

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

На правах рукописи

Кузнецов Владислав Андреевич

**Совершенствование методического обеспечения управления
качеством организационно-информационных процессов
конструкторско-технологической подготовки производства при
внедрении PDM-системы**

2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация.

Организация производства

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Хаймович Ирина Николаевна,
доктор технических наук,
профессор

Самара – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Анализ состояния управления качеством организационно-информационных процессов КТПП.....	9
1.1. КТПП как объект управления качеством.....	9
1.2. Проблемы организационно-информационного взаимодействия	17
1.3 PDM-системы в цифровом контуре КТПП.....	18
1.4. Выводы по главе 1	23
2 Разработка методики внедрения отечественной PDM-системы в КТПП.....	25
2.1 Концептуальная модель качества организационно-информационных процессов	25
2.2. Этапы методики внедрения PDM-системы	25
2.3. SADT/IDEF0-модель процесса внедрения PDM	27
2.4. Формирование информационной модели PDM-системы	37
2.5. Выводы по главе 2.....	72
3 Разработка критериев и интегрального индекса эффективности внедрения PDM-системы	73
3.1 Система критериев оценки внедрения PDM – системы в КТПП	73
3.2 Интегральный индекс готовности к тиражированию.....	77
3.4. Выводы по главе 3.....	78
4 Апробация методики и оценка готовности решения к тиражированию	79
4.1 Моделирование процессов КТПП	79
4.2 Методика внедрения PDM – системы на предприятии с использованием разработанной системы показателей качества организационно-технических процессов	81
4.3. Интеграция PDM-систем с другими цифровыми платформами предприятия в условиях внедрения PDM - систем	82
4.4. Расчёт экономии ресурсов при реализации проектов внедрения PDM - систем.....	86
4.5. Расчёты приоритетов и критериев оценки внедрения PDM-системы	98
4.6. Выводы по главе 4.....	106
Заключение	107
Перечень сокращений и обозначений	110
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	111
Приложение А	124

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Современное машиностроительное предприятие функционирует в условиях роста сложности выпускаемых изделий, сокращения сроков подготовки производства, повышения требований к прослеживаемости решений и необходимости обеспечения устойчивого качества продукции на всех стадиях её жизненного цикла. Существенная доля проблем качества конечной продукции формируется не только непосредственно в технологических операциях, но и на более ранних этапах конструкторско-технологической подготовки производства. К таким проблемам относятся использование неактуальной документации, несогласованность состава изделия и технологических маршрутов, дублирование инженерных данных, длительное согласование изменений, недостаточная прослеживаемость решений, а также разрывы информационных потоков между конструкторскими, технологическими, производственными и управленческими подразделениями.

Конструкторско-технологическая подготовка производства представляет собой совокупность взаимосвязанных организационных, технических и информационных процессов, результатом которых являются согласованные комплекты конструкторской и технологической документации, технологические процессы, оснастка, программы для оборудования с числовым программным управлением, нормативно-справочные данные и организационно-распорядительные документы. Эффективность КТПП во многом определяется качеством организации информационного взаимодействия между подразделениями, полнотой и актуальностью инженерных данных, а также возможностью оперативно управлять изменениями.

Одним из наиболее распространённых направлений цифровой трансформации КТПП является внедрение систем управления данными об изделии класса PDM. PDM-система обеспечивает централизованное хранение документов и моделей, управление версиями, классификацию объектов, разграничение прав доступа, поддержку электронных маршрутов согласования и интеграцию с CAD,

ERP и MES-средствами. Вместе с тем внедрение PDM-системы не сводится к установке программного продукта. Оно требует анализа и регламентации процессов, согласования информационных потоков, формирования структуры объектов и документов, настройки ролей, маршрутов и интеграционных интерфейсов, обучения пользователей и оценки достигнутых результатов.

Практика показывает, что отсутствие формализованной методики внедрения PDM-системы приводит к переносу в цифровую среду нерациональных процессов, созданию избыточных либо неполных классификаторов, сохранению дублирования данных и невозможности объективно оценить эффективность внедрения. Особенно актуальна данная проблема при переходе к отечественным программным решениям, когда одновременно решаются задачи функционального внедрения PDM - систем, адаптации организационных процессов и обеспечения совместимости с существующей цифровой инфраструктурой предприятия.

