудование.

Также компания ведёт исследования в области:

- искусственного интеллекта;
- интернета вещей;
- технологии блокчейн.

## BENTLEY SYSTEMS, INC.



Адрес: 685 Stockton Drive Exton, PA 19341  
United States

Телефон: 1-610-458-5000

E-mail: -

Сайт: [www.bentley.com](http://www.bentley.com)

Компания разрабатывает программное обеспечение, которое объединяет САПР для настольных компьютеров, мобильных устройств и облачных сред в единую комплексную экосистему.

Технологии САПР, которые разрабатывает Graebert, доступны в качестве платформы, которая позволяет разработчикам создавать самостоятельные приложения для автоматизированного проектирования.

## РОССИЙСКИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ

### ООО «НТЦ ГеММа»



Адрес: 140181, г. Жуковский, ул. Московская, д. 8/1,  
Московская область

Телефон: +7 (495) 97-225-97

E-mail: [gemma@gemma.ru](mailto:gemma@gemma.ru)

Сайт: <https://gemma.ru/>

Основное направление деятельности — это разработка, внедрение и поддержка программно-технологических средств для обеспечения функционирования цифрового машиностроительного производства.

Основной программный продукт — это CAD/CAM система «ГемМа-3D», предназначенная для разработки управляющих программ и автоматизации программирования обработки деталей на станках с ЧПУ и другом цифровом оборудовании.

**ООО «СПРУТ-Технология»**



Адрес: 423816, Россия, г. Набережные челны,  
проспект Вахитова, дом 54 г, пом 1005  
Телефон: 8 (800) 302-96-90  
E-mail: info@sprut.ru  
Сайт: <https://sprut.ru/>

Разрабатывает и внедряет системы автоматизации подготовки производства. Компания разработала первую в России систему подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ на персональных компьютерах и первую в мире САМ-систему, основанную на NURBS-ядре. Высокий уровень, функциональность и эффективность программного обеспечения вызывает интерес зарубежных компаний. На сегодняшний день компания имеет более 90 дилеров по всему миру: в Японии, США, Канаде, Германии, Англии, Франции, Испании, Швейцарии, Италии, в странах восточной Европы и Азии.

**ООО «ФИОРД-ПРО»**



Адрес: 199034, Санкт-Петербург, В.О.  
17-ая линия д. 4-6  
Телефон: +7 (812) 323-62-12  
E-mail: sales.hardware@fiord.com  
Сайт: <https://fiord.com/>

Разрабатывает программные и аппаратные средства для встраиваемых систем, систем промышленной автоматизации, автоматизации зданий и систем специального назначения. Также разрабатывает программные средства для операционных систем реального времени.

**ГК «Адепт»**



Адрес: 603057, г. Нижний Новгород,  
пр. Гагарина, д. 50, корп. 9, 4 этаж  
Телефон: 8 (800) 333-27-17, 8 (831) 464-97-77  
E-mail: info@gk-adept.ru  
Сайт: <https://gk-adept.ru/>

Ведущий российский разработчик и поставщик программного обеспечения для строительной отрасли. Компания осуществляет полный цикл работ по разработке, внедрению, обучению, консультированию, сопровождению и поставке программного обеспечения заказчикам.

#### ООО «НОВОСОФТ РАЗВИТИЕ»



Адрес: 630090, г. Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, д. 4  
Телефон: +7 (383) 363-00-90  
E-mail: office@novosoft.ru  
Сайт: <http://www.novosoft.ru/>

Разработка высокотехнологичной ERP платформы NERPA, которая разработана на основе единой модели данных и предназначена для планирования ресурсов предприятия. Платформа NERPA имеет модульную архитектуру и управляется через Web-интерфейс.

Компания предоставляет консалтинговые услуги по всем аспектам внедрения и эксплуатации информационных систем на предприятии:

- анализ бизнес-процессов;
- разработка требований к системе заказчика;
- внедрение ИТ-систем;
- анализ эффективности ИТ-служб;
- создание концепции развития ИТ-инфраструктуры.

#### КОМПАНИЯ «БИЗНЕС ТЕХНОЛОГИИ»



Адрес: 197341, г. Санкт-Петербург,  
Коломяжский пр., д. 33  
Телефон: +7 (812) 633-07-33  
E-mail: global@global-system.ru, support@bitec.ru,  
webmaster@bitec.ru  
Сайт: <https://global-system.ru/>

Компания разрабатывает информационную систему для автоматизации производства, торговли, склада, ремонтов, финансов и управления персоналом.

#### АО «АСКОН»



Адрес: Россия, 199155, Санкт-Петербург,  
ул. Одоевского, д. 5, литера «А»  
Телефон: +7 (812) 703-39-30, +7 (812) 703-39-34  
E-mail: info@ascon.ru  
Сайт: <https://ascon.ru/>

Компания разрабатывает системы проектирования, управления жизненным циклом изделия (PLM), управления нормативно-справочной информацией (MDM) и ИТ-поддержки качества продукции (QM), системы проектирования и управления проектными работами. В основе решений лежат достижения российской математической школы: одно из нескольких ядер геометрического моделирования в мире и единственное коммерческое в России создано АСКОН.

#### НТЦ «АПМ»



Адрес: 141070, Московская область,  
Королев, Октябрьский бульвар, д. 14, офис №6  
Телефон: +7 (495) 120-58-10  
E-mail: com@apm.ru  
Сайт: <https://apm.ru/>

Ведущий российский разработчик и поставщик программного обеспечения для инженерных расчётов. С 1992-го года разрабатывает программное обеспечение для инженерного анализа конструкций – CAE. Компания предлагает две линейки программных продуктов АРМ для выполнения расчётов в области машиностроения и строительства, которые включены в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных. В 2011-м году компания получила статус резидента Инновационного центра «Сколково».

#### ООО «ЭЛЕМЕНТ»



Адрес: 197110, Санкт-Петербург,  
ул. Барочная, д. 10, к. 1, лит. А, офис 308  
Телефон: +7 (812) 318-40-21  
E-mail: office@element-soft.com  
Сайт: <http://www.element-soft.com/>

Компания специализируется на создании открытых программных продуктов и оказывает полный цикл услуг по их проектированию, разработке и внедрению. Специалисты компании имеют практический опыт работы с широким спектром информационных технологий, программных и аппаратных платформ. Реализация проектов в компании ведётся с применением современных инструментальных средств и методологий разработки программного обеспечения. Компания разрабатывает программные продукты для:

- атомного комплекса;
- топливно-энергетического комплекса;
- сельского хозяйства;
- «умного» города.

А также разрабатывает платформу IIoT.

#### ООО «РЕНГА СОФТВЭА»



Адрес: 7-я линия В.О., д. 44, Санкт-Петербург, Россия  
Телефон: +7 (812) 703-10-11  
E-mail: info@rengabim.com  
Сайт: <https://rengabim.com/>

Совместное предприятие компании АСКОН и фирмы «IC», которое разрабатывает программные продукты для проектирования зданий и сооружений в соответствии с ТИМ. Являясь первым отечественным разработчиком BIM-решений, компания разрабатывает продукты для трёхмерного проектирования с удобным функционалом, интуитивно-понятным интерфейсом и доступной стоимостью. Вся документация, создаваемая в программе, соответствует используемой в России нормативной базе. Продукты компании предназначены для комплексного проектирования: созданная в системе Renga информационная модель объекта строительства может использоваться на других этапах жизненного цикла.

## ООО «ЛЕДАС»



Адрес: Новосибирск, 630090, Россия,  
ул. Николаева, 11/5  
Телефон: +7 (383) 363-07-37  
E-mail: info@ledas.com  
Сайт: <https://ledas.com/ru/>

Компания разрабатывает инженерное программное обеспечение на заказ:

- CAD;
- CAM/MRP;
- BIM/AEC;
- Цифровая медицина.

Компания разрабатывает также собственные продукты:

- LEDAS Cloud Platform. Платформа для быстрого создания компаниями приложений, связанных с 3D моделированием и доведения их до стадии готового решения. LEDAS Cloud Platform не ограничиваются конкретной сферой; эта 3D технология может использоваться для решений из области цифровой медицины, BIM проектирования, CAD и в других областях;
- Геометрические решатели LGS 2D и LGS 3D, которые

предназначены для решения геометрических ограничений. LGS признан вторым в отрасли после лидера рынка D-Cubed от Siemens PLM Software и лицензирован более чем десятью поставщиками инженерного программного обеспечения, включая Cimatron (является частью 3D Systems), CD-adapco (является частью Siemens PLM Software) и АСКОН. Права интеллектуальной собственности на LGS 2D и 3D в 2011 году были проданы бельгийской компании Bricsys, которая с 2018 года является подразделением корпорации Hexagon AB.

## МОСКОВСКИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ

## ЗАО «ТОП СИСТЕМЫ»



Адрес: г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 1  
Телефон: +7 (499) 973-20-34, +7 (499) 973-20-35  
E-mail: [tflex@topsystems.ru](mailto:tflex@topsystems.ru)  
Сайт: <https://www.tflex.ru/>

Один из ведущих российских разработчиков комплексных решений автоматизации проектирования, подготовки и управления производством. На рынке САПР компания работает с 1992 года.

Основная разработка «Топ Систем» — программный комплекс T-FLEX PLM (CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM/CRM/PM/MDM/RM) — полномасштабное решение промышленного уровня для организации работ, связанных с информационной поддержкой и сопровождением жизненного цикла изделия (PLM) — от заказа на разработку до испытаний и передачи в эксплуатацию. В основе комплекса лежит MDM-ориентированная отечественная PLM-платформа. Комплекс T-FLEX PLM позволяет организовать единую среду конструкторского и технологического проектирования, подготовки и управления производством, сбытом и послепродажным сопровождением изделия.

**ООО «АДЕМ-ИНЖИНИРИНГ»**



Адрес: 107497, Россия, г.Москва, ул. Иркутская 11,  
корп. 1, офис 244  
Телефон: +7 (495) 462-01-56, +7 (495) 502-13-41  
E-mail: moscow@adem.ru  
Сайт: <https://adem.ru/>

Основным направлением деятельности группы компаний АДЕМ является автоматизация проектной конструкторско-технологической подготовки производства и управление инженерными данными на базе современных программно-технических комплексов для сквозного цикла проектирования и изготовления.

**АО «НАНОСОФТ»**



Адрес: 108811, г. Москва, Румянцево, 22-й км  
Киевского ш., д. 4, стр. 1А, оф. 508А  
Телефон: +7 (495) 645-86-26  
E-mail: nano@nanocad.ru  
Сайт: <https://www.nanocad.ru/>

Создание инновационных методов разработки и распространения программного обеспечения. Цель компании — это создание отечественного доступного САПР для массового перехода от использования нелицензионного программного обеспечения САПР к цивилизованной работе с легальными продуктами. Поэтому значительное место среди разработок компании занимают бесплатные продукты.

**ООО «ТЕСИС»**



Адрес: 127083, Россия, Москва, ул. Юннатов,  
дом 18, 7-й этаж, оф. 705  
Телефон: +7 (495) 612-44-22,  
+7 (495) 612-42-62, +7 (495) 612-81-09  
E-mail: info@tesis.com.ru  
Сайт: <https://tesis.com.ru/>

Компания является одним из ведущих российских разработчиков и поставщиков инженерных решений для промышленных предприятий, исследовательских организаций, ВУЗов.  
Компания разрабатывает инженерное программное обеспечение в области CAD/CAM/CAE.  
Компания предлагает комплексные решения по современному оснащению и автоматизации конструкторских, расчетных и технологических подразделений во всех отраслях промышленности. Наряду с лучшими в своих областях программными продуктами ведущих

<sup>9</sup> Уравнения Навье–Стокса – это система дифференциальных уравнений в частных производных, описывающая движение вязкой ньютоновской жидкости. Уравнения Навье–Стокса являются одними из важнейших в гидродинамике и применяются в математическом моделировании многих природных явлений и технических задач. Названы по имени французского физика Анри Навье и британского математика Джорджа Стокса [74].

**ООО «КВАНТОРФОРМ»**



Адрес: 115088, г. Москва, 2-ой Южнопортовый проезд,  
дом 16, строение 2, этаж 1, комн. 101А, 101-108  
Телефон: +7 (499) 643-04-53  
E-mail: info@qform3d.com  
Сайт: <https://www.qform3d.ru/>

Компания разрабатывает программное обеспечение для расчёта больших пластических деформаций, которое широко применяется на отечественных и зарубежных предприятиях заготовительного и металлургического производства. Программное обеспечение компании специализировано для отладки оснастки и технологических процессов обработки металлов давлением, штамповки,ковки, раскатки колец, прокатки и прессования алюминиевых профилей.

**ГК «ЛОЦИЯ СОФТ»**



Адрес: Россия, 127422, г. Москва, Тимирязевская ул., д.1, стр. 2  
Телефон: +7 (495) 74-804-74, +7 (495) 74-803-74  
E-mail: sales@lotsia.com  
Сайт: <https://lotsia.com/>

Компания специализируется на разработке систем PLM/PDM/TDM/Workflow/ERP, оказании консалтинговых услуг, выполнении проектов автоматизации предприятий «под ключ», реинжиниринге бизнес- и проектных процессов в промышленности, внедрении систем технического документооборота и управления производством, автоматизации торговой деятельности средних и крупных территориально-распределённых торговых домов и холдингов различного профиля. Программное обеспечение компании по состоянию на апрель 2020 г. используется более чем на 1200 предприятиях, представляющих 30 отраслей.

фирм мира, компания предлагает собственные программные продукты, отвечающие новизной и высоким уровнем исполнения.

В частности, ООО «Тесис» разрабатывает FlowVision. Это CAE-система для вычислений в области аэро-, гидро- и газовой динамики, которая моделирует течение жидкости и газа в любых промышленных и природных объектах с учётом физических эффектов – турбулентность, теплопередача, фазовые переходы, горение и прочее. Принцип вычислений основан на численном решении уравнений Навье-Стокса, описывающих движение жидкости и газа.