Для описания процессов КТПП широко применяется методология SADT/IDEF0. Она позволяет установить состав функций, входов, выходов, управляющих воздействий и механизмов. Однако функциональная модель сама по себе не обеспечивает формирования объектной архитектуры PDM-системы и не содержит средств комплексной оценки качества организационно-информационных процессов после внедрения. Поэтому актуальной является разработка методического обеспечения, связывающего функциональное моделирование, объектно-ориентированное описание архитектуры PDM-системы, настройку цифровых процессов и многокритериальную оценку эффективности полученного решения.

Степень разработанности темы исследования.

Проблемам организации и моделирования производственных процессов посвящены работы Д.В. Антипова [2-4], Г.Н. Калянова [40-41], А.А. Багриновского [6-11], И.Н. Хаймович, В.И. Ширяева, Дж. Форрестера, Э.Р. Харта и др. Решение проблем организации производственных процессов достигается обеспечением эффективного взаимодействия между сотрудниками предприятия в процессе организации производства изделия, что отражено в работах: М.В. Губко [27-34],

А.П. Караваева; Н.К. Жуковской [37-38]; А.А. Матвеева [53-54]; П.О. Скобелева [68]; А.О. Алексеева [1], Н.А. Коргина; Ю.М. Пантя [59]; Ю.А. Куксовой [50]; И.А. Бабаева [5]; П.А. Паршикова, В.К. Гулакова, А.К. Буйвала; В.М. Рамзаева [65, 66], И.Н. Хаймович [72-91] и других исследователей.

Значимый вклад в развитие инструментов оценки, мониторинга и управления качеством в автомобильной промышленности внесли отечественные специалисты: Д.В. Антипов, В.Е. Годлевский, А.В. Васильчук, Д.И. Благовещенский, В.Н. Козловский, А.Г. Ивахненко, Д.И. Панюков, Д.В. Айдаров, Х.А. Фасхиев, С.И. Клейменов, М.А. Полякова, С.А. Шанин, В.Л. Шпер, Г.Л. Юнак и др.

Вместе с тем существующие работы преимущественно посвящены отдельным аспектам: описанию процессов, проектированию информационных систем, разработке баз данных, настройке PDM/PLM-решений или расчёту частных экономических эффектов автоматизации. Недостаточно проработана единая методика внедрения PDM-системы в контур КТПП, в которой результаты SADT/IDEF0-моделирования последовательно преобразуются в объектно-ориентированную архитектуру PDM-системы, а эффект внедрения оценивается по взаимосвязанным временным, трудоёмким, качественным, интеграционным и инфраструктурным критериям.

Цель исследования – повышение результативности организационно-информационных процессов конструкторско-технологической подготовки производства на основе разработки и апробации методики внедрения отечественной PDM-системы, включающей процессное моделирование, объектно-ориентированное описание архитектуры и интегральную оценку результатов внедрения.

Задачи исследования:

1. Выполнен анализ проблем обеспечения качества организационно-информационных процессов КТПП и существующих подходов к внедрению PDM-систем.

2. Обосновано применение SADT/IDEF0-моделирования для формализации процессов КТПП и процесса внедрения PDM-системы.

3. Разработана методика внедрения PDM-системы, объединяющая функциональное моделирование процессов, формирование объектно-ориентированной архитектуры и оценку результатов внедрения.

4. Разработаны правила формирования перечней сущностей, документов и бизнес-процессов на основе результатов функционального моделирования.

5. Сформирован состав критериев оценки эффективности внедрения PDM-системы, включающий временные, трудоёмкие, качественные, интеграционные и инфраструктурные показатели.

6. Предложен интегральный индекс эффективности внедрения PDM-системы и правило принятия решения о готовности решения к тиражированию.

7. Реализация предложенных научно-технических решений и их внедрение в производственную практику.

Область исследования соответствует направлениям исследований паспорта научной специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства в части пунктов:

3. Научные основы и совершенствование методов стандартизации и менеджмента качества объектов и услуг на различных стадиях жизненного цикла продукции;

20. Анализ и синтез организационно-технических решений; стандартизация, унификация и типизация производственных процессов и их элементов;

23. Разработка и совершенствование методов и средств планирования и управления производственными процессами и их результатами».

Объектом исследования является организационно-информационные процессы конструкторско-технологической подготовки производства машиностроительного предприятия.