### ООО «КОМПАНИЯ «КРЕДО-ДИАЛОГ»



Адрес: 115230, г. Москва, проезд Хлебозаводский,  
д. 7, стр. 9, пом. XII, ком. 6Р  
Телефон: +7 (499) 350-73-15, +7 (499) 961-61-02  
E-mail: moscow@credo-dialogue.com  
Сайт: <https://credo-dialogue.ru/>

Программное обеспечение Lotsia PDM PLUS включено 16 мая 2016 г. за № 739 в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных. Приказ Минкомсвязи России от 13.05.2016 г. Качество программного обеспечения Lotsia PDM PLUS подтверждено сертификатом Госстандарта.

Разрабатывает программные продукты КРЕДО и входит в число ведущих разработчиков отечественного инженерного ПО для производства инженерных изысканий и проектирования объектов транспортного строительства и ПГС. Программы КРЕДО стали основой технологических процессов более чем 12 000 производственных организаций и включены в образовательные программы свыше 300 технических вузов и колледжей.

Программные продукты КРЕДО внесены в единый реестр российских программ для ЭВМ и баз данных Минкомсвязи РФ.

Технологии КРЕДО активно используются для:

- обработки материалов инженерных изысканий;
- проектирования объектов промышленного, гражданского и транспортного строительства;
- разведки, добычи и транспортировки нефти и газа;
- создания и ведения крупномасштабных цифровых планов городов и промышленных предприятий;
- подготовки данных для землеустройства и геоинформационных систем;
- решения многих других инженерных задач.

ООО «ДАТАДВАНС»

**DATADVANCE**

Адрес: 117246, Москва, Научный проезд, д. 17,  
15й этаж, офис XXXI  
Телефон: +7 (495) 669-68-15  
E-mail: [info@datadvance.net](mailto:info@datadvance.net)  
Сайт: <https://www.datadvance.net/ru/>

Разработка программного продукта рSeven, позволяющего сократить временные и финансовые затраты на создание инновационных продуктов, а также повысить их качество и технические характеристики. рSeven используется в целях автоматизации инженерных процессов и оптимизации конструктивных решений. рSeven обеспечивает не только бесшовную интеграцию с различными программными продуктами, но и удобство в использовании благодаря интеллектуальным алгоритмам, реализованным в алгоритмическом ядре рSeven Core. Инженеры аэрокосмической, автомобильной и других отраслей применяют методы оптимизации и анализа данных, которые прежде были доступны только для специалистов в области математики. С 2010 года DATADVANCE является резидентом инновационного фонда «Сколково».

ООО «ЭРЕМЕКС»

**EREMEX**

Адрес: г. Москва, ул. Профсоюзная 108  
Телефон: +7 (495) 232-18-64  
E-mail: [info@eremex.ru](mailto:info@eremex.ru)  
Сайт: <https://www.eremex.ru/>

Разрабатывает программное обеспечение для автоматизации проектирования радиоэлектронной аппаратуры:

- высокопроизводительный топологический трассировщик печатных плат Topological Router (TopoR);
- пакет моделирования электронных схем и схемотехнического проектирования SimOne;
- инновационная операционная система реального времени для встраиваемых систем с ограниченными ресурсами – FX-RTOS;
- САПР разработки электронных устройств Delta Design, который является первой отечественной разработкой, обеспечивающей сквозной цикл проектирования.

ООО «СЗД ЛАБС»



Адрес: Алтуфьевское шоссе, д. 1, офис 112  
127106, г. Москва, Россия  
Телефон: +7 (495) 783-25-59  
E-mail: [info@c3dlabs.com](mailto:info@c3dlabs.com)  
Сайт: <https://c3dlabs.com/ru/>

Разрабатывает геометрическое ядро – ключевой компонент для создания инженерного программного обеспечения. Компания разрабатывает единственное в России коммерческое геометрическое ядро и одно из пяти коммерческих ядер в мире, доступных для лицензирования.

## ГК «НЕОЛАНТ»

Инжиниринг, IT, инновации  
**НЕОЛАНТ®**  
Мир. Страна. Регион. Город

Адрес: 105062, Россия, Москва, Покровка, 47 А  
Телефон: +7 (499) 999-00-00  
E-mail: [info@neolant.com](mailto:info@neolant.com)  
Сайт: <http://www.neolant.su/>

Компания предоставляет решения для управления жизненным циклом промышленных объектов и осуществляет комплексную поддержку управления регионами и предприятиями в России и мире. Также компания предоставляет услуги по направлениям:

- разработка и внедрение российских ГИС, САПР и PLM платформ;
- проектирование, конструирование, изготовление;
- разработка государственных и корпоративных информационных систем для мониторинга, анализа и прогнозирования;
- имитационное моделирование территорий и предприятий.

## РФЯЦ ВНИИЭФ



Адрес: 119180, Россия, г. Москва,  
1-й Хвостов переулок, д. 3А, с. 2  
Телефон: +7 (499) 949-44-86 доб. 2011  
E-mail: [rcr-digital@rosatom.ru](mailto:rcr-digital@rosatom.ru)  
Сайт: <http://logos.vniief.ru/>

Разработка программного обеспечения для комплексного суперкомпьютерного моделирования инженерных и научных систем и процессов на статическую и динамическую прочность, разрушение и деформацию. Программное обеспечение «Логос» позволяет моделировать процессы аэро-, гидро- и газодинамики, турбулентного перемешивания, распространения тепла в твёрдом теле, тепловой конвекции, переноса излучения, течения в пористой среде. В пакете «ЛОГОС» реализованы физико-математические модели для расчёта указанных процессов. «ЛОГОС» ориентирован на применение эффективных численных методов с использованием неструктурированных сеток, состоящих из произвольных многогранников.

## АО «ЭСДИАЙ СОЛЮШЕН»

**SDI Solution**  
semantic data integration

Адрес: 27254, г. Москва, ул. Добролюбова, д. 3, стр. 1,  
Бизнес Центр «Бастион-Капитал», оф. 414  
Телефон: +7 (495) 740-20-42  
E-mail: [info@sdi-solution.ru](mailto:info@sdi-solution.ru)  
Сайт: <http://sdi-solution.ru/>

Компания разрабатывает и внедряет системы управления корпоративной нормативно-справочной информацией (MDM), системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САРР), системы трудового и материального нормирования. ООО «ЭСДИАЙ РИСЁЧЬ», дочерняя компания АО «ЭСДИАЙ СОЛЮШЕН», является резидентом ИЦ «Сколково» и работает над разработкой системы семантического управления корпоративными справочными данными на предприятиях машиностроительного профиля. Проект направлен на создание семантической MDM (master data management) нового поколения, адаптированной к условиям машиностроительных производств и оперирующей правилами поведения и взаимодействия технологических объектов.

#### АО «НИИТЕПЛОПРИБОР»



Адрес: Проспект Мира, д. 95, Москва, 129085  
Телефон: +7 (495) 615-21-90  
E-mail: [info@niiteplopribor.ru](mailto:info@niiteplopribor.ru)  
Сайт: <https://niiteplopribor.ru/>

Компания является ведущей научной организацией в России по комплексному решению теоретических, исследовательских и прикладных задач в области создания средств измерений, контроля, учёта, автоматического регулирования и управления энергетическими установками и технологическими процессами любой сложности. Исследования и разработки института направлены на обеспечение энергетической и национальной безопасности страны.

Компания поставляет весь комплекс аппаратных и программных средств для автоматизации технологических процессов и обеспечивает «сдачу под ключ» АСУ ТП. Предприятие имеет соответствующую метрологическую базу и Аттестат аккредитации в области обеспечения единства измерений.

Институтом созданы и введены в эксплуатацию соответствующие современному уровню системы автоматизации более 140 крупных объектов электро- и теплоэнергетики (ГРЭС, ТЭЦ, РТС) в Москве, Костроме, Рязани и других городах России.

#### АО «КОРПОРАЦИЯ ГАЛАКТИКА»



Адрес: 123112, г. Москва, Пресненская  
набережная, д. 8, стр. 1  
Телефон: +7 (495) 252-02-55, +7 (495) 252-02-56  
E-mail: [market@galaktika.ru](mailto:market@galaktika.ru)  
Сайт: <https://galaktika.ru/>

Компания разрабатывает национальную платформу цифровизации для крупных предприятий, холдингов, государственных корпораций и бизнес-приложений по планированию и управлению производством, производственными активами и надёжностью.

ИТ-решения компании позволяют российским предприятиям повышать конкурентоспособность России и способствуют её переходу к цифровой экономике.

Программное обеспечение компании включено в реестр Минкомсвязи России.

Компания разрабатывает и внедряет системы: ERP; EAM; AMM; MES; MCM; CRM; HCM; ESB; ECM; ELMS; Галактика ВУЗ; Галактика РУЗ; Платформа Xafari.

ООО «1С»



Адрес: 127434, г. Москва, шоссе Дмитровское,  
д. 9 этаж / ком. 6/42  
Телефон: +7 (800) 333-72-27, +7 (495) 681-44-07  
E-mail: 1c@1c.ru, hline@1c.ru  
Сайт: <https://1c.ru/>

Компания специализируется на разработке, дистрибуции, издании и поддержке компьютерных программ делового и домашнего назначения. Из собственных разработок компании наиболее известны «1С:Предприятие» и «1С:Бухгалтерия».

Система программ «1С:Предприятие» состоит из технологической платформы — ядра, и разработанных на её основе прикладных решений — конфигураций.

«1С:Предприятие» предназначено для автоматизации бухгалтерского и управленческого учётов, включая начисление заработной платы и управление кадрами, экономической и организационной деятельности предприятия.

ООО «ЦЕНТР СПРУТ-Т»



Адрес: 111250, г. Москва,  
ул. Красноказарменная, д. 3, стр. 5  
Телефон: 8 (800) 775-84-22, 8 (495) 181-00-13  
E-mail: office@csprut.ru  
Сайт: <https://csprut.ru/>

Компания разрабатывает:

- Спрут-ОКП. Система планирования и управления производством;
- Спрут-ТП-Нормирование. Система проектирования и нормирования технологических процессов;
- SprutCAM. Система разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ;
- Спрут-АЭД. Система расчёта асинхронных электродвигателей.

ООО «1С-БИТРИКС»



Адрес: 109544, Россия, г. Москва,  
бульвар Энтузиастов, дом 2  
Телефон: +7 (495) 229-14-41  
E-mail: info@1c-bitrix.ru  
Сайт: <https://www.1c-bitrix.ru/>

Компания разрабатывает системы управления веб-проектами и корпоративными порталами.

По оценке «Forbes Россия» компания занимает 11 строчку самых дорогих компаний Рунета. «1С-Битрикс: Управление сайтом» на 2019 год является самой популярной коммерческой CMS по реальным установкам на сайтах по рейтингу iTrack. «Битрикс24» является самой популярной CRM в России. По результатам исследования рынка CRM в 2019 году, проведенного Институтом проблем предпринимательства и J'son & Partners Consulting, доля внедрения CRM.Битрикс24 в российских компаниях составляет 43,5%.

#### ООО «ИЦ ИАС»



Адрес: г. Москва, ул. Земляной Вал,  
д. 50А/8, стр. 2, 9 этаж  
Телефон: +7 (495) 180-25-57  
E-mail: info@ecias.ru  
Сайт: <https://www.ecias.ru/>

Компания реализует комплексные проекты в области информационных технологий, предоставляет инженеринговые услуги для предприятий гражданской промышленности, предприятий оборонно-промышленного и топливно-энергетического комплекса, а также ведёт деятельность в интересах финансового сектора экономики РФ.

Собственные разработки компании позволяют создавать единую сервис-ориентированную информационную среду, обеспечивающую доступ всех участников жизненного цикла к конструкторской документации, цифровым инженерным данным объекта или изделия, что обеспечивает оптимизацию бизнес-процессов,

сокращение издержек, повышение экономической эффективности предприятия и конкурентоспособности продукции.

Компания разрабатывает системы:  
BIM, ERP, ILS, PLM, АСУ ТП.

#### ООО «ВГТ»



Адрес: Большой бульвар, д. 42, стр. 1, Москва, Техно-парк «Сколково», 143026, Россия  
Телефон: +7 495 744-87-14  
E-mail: contact@wgt3d.com  
Сайт: <http://www.wgt3d.com>

Компания разрабатывает инновационную платформу для разработки web-приложений с интерактивной 3D-графикой для B2B и B2C решений, которые основаны на собственных технологиях оптимизации 3D-моделей и их интерактивной визуализации в среде web-браузеров.

Компания является резидентом Инновационного центра «Сколково».

Компания разрабатывает системы: CAD/CAE/PLM, BIM/AEC, IoT, SmartCity.

**ООО «ОПТИМЕНГА-777»**



Адрес: ул. Луговая, д. 4, Москва, Территория Инновационного центра «Сколково», 143026, Россия

Телефон: +7 (906) 954-67-70

E-mail: [optimenga777@gmail.com](mailto:optimenga777@gmail.com)

Сайт: <http://www.optimenga777.com/>

Компания разрабатывает инновационное аэродинамическое проектирование на основе суперкомпьютерных технологий:

- OPTIMENGA\_AERO. Позволяет оптимизировать формы аэродинамических крыльев, обладающих минимальным сопротивлением в задаваемых полётных условиях и удовлетворяющих заданным ограничениям;
- OPTIMENGA\_AERO\_WB. Позволяет оптимизировать формы аэродинамических крыльев с учётом фюзеляжа.
- OPTIMENGA\_AERO\_ANALYSIS. Позволяет проводить высокоточные расчёты вязких течений около аэродинамических тел сложной конфигурации, вплоть до полной модели самолёта. Компания осуществляет исследования в области оптимального аэродинамического проектирования при грантовой поддержке фонда «Сколково».