Предметом исследования являются методы, модели и критерии управления качеством организационно-информационных процессов КТПП при внедрении отечественной PDM-системы.

Методы исследования. В работе использованы методы системного анализа, процессного управления, функционального моделирования SADT/IDEF0, объектно-ориентированного моделирования, анализа иерархий, экспертного оценивания, многокритериальной оценки, статистической обработки результатов и проектирования информационных систем.

Научная новизна:

1. Разработана методика внедрения отечественной PDM-системы в контур КТПП, отличающаяся интеграцией SADT/IDEF0-моделирования процессов, объектно-ориентированного описания архитектуры PDM-системы и процедуры оценки достигнутых результатов, что обеспечивает управляемое повышение качества организационно-информационных процессов КТПП.

2. Сформирован состав критериев оценки эффективности внедрения PDM-системы, включающий временные, трудоёмкие, качественные, интеграционные и инфраструктурные показатели, отличающийся учётом как результативности цифровизации процессов, так и условий воспроизводимости решения в корпоративной информационной среде.

3. Предложен интегральный индекс эффективности, отличающийся связью нормированных групповых критериев с использованием весовых коэффициентов с дополненным условием готовности к тиражированию, что позволяет обосновывать целесообразность распространения PDM-решения на смежные контуры предприятия.

Практическая значимость заключается в возможности применения разработанной методики при внедрении и развитии отечественных PDM-систем на машиностроительных предприятиях. Методика позволяет сократить трудоёмкость предпроектной подготовки, формализовать состав объектов и документов PDM-системы, повысить прозрачность процессов согласования, обеспечить прослеживаемость изменений и обосновывать решения о распространении цифрового решения на смежные контуры.

Практическая значимость результатов подтверждается актом внедрения ООО «Аскон-Самара», удостоверяющим внедрение результатов работы

В.А. Кузнецова, связанных с совершенствованием методического обеспечения управления качеством организационно-информационных процессов КТПП на основе организационно-технологических моделей. Предложенные научно-технические решения внесены в практику машиностроительных предприятий и был получен экономический эффект в размене 1,8 млн. руб.

На защиту выносятся:

1. Методика внедрения PDM-системы в КТПП, основанная на последовательном применении SADT/IDEF0-моделирования, объектно-ориентированного описания архитектуры PDM-системы, настройки цифровых бизнес-процессов и оценки результатов внедрения.

2. Система критериев оценки эффективности внедрения PDM-системы, включающая временные, трудоёмкие, качественные, интеграционные и инфраструктурные показатели.

3. Интегральный индекс эффективности и правило принятия решения о готовности PDM-решения к тиражированию на смежные контуры предприятия.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 работ; из них 3 работы опубликованы в научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ; 2 работы – в материалах и трудах международных и всероссийских научных конференций.

Апробация и внедрение результатов исследования. Результаты диссертационной работы докладывались на XVII Всероссийской научно-практической конференции «РОССИЙСКАЯ НАУКА: АКТУАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ» (г. Самара, 22 марта 2024 г.) и на международной научно-практической конференции «Актуальные тенденции и инновации в образовании» (г. Москва, 9 июня 2026 г.)

1 Анализ состояния управления качеством организационно-информационных процессов КТПП

1.1. КТПП как объект управления качеством

Конструкторско-технологическая подготовка производства формирует информационную основу последующего изготовления продукции. На данной стадии определяются структура изделия, состав конструкторской документации, технологические маршруты, режимы обработки, требования к материалам, оснастке, инструменту и управляющим программам. Ошибки, несогласованности и задержки, возникающие в КТПП, способны проявляться на стадии производства в виде увеличения длительности цикла, повторных согласований, брака, простоев оборудования и перерасхода материальных ресурсов [39].

Качество организационно-информационных процессов КТПП целесообразно трактовать как степень способности процессов своевременно формировать полные, достоверные, актуальные и прослеживаемые данные, необходимые для выполнения конструкторских, технологических и производственных работ [35, 36, 42-49]. Такое качество определяется не только содержанием отдельных документов, но и согласованностью связей между ними, однозначностью ответственности, соблюдением маршрутов согласования, полнотой нормативно-справочной информации и возможностью управления изменениями [51, 52, 55-58].