**ООО «ФИДЕСИС»**



Адрес: Большой бульвар, 42, стр. 1, офис 2.212, Москва, Территория Инновационного центра «Сколково», Россия

Телефон: +7 (495) 177-36-18

E-mail: [contact@cae-fidesys.com](mailto:contact@cae-fidesys.com)

Сайт: <https://cae-fidesys.com>

Компания разрабатывает инновационную CAE-систему, которая осуществляет полный цикл инженерных расчётов от построения расчётной сетки до визуализации результатов расчёта.

Компания имеет статус резидента Инновационного центра «Сколково» и является членом NAFEMS.

**ООО «ТЕХНОКРАТ»**



Адрес: 107370, г. Москва, Открытое шоссе, д. 14, Москва, Россия

Телефон: +7 (495) 630-16-18

E-mail: [technokrat-engineering@mail.ru](mailto:technokrat-engineering@mail.ru)

Сайт: [www.t-krat.ru](http://www.t-krat.ru)

Компания разрабатывает и внедряет автоматизированные системы управления технологическими процессами в промышленности и энергетике, в том числе и атомной:

- беспроводные устройства на базе технологии 6LoWPAN с IPv6 адресацией для построения для построения убиквитарных семантических сетей контроля и управления объектами промышленного или бытового назначения;
- полевые контроллеры телемеханики для нефтегазового сектора для построения автоматизированных систем управления;
- прикладное программное обеспечение для систем АСУ ТП;
- испытательные стенды для проведения прикладных исследований в области АСУ ТП.

#### ООО «ЦК СПА»



Адрес: 129085, г. Москва,  
ул. Годовикова, д. 9, стр. 12, этаж 1, пом. 1.1  
Телефон: +7 (495) 989-97-02  
E-mail: ckspa@mail.ckspa.ru  
Сайт: <https://ckspa.ru>

Компания разрабатывает собственную систему мониторинга состояния сварного шва scanSPA, которая представляет собой измерительную систему для бесконтактного распознавания и отслеживания соединительных стыков любого типа между деталями, а также построения 3D геометрии изделий. А также предоставляет услуги материалобработки с помощью лазеров и систем промышленной автоматизации.

#### ООО «АВТОМЕХАНИКА»



Адрес: 125362, а/я № 32, г. Москва,  
Строительный проезд, д. 7А, корп. 2, офис 10, Россия  
Телефон: +7 (499) 753-32-72  
E-mail: am@euler.ru  
Сайт: <http://www.euler.ru>

Компания организована специалистами НПО «Молния» — головного разработчика российского многоэтажного космического самолета «Буран», выполнявших работы по автоматизации проектирования перспективных авиационно-космических систем и их элементов, анализу их функционирования и прочностных расчетов.

Основные направления деятельности компании:

- разработка передовых информационных технологий автоматизированного математического моделирования сложных механических систем;
- проведение исследовательских работ по моделированию и динамическому анализу механических систем в различных областях техники.

Компания разрабатывает программный комплекс EULER для автоматизированного динамического анализа многокомпонентных механических систем, включающих в себя сложную кинематику, большие движения, жёсткие и деформируемые элементы конструкции, гидравлические, пневматические и электрические системы, системы управления и другие компоненты.

В программном комплексе EULER реализована оригинальная технология автоматизированного динамического анализа многокомпонентных механических систем.

ООО «ГИР»



Адрес: 127106, Москва, ул. Гостиничная, д. 5  
Телефон: +7 (495) 933-81-41  
E-mail: [giscomp@giscomp.ru](mailto:giscomp@giscomp.ru)  
Сайт: <http://giscomp.ru/en/>

Основным направлением деятельности компании являются научные исследования и экспериментальные разработки в области создания универсальных средств для проектирования и программирования информационных систем. Например, компания разработала мобильный адаптивный комплекс мониторинга станков с ЧПУ и аппаратно-программный комплекс контроля режущего инструмента, предназначенный для отслеживания появления дефектов режущего инструмента в ходе металлообработки и исследования процессов в зоне резания на основе видеоданных, полученных со специализированной видеокамеры.

С 2016 года компания является резидентом инновационного центра «Сколково». Входит в группу компаний СБСОФТ.

ООО «ГОЛОКРОН»



Адрес: 121205, Москва, Территория Инновационного центра «Сколково», Большой б-р, д. 42, стр. 1  
Телефон: -  
E-mail: -  
Сайт: <https://holocron.tech/>

Компания разрабатывает автоматизированную систему для контроля, диагностики и прогнозирования состояния технологических объектов и техники. Разработанная система осуществляет интеллектуальный анализ данных с датчиков (IIoT) и прогнозирует изменение состояния объектов при эксплуатации с целью сокращения расходов, рисков отказов и простоев. Компания является резидентом инновационного центра «Сколково» и дочерней компанией Infotech Group.

ООО «ИНТЕРАКТИВНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ»



Адрес: 121205, Москва, Территория Инновационного центра «Сколково», Большой б-р, д. 42, стр. 1  
Телефон: +7 (495) 120-42-37  
E-mail: [sale@cnc-vision.ru](mailto:sale@cnc-vision.ru)  
Сайт: <http://cnc-vision.ru>

Компания разрабатывает и внедряет программное обеспечение для мониторинга станочного парка промышленных предприятий. Основное отличие системы мониторинга CNC-Vision — это достоверность предоставляемой информации в каждый момент времени без участия персонала при её сборе. Система полностью автоматизирована и не требует аппаратного оснащения. Сбор данных выполняется напрямую из ЧПУ.

#### ООО «ИНСАТ»



Адрес: 123298, г. Москва, ул. Маршала Бирюзова, д. 1,  
корп. 3, Россия

Телефон: +7(495) 989-22-49, +7(800) 707-07-29

E-mail: [info@insat.ru](mailto:info@insat.ru)

Сайт: <https://insat.ru/>

Компания разрабатывает MasterSCADA. Это вертикально-интегрированный и объектно-ориентированный программный комплекс для разработки систем управления и диспетчеризации.

Компания ИНСАТ это:

- крупнейший поставщик программного обеспечения собственной разработки для систем автоматизации и диспетчеризации: SCADA-системы, SoftLogic-системы, ОРС-серверы, облачные решения;
- дистрибьютор оборудования ведущих брендов промышленной автоматизации: промышленные компьютеры, ПЛК, КИПиА;

- инженерный центр: выполнение проектов автоматизации и диспетчеризации любой сложности под ключ;
- центр обучения: подготовка специалистов по работе с программными продуктами ИНСАТ, а также инженеров-метрологов САР.

#### АО «ИНФОТЕХ ГРУП»



Адрес: ул. Поклонная, д. 3а, БЦ Poklonka Place, корпус  
Е4, 6 этаж | 117218, г. Москва, ул. Новочерёмушкинская,  
д. 39 корп. 2 ком. 1

Телефон: +7 (495) 227-62-22

E-mail: [info@infotech.group](mailto:info@infotech.group)

Сайт: <https://infotech.group/ru>

Компания разрабатывает программное обеспечение для автоматизации технологических, функциональных и бизнес-процессов государственных структур, крупных корпораций, среднего и малого бизнеса.