В качестве основных свойств качества организационно-информационных процессов КТПП следует выделить:

- своевременность предоставления данных;
- полноту и непротиворечивость состава документов;
- актуальность версий и статусов;
- прослеживаемость изменений;
- однозначность прав доступа и ответственности;
- повторное использование типовых решений;
- интеграционную совместимость информационных систем;

- инфраструктурную готовность к устойчивой эксплуатации цифровых сервисов.

КТПП является неотъемлемой частью организации производства, которая определяет один из ключевых элементов эффективной работы предприятий машиностроения. В условиях динамично меняющейся экономической ситуации, особенно при переходе к политике внедрения PDM - систем, предприятия сталкиваются с необходимостью адаптации производственных процессов. Для достижения высокой эффективности и сохранения конкурентоспособности целесообразно рассматривать несколько базовых подходов, широко применяемых в машиностроении: бережливое производство, гибкие производственные системы и аддитивные технологии. Эти подходы доказали свою результативность, однако в новых условиях требуют адаптации [60-64].

Одним из важнейших подходов к организации производства, который прочно зарекомендовал себя в мировой практике, является концепция бережливого производства (Lean Manufacturing). Эта модель возникла в Японии в середине XX века и получила широкое распространение благодаря своему потенциалу к снижению издержек и повышению производительности. Суть бережливого производства заключается в устранении всех видов потерь на каждом этапе производственного процесса — от закупки материалов до конечной сборки продукции [69-71]. Например, такие потери могут включать излишние запасы сырья, излишки в производстве или даже неэффективное использование времени персонала. Стратегии, направленные на устранение этих потерь, позволяют добиться значительного улучшения эффективности [97-101].

Важной составляющей бережливого производства является принцип непрерывного улучшения (Kaizen), который направлен на постоянный поиск возможностей для оптимизации процессов. Предприятия, использующие этот подход, стремятся к регулярным улучшениям, даже если изменения кажутся незначительными [106-110]. В результате такой практики накапливается устойчивый положительный эффект, выражающийся в повышении общей эффективности производства.

Однако в современных условиях, когда политика внедрения PDM - систем заставляет предприятия искать альтернативные источники комплектующих и материалов, классическая модель бережливого производства сталкивается с новыми вызовами. Например, традиционная система «Точно вовремя» (Just — in — Time), направленная на минимизацию складских запасов и оперативное получение комплектующих, становится менее эффективной в условиях нарушенных глобальных цепочек поставок. В таких случаях предприятия вынуждены наращивать запасы критически важных материалов и комплектующих, что требует пересмотра принципов минимизации затрат [102-105].

Отличным примером данных подходов является КамАЗ, один из ведущих производителей грузовых автомобилей в России, столкнулся с серьёзными вызовами в начале 2000 — х годов. Стареющая производственная база и усиливающаяся конкуренция как на внутреннем, так и на международном рынках заставили компанию искать новые пути оптимизации. В условиях глобализированной экономики КамАЗ, как и многие другие предприятия, зависел от поставок импортных комплектующих. Однако с началом политики внедрения PDM - систем и введением экономических санкций компания вынуждена была пересмотреть свои подходы к организации производства, акцентировав внимание на снижение зависимости от внешних источников и повышение эффективности.

Одним из ключевых направлений оптимизации стала система «Точно вовремя» (Just — in — Time), изначально разработанная для минимизации складских запасов и сокращения расходов на их хранение [92-96]. Этот метод доказал свою эффективность, позволяя КамАЗу работать с минимальными запасами материалов, которые поступали непосредственно перед началом их использования в производственном процессе. Однако с введением санкций и нарушением привычных цепочек поставок компания оказалась вынуждена адаптировать подходы к управлению логистикой. Основной упор был сделан на развитие партнёрских отношений с отечественными поставщиками и создание сети локальных складов. Это решение позволило обеспечить стабильные поставки материалов и избежать простоев на производстве.

Дополнительно КамАЗ внедрил принципы Kaizen, направленные на постоянное улучшение рабочих процессов и качество продукции. Систематическое выявление и устранение неэффективностей на каждом этапе производства позволило значительно сократить уровень брака. Благодаря регулярному анализу и модернизации процессов компания не только улучшила качество выпускаемой продукции, но и смогла повысить её конкурентоспособность на рынке. Эти меры оказались особенно важными в условиях перехода на отечественные комплектующие и необходимости поддерживать высокие стандарты качества при более ограниченных ресурсах.

Для адаптации бережливого производства в условиях внедрения PDM - систем предприятия начинают искать новые пути оптимизации. В частности, многие компании переориентируются на использование локальных поставщиков, что позволяет снизить зависимость от международных рынков. Это сопряжено с новыми вызовами, такими как повышение стоимости комплектующих и необходимость модернизации производственных процессов для работы с отечественными материалами.

Другим важным подходом является гибкая производственная система (Flexible Manufacturing System, FMS), позволяющая предприятиям сохранять конкурентоспособность в условиях изменяющегося спроса и нестабильных поставок комплектующих. В отличие от традиционных методов массового производства, ориентированных на выпуск однотипных изделий крупными партиями, FMS позволяет оперативно перенастраивать производственные линии под выпуск различных видов продукции.

Главное преимущество FMS заключается в её способности быстро реагировать на изменения в заказах и на новые требования рынка. Суть гибкой системы заключается в том, что оборудование может легко перенастраиваться под различные виды продукции, что значительно сокращает время на переход с одного производственного процесса на другой. Эта особенность особенно ценна в условиях санкций или политических ограничений, когда доступ к импортным комплектующим может быть резко ограничен.

Для организации гибких производственных систем необходима полная автоматизация производства с учетом внедрения PDM – систем. Этот процесс требует кардинального пересмотра всей производственной стратегии. Компании сталкиваются с необходимостью глубокой интеграции новых технологий, пересмотра цепочек поставок, модернизации оборудования и внедрения новых методов организации труда. Важность этой задачи трудно переоценить, поскольку успешное внедрение PDM - систем позволяет предприятиям не только снизить зависимость от внешних поставщиков и минимизировать риски, связанные с перебоями в поставках, но и укрепить свою независимость и конкурентные позиции на рынке.

Тем не менее, несмотря на очевидные преимущества и перспективы, процесс внедрения PDM - систем сопровождается множеством сложностей и рисков, которые могут значительно повлиять на его успешное выполнение. Переход на отечественные аналоги компонентов требует существенных изменений в организации производства, что ставит перед предприятиями множество новых вызовов.

Во-первых, значительные трудности возникают при необходимости адаптации производственных процессов к новым условиям. Этот процесс часто требует значительных финансовых вложений в модернизацию оборудования и обучение персонала. Затраты на разработку и внедрение отечественных компонентов могут оказаться выше запланированных, что приводит к увеличению себестоимости продукции и снижению рентабельности.

Во-вторых, технологические риски играют не менее важную роль. Импортные компоненты обычно интегрируются в производственные процессы на высоком уровне, и их замена требует тщательной настройки и адаптации оборудования. Отечественные аналоги могут не полностью соответствовать по качеству и надёжности, что создаёт дополнительные риски для производства. Это может привести к сбоям в работе, увеличению брака и снижению общего качества продукции.

В-третьих, организационные риски связаны с необходимостью переналадки производственных процессов, пересмотра логистики и управления цепочками поставок. Отсутствие должной координации между подразделениями компании может вызвать задержки в производстве и повысить вероятность сбоев в поставках.

Кроме того, внедрение новых технологий, необходимых для производства отечественных компонентов, может столкнуться с нехваткой нужных компетенций и соответствующего оборудования на предприятиях. В некоторых случаях существующее оборудование может не поддерживать новые технологические процессы, что создаёт необходимость в значительных инвестициях в обновление производственных мощностей. Однако такие вложения сопряжены с рисками, поскольку новые технологии могут оказаться неэффективными и не окупить затраченные средства.

Дополнительные риски связаны с обучением и переподготовкой персонала для работы с новыми технологиями. Недостаточная квалификация сотрудников может привести к ошибкам в настройке оборудования и организации производственных процессов, что, в свою очередь, вызовет дополнительные временные и материальные затраты. Ситуация усугубляется, если обучение проводится с отставанием от темпов внедрения новых технологий, что осложняет достижение необходимого уровня производительности и эффективности.

Также стоит учитывать, что переход на отечественные компоненты может потребовать пересмотра всей логистической цепочки и процесса поставок, что добавляет сложности и повышает риски. Для машиностроительных предприятий, работающих в условиях строгих графиков и высоких стандартов качества, такие изменения могут привести к значительным задержкам и сбоям.