Решения компании:

- прогнозирование состояния и отказов промышленного оборудования;
- автоматизация энергосетевых компаний;
- автоматизация деятельности охранных предприятий;
- геомониторинг и управление лесным хозяйством;
- интеллектуальный автомониторинг для средних и крупных предприятий;
- управление закупками для государственных, муниципальных и коммерческих компаний.

Также компания разрабатывает платформу Infotech, в

**ЗАО «КОМПАНИЯ ИНФОРМКОНТАКТ»**

# ALFA *system*

Адрес: Россия, г. Москва, ул. Маршала Рыбалко, д. 4

Телефон: +7 (495) 602-06-06

E-mail: [post@alfasystem.ru](mailto:post@alfasystem.ru)

Сайт: <https://alfasystem.ru/>

которую входят:

- Intellect. Инструмент предиктивной аналитики в реальном времени;
  - Reference. Система управления справочными данными. Относится к классу MDM-систем;
  - 4Sides. Система автоматизации технического обслуживания и планово-предупредительного ремонта.
- Все программные продукты компании включены в реестр российского программного обеспечения.

Компания создаёт системы автоматизации управления предприятиями. Продукты компании востребованы там, где в производстве участвует много подразделений, изделия состоят из множества деталей и сборочных единиц, работают тысячи сотрудников, взаимодействуют десятки различных служб.

Для этого компания разработала ALFA system — экосистему для оперативного и стратегического управления. ALFA system «из коробки» учитывает большинство нюансов крупных предприятий. Заказчик получает не только продукт, но и концепцию управления предприятием с его помощью.

Экосистема ALFA system состоит из:

- ALFA hrms. Система управления персоналом;
- ALFA ims. Система управления производством;
- ALFA eco. Экологическая безопасность.

#### ООО «ПИРСС»



Адрес: 143026, г. Москва, Территория Сколково инновационного центра, ул. Нобеля, д. 7, этаж. 4, часть 14  
Телефон: +7 (495) 118-42-98  
E-mail: info@dbricks.ru  
Сайт: <https://www.dbricks.ru/>

Компания разрабатывает программное обеспечение для снижения трудоёмкости, обеспечения прозрачности и повышения качества процессов разработки комплексов бортового оборудования современных летательных аппаратов, судов, железнодорожного транспорта, систем автоматизации производства за счёт:

- уменьшения трудоёмкости разработки сложных электронных систем в общем и комплексов бортового оборудования в частности;
- сокращения издержек по тестированию и вводу в эксплуатацию разрабатываемых систем;
- повышения качества разрабатываемых документов.

В 2016 году компания получила статус участника фонда Сколково в кластере космических технологий.

#### АО «СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ»



Адрес: 117393, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 78, стр. 1  
Телефон: +7 (495) 332-93-89  
E-mail: mail@oaosu.ru  
Сайт: <http://www.oaosu.ru/>

Интегрированная структура «Системы управления» была создана указом Президента Российской Федерации от 3 ноября 2010 № 1324 и распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 декабря 2010 № 2293. 100% акций предприятия принадлежат Российской Федерации. Миссия компании – сохранение и развитие научно-производственного и технологического потенциала предприятий оборонно-промышленного комплекса в области автоматизации систем управления и связи в интересах обеспечения обороноспособности, безопасности и социально-экономического развития государства. Основная задача АО «Системы управления» – обеспечение потребностей государства и Вооруженных сил Российской Федерации в современных системах, комплексах и средствах управления (включая объекты

управления, средства управления, автоматизации и связи, специальные системы). Деятельность организации направлена на совершенствование научно-технического и экономического потенциала радиоэлектронной отрасли страны в интересах формирования эффективной системы государственного и военного управления с учетом задач по развитию современных средств разведки, управления и связи, ИТ – технологий.

В состав интегрированной структуры АО «Системы управления» входят 14 предприятий оборонно-промышленного комплекса. Предприятие осуществляет функции по координации, планированию и контролю деятельности участников интегрированной структуры. Цель участия акционерных обществ в интегрированной структуре – сохранение и развитие науч-

#### ООО «3В СЕРВИС»



Адрес: Москва, ул. Трубная, д. 25, Россия

Телефон: +7 (495) 221-22-53

E-mail: [info@3v-services.com](mailto:info@3v-services.com)

Сайт: <http://www.3v-services.com/#main>

но-производственного и технологического потенциала предприятий оборонно-промышленного комплекса в области автоматизации управления и связи в интересах обороноспособности, безопасности и социально-экономического развития государства. Компания разрабатывает, производит и внедряет программно-аппаратных комплексов госуправления, контроля технологических процессов, безопасности и связи.

Компания разрабатывает специализированное программное обеспечение и оказывает услуги по математическому моделированию сложных технических объектов и внедрению программного комплекса «Среда динамического моделирования технических систем SimInTech» (№2379 в Едином реестре российских программ) для комплексного проектирования: от создания алгоритмов управления и отладки на математических моделях оборудования, до автоматизированной генерации программного обеспечения прибора и его удалённой отладки. Система автоматического проектирования автоматизированных/автоматических систем управления. SimInTech представляет собой среду динамического моделирования технических систем, предназначенную для расчётной проверки работы системы управления сложными техническими

объектами. SimInTech осуществляет моделирование технологических процессов в различных отраслях с одновременным расчётом системы управления и позволяет повысить качество проектирования систем управления за счёт проверки принимаемых решений на любой стадии проекта.

LCMS (lean construction management system) – это программный комплекс собственной разработки компании, который отвечает за подготовку и оптимизацию строительно-монтажных работ с помощью современных инструментов планирования и моделирования. LCMS обеспечивает участников строительства высокотехнологичными инструментами управления, а также разработку документов в бумажном и электронном виде в соответствии с потребностями участников стройки.

## ИТ-ПОСТАВЩИКИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 2020

ПРОЦЕССЫ ПЛАНИРОВАНИЯ/  
УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ  
И РЕСУРСАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ



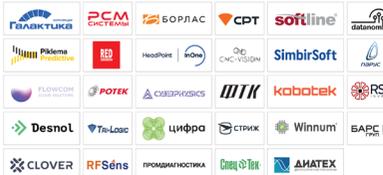
ОСНОВНЫЕ  
ПРОЦЕССЫ

Цифровые технологии проектирования / моделирования,  
производства и управления жизненным циклом

Цифровое моделирование, предиктивная аналитика



Управление производственными активами, ТОР



Мониторинг производства средствами компьютерного зрения, видеоаналитики и ИИ



Управление технологическими процессами



Управление жизненным циклом продукции



Цифровое проектирование и конструирование



Логистика, межзаводская кооперация



ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ  
ПРОЦЕССЫ

Безопасность, охрана труда,  
обучение персонала

Промбезопасность, охрана труда



Обучение персонала



ИТ-сервисы для  
промышленности

ИТ-сервисы общего профиля



Информационная безопасность



Карта разработана TADVISER при поддержке и

Рисунок 42 – Карта российских производителей и поставщиков инженерного программного обеспечения

## ПЕРЕЧЕНЬ ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

1. [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:Product\\_Lifecycle\\_Management](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:Product_Lifecycle_Management)
2. <https://plmrussia.ru/solution/>
3. [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=21264](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=21264)
4. [https://www.bigdataschool.ru/bigdata/digital-twin-plm-iot-big-data.html#:~:text=%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9%20%D0%B4%D0%B2%D0%BE%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20\(Digital%20Twin\)%20%E2%80%93,%D0%B8%D0%BC%2C%20%D0%BE%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%80%D1%83%D1%8F%20%D0%B1%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D1%81%2D%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8.](https://www.bigdataschool.ru/bigdata/digital-twin-plm-iot-big-data.html#:~:text=%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9%20%D0%B4%D0%B2%D0%BE%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20(Digital%20Twin)%20%E2%80%93,%D0%B8%D0%BC%2C%20%D0%BE%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%80%D1%83%D1%8F%20%D0%B1%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D1%81%2D%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8.)
5. Hirz Mario, Wilhelm Dietrich, Anton Gfrerrer, Johann Lang: Integrated Computer-Aided Design in Automotive Development. ISBN: 978-3-642-11939-2, Springer 2013.
6. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Computer-aided\\_engineering](https://ru.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_engineering)
7. Wylie, L. (1990) ERP: A Vision of the Next – Generation MRP II. Scenario S – 300 – 339, Gartner Group, 12 April.
8. Ameri, F., Dutta, D. (2005). Product lifecycle management: closing the knowledge loops. Computer-Aided Design & Applications, 2(5), 577-590.
9. The Differences among PDM, CPC and PLM Matter / Gartner Research. QA-18-1319 7 October 2002.
10. Product Life Cycle: the evolution of a paradigm and literature review from 1950-2009 / Hui Cao and Paul Folan.
11. Lakshminadh Javadi Product life cycle management. An introduction. Conference Paper. May 2011.
12. Product Lifecycle Management (Volume 3): The Executive Summary, John Stark. 2018. 137p.
13. Бойко Т.А. Анализ основных тенденций развития PLM-систем. «Инновации и инвестиции». № 5. 2020. Стр. 119-123.
14. Market Outlook: Product Lifecycle Management (PLM), 2018-2023, Worldwide / Quadrant Knowledge Solutions. December 2018.
15. <https://iot.ru/wiki/internet-veshchey>
16. <https://www.gartner.com/reviews/home>
17. The Top Three Product Lifecycle Management Trends Taking Shape Across the Digital Economy / Cognizant 20-20 Insights / 2019.
18. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования / И.П. Норенков. Учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. // М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. –336 с.
19. Куньву Ли. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) – СПб.: Питер, 2004. –560 с.
20. <https://www.osp.ru/cw/2003/39/69241>
21. С.А. Шустов, И.Н. Крупенич CALS/PLM-технологии. Электронное учебное пособие. Самара. 2013.
22. ГОСТ Р 56862-2016 Система управления жизненным циклом. Разработка концепции изделия и технологий. Термины и определения.
23. Р 50.1.031-2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Часть 1. Стадии жизненного цикла продукции.
24. <http://quaoar.su/blog/page/problemy-razvitija-geometricheskogo-modelirovanija-vne-kommercheskih-sapr>
25. R.T. Farouki, Closing the Gap between CAD Model and Downstream Application, SIAM News, vol. 32, no. 5, 1999, pp. 303-319.
26. <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/824459#:~:text=%D0%91%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5%20%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8%2C%20%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%B4%D0%B0%20%D1%82%D0%B0%D0%BA%D0%B6%D0%B5%20%D0%B1%D1%83%D0%BB%D0%B5%D0%B2%D1%8B,%D0%B4%D0%B8%D1%81%D0%BA%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0>

- %B5%20%D0%B8%20%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9%20%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%BA%D0%B5.
27. <https://www.tflexcad.ru/help/cad/16/3b.htm>
28. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B0\\_\(%D0%B3%D0%B5%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%8F\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B0_(%D0%B3%D0%B5%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%8F))
29. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B5%D0%BB>
30. ГОСТ 34.003-90 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения».
31. ГОСТ 23501.101-87 «Системы автоматизированного проектирования. Основные положения».
32. РД 250-680-88 «Методические указания. Автоматизированные системы. Основные положения».
33. <https://www.cfin.ru/vernikov/mrp/mrpmine.shtml>
34. [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:CALS\\_%D0%9D%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%B5%D1%80%D1%8B%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B6%D0%BA%D0%B0\\_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%BA\\_%D0%B8\\_%D0%B6%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE\\_%D1%86%D0%B8%D0%BA%D0%BB%D0%B0\\_%D0%B8%D0%B7%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%8F](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:CALS_%D0%9D%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%B5%D1%80%D1%8B%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B6%D0%BA%D0%B0_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%BA_%D0%B8_%D0%B6%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D1%86%D0%B8%D0%BA%D0%BB%D0%B0_%D0%B8%D0%B7%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%8F)
35. <https://www.cfin.ru/vernikov/mrp/mrpmine.shtml>
36. <https://www.upchain.com/blog/what-is-bill-of-materials-bom/>
37. <https://www.friedmancorp.com/frontier-software-overview/friedman-software-product-data-management-pdm/110-2/>
38. <http://www.management.com.ua/ims/ims211.html>
39. [https://salesap.ru/crm\\_sistemy\\_cho\\_eto/](https://salesap.ru/crm_sistemy_cho_eto/)
40. [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:SCM\\_\(Supply\\_Chain\\_Management\)\\_%E2%80%94%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5\\_%D1%86%D0%B5%D0%BF%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%B0%D0%BC%D0%B8\\_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%BA\\_\(%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5\\_%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%B0%D0%BC%D0%B8\)#:-:text=SCM%20\(Supply%20Chain%20Management\)%20%E2%80%94%D1%86%D0%B5%D0%BF%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%B0%D0%BC%D0%B8%20%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%BA%20\(%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%20%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%B0%D0%BC%D0%B8\)](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:SCM_(Supply_Chain_Management)_%E2%80%94%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%86%D0%B5%D0%BF%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%B0%D0%BC%D0%B8_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%BA_(%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%B0%D0%BC%D0%B8)#:-:text=SCM%20(Supply%20Chain%20Management)%20%E2%80%94%D1%86%D0%B5%D0%BF%D0%BE%D1%87%D0%BA%D0%B0%D0%BC%D0%B8%20%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%BA%20(%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%20%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%B0%D0%BC%D0%B8))
41. <https://www.oracle.com/ru/applications/erp/what-is-erp.html>
42. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D0%BB%D1%81%D1%82%D1%8B%D0%B9\\_%D0%BA%D0%BB%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82#:~:text=%D0%A2%D0%BE%D0%B%D1%81%D1%82%D1%8B%D0%B9%20%D0%BA%D0%BB%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82%20\(%D0%B0%D0%BD%D0%B3%D0%BB,%D1%84%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C%20%D0%BD%D0%B5%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%81%D0%B8%D0%BC%D0%BE%20%D0%BE%D1%82%20%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B0](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D0%BB%D1%81%D1%82%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%BB%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82#:~:text=%D0%A2%D0%BE%D0%B%D1%81%D1%82%D1%8B%D0%B9%20%D0%BA%D0%BB%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82%20(%D0%B0%D0%BD%D0%B3%D0%BB,%D1%84%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C%20%D0%BD%D0%B5%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%81%D0%B8%D0%BC%D0%BE%20%D0%BE%D1%82%20%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B0)

43. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D0%BD%D0%BA%D0%B8%D0%B9\\_%D0%BA%D0%BB%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D0%BD%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BA%D0%BB%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82)
44. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82\\_%E2%80%94%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B5%D1%80](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82_%E2%80%94%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B5%D1%80)
45. <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/248429>
46. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%8D%D1%88>
47. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%83%D1%84%D0%B5%D1%80\\_\(%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%83%D1%84%D0%B5%D1%80_(%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0))
48. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B0\\_%D0%93%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%B0](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B0_%D0%93%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%B0)
49. <https://vmasshtabe.ru/articles/osnovnyie-priemyi-kollektivnogo-proektirovaniya-v-kompas-3d.html>
50. [http://www.up-pro.ru/library/information\\_systems/project/plm-koncepciya.html](http://www.up-pro.ru/library/information_systems/project/plm-koncepciya.html)
51. Информационно-вычислительные системы в машиностроении CALS-технологии / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, В.В. Павлов, Л.В. Рыбаков - М.: Наука, 2003, 292 с.
52. [http://remmag.ru/admin/upload\\_data/remmag/07-4/Cryogenmash.pdf](http://remmag.ru/admin/upload_data/remmag/07-4/Cryogenmash.pdf)
53. [https://vbm.ru/upload/events\\_files/PLM-Expert-April-2018\\_tcm802-260591.pdf](https://vbm.ru/upload/events_files/PLM-Expert-April-2018_tcm802-260591.pdf)
54. [https://www.plm.automation.siemens.com/media/country/ru\\_ru/Magazine%20aviation\\_tcm66-64469.pdf](https://www.plm.automation.siemens.com/media/country/ru_ru/Magazine%20aviation_tcm66-64469.pdf)
55. <https://www.rosocosmos.ru/29018/>
56. <https://www.lanit.ru/press/smi/opyt-vnedreniya-plm-sistemy-v-ooo-iz-karteks-im-p-g-korobkova/>
57. [https://ideal-plm.ru/uEditor/files/4/primeri-vnedreniya\\_na\\_rossijskih\\_predpriyatiyah.pdf](https://ideal-plm.ru/uEditor/files/4/primeri-vnedreniya_na_rossijskih_predpriyatiyah.pdf)
58. <https://www.pdsvision.com/wp-content/uploads/2019/05/Quadrant-Market-Outlook.pdf>
59. <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2203.pdf>
60. [http://www.inesnet.ru/wp-content/mag\\_archive/2016\\_07/es2016-07-076-89\\_Pavel\\_Drogovoz\\_Oleg\\_Raldugin.pdf](http://www.inesnet.ru/wp-content/mag_archive/2016_07/es2016-07-076-89_Pavel_Drogovoz_Oleg_Raldugin.pdf)
61. [http://www.cioperm.ru/doc\\_2015/programsoyuz\\_buklet.pdf](http://www.cioperm.ru/doc_2015/programsoyuz_buklet.pdf)
62. <https://www.comnews.ru/content/114022/2018-07-19/rosteh-i-rosatom-sozdayut-plm-sistemu>
63. <https://plmrussia.ru/projects/>
64. <https://www.nanocad.ru/company/projects/opyt-vnedreniya-nanocad-spds-v-ao-novokuznetskiy-zavod-rezervuarnykh-metallokonstruktsiy-imeni-n-e-k/>
65. <https://www.nanocad.ru/company/projects/opyt-vnedreniya-sistemy-normacs-v-oao-admiralteyskie-verfi/>
66. <https://www.nanocad.ru/company/projects/opyt-vnedreniya-platformy-nanocad-v-oao-sibvami/>
67. <https://constructor.ru/solutions/967/>
68. <https://www.plm.automation.siemens.com/country/ru-ru/>
69. <https://www.3ds.com/ru/>
70. <https://www.ptc.com/ru/technologies/plm>
71. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5\\_%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%BC%D0%B8#:~:text=Master%20Data%20Management%2C%20MDM\)%20E2%80%94,\(%D0%B2%20](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%BC%D0%B8_%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%BC%D0%B8#:~:text=Master%20Data%20Management%2C%20MDM)%20E2%80%94,(%D0%B2%20)

- %D1%82%D0%BE%D0%BC%20%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%20%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%BC%D0%B8).
72. <https://www.datareon.ru/uslugi-integracii-informacionnyh-sistem/sozдание-edinoy-sistemy-upravleniya-nsi/master-data-management/>
73. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Enterprise\\_asset\\_management](https://ru.wikipedia.org/wiki/Enterprise_asset_management)
74. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F\\_%D0%9D%D0%B0%D0%B2%D1%8C%D0%B5\\_%E2%80%94%D0%A1%D1%82%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B0](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%9D%D0%B0%D0%B2%D1%8C%D0%B5_%E2%80%94%D0%A1%D1%82%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B0)
75. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F\\_%D0%B6%D0%B8%D0%B4%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B6%D0%B8%D0%B4%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C)
76. <https://realty.rbc.ru/news/5ca1ceff9a794758d0568b37>
77. ГОСТ Р МЭК 62264-1-2010 Интеграция систем управления предприятием. Часть 1. Модели и терминология
78. <https://habr.com/ru/post/473694/>
79. [https://www.hse.ru/data/2014/01/15/1326763087/%D1%81%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA\\_final6\\_new%20\(1\).pdf](https://www.hse.ru/data/2014/01/15/1326763087/%D1%81%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA_final6_new%20(1).pdf)
80. САПР для машиностроения и промышленного производства // Электротехника и электроника. Altium Designer [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://cad.ru/support/bz/archive/111/altium-designer/>



КОМПЛЕКС ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ  
И ИМУЩЕСТВЕННО-ЗЕМЕЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ  
ПРАВИТЕЛЬСТВА МОСКВЫ



ДЕПАРТАМЕНТ ИНВЕСТИЦИОННОЙ  
И ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ  
ГОРОДА МОСКВЫ

**АПР**

АГЕНТСТВО  
ПРОМЫШЛЕННОГО  
РАЗВИТИЯ МОСКВЫ

Государственное бюджетное учреждение города Москвы  
«Агентство промышленного развития города Москвы» (ГБУ «АПР»)



123995, г. Москва, ул. 1905 года, д. 7, стр. 1



8 (495) 909-30-69



[apr@develop.mos.ru](mailto:apr@develop.mos.ru)



[apr.moscow](http://apr.moscow)