Недостаточная координация между различными подразделениями компании представляет собой значительный организационный риск. Успешное внедрение PDM - систем требует слаженной работы всех отделов: производственного, инженерного, логистического, закупочного и финансового. Недостаток взаимодействия между этими подразделениями может привести к сбоям в работе предприятия. Например, если отдел закупок не синхронизирован с

производственным отделом, это может вызвать нехватку необходимых компонентов на складе и, как следствие, простои в производстве.

Внедрение автоматизированных систем может также привести к снижению эксплуатационных затрат. Это связано с уменьшением затрат на оплату труда, а также с сокращением потерь от брака и необходимости в доработке продукции. В долгосрочной перспективе автоматизация позволяет существенно снизить общие затраты на производство и повысить конкурентоспособность предприятия.

Цифровизация и использование Интернета вещей (IoT) открывают новые возможности для управления производственными процессами и минимизации технологических рисков:

IoT — устройства и сенсоры, установленные на производственном оборудовании, позволяют получать данные о его состоянии и работе в режиме реального времени. Это включает информацию о температуре, вибрациях, давлении и других параметрах, которые могут указывать на возможные проблемы. Такой мониторинг позволяет своевременно обнаруживать отклонения от нормальной работы и предпринимать меры по их устранению до того, как они приведут к сбоям.

Сбор данных с оборудования в сочетании с аналитическими инструментами позволяет осуществлять предиктивное обслуживание. Это означает, что на основе анализа данных можно прогнозировать износ оборудования и планировать его обслуживание заранее, до возникновения критических неисправностей. Такой подход снижает риск внезапных поломок, повышает надежность производственных процессов и минимизирует простои.

Цифровизация позволяет создавать цифровые двойники производственных систем и оборудования — виртуальные модели, которые точно отражают их физическое состояние. Эти модели можно использовать для проведения симуляций и анализа производственных процессов, что помогает выявить возможные проблемы и оптимизировать работу оборудования. Цифровые двойники также позволяют тестировать новые технологии и процессы в виртуальной среде, минимизируя риски при их реальном внедрении.

Цифровизация и IoT также способствуют улучшению логистических процессов и управления цепочками поставок. Сбор данных о движении материалов, компонентов и готовой продукции позволяет оптимизировать маршруты поставок, сократить время доставки и снизить затраты. Это особенно важно в условиях глобализации и необходимости оперативного реагирования на изменения спроса и предложения на рынке.

Применение аналитических инструментов и методов прогнозирования на основе больших данных играет важную роль в управлении технологическими рисками и повышении эффективности производства:

Анализ больших данных, получаемых с производственного оборудования, позволяет предсказывать возможные сбои и проблемы еще до их возникновения. Например, на основе анализа исторических данных можно выявить закономерности, которые указывают на надвигающийся отказ оборудования, и принять меры по его предотвращению. Это помогает избежать внезапных простоев и сохранить непрерывность производственных процессов.

Аналитика позволяет выявить узкие места в производственных процессах и предложить пути их оптимизации. Например, анализ данных о производительности оборудования и эффективности использования ресурсов может помочь разработать стратегии по снижению потерь и повышению общей производительности. Оптимизация производственных процессов на основе данных способствует повышению конкурентоспособности предприятия.

Использование аналитических инструментов помогает предприятиям лучше контролировать качество продукции на всех этапах производства. Например, анализ данных о параметрах производственных процессов и характеристиках продукции позволяет выявить отклонения от стандарта на ранних этапах и оперативно принять меры по их устранению. Это снижает риск выпуска бракованной продукции и повышает удовлетворенность клиентов.

Прогнозирование спроса на продукцию на основе анализа рыночных данных и исторических трендов позволяет предприятиям лучше планировать производство и закупки, избегая перепроизводства или дефицита продукции. Это помогает

оптимизировать использование ресурсов и минимизировать финансовые риски, связанные с колебаниями спроса.

Эффективное управление рисками в условиях внедрения PDM - систем требует использования комплексного подхода, включающего оценку, планирование, применение финансовых, технологических и организационных инструментов, а также постоянный мониторинг и контроль. Эти меры помогают минимизировать потенциальные угрозы и обеспечить успешную реализацию проектов, что, в свою очередь, способствует укреплению конкурентоспособности предприятий и их устойчивому развитию в условиях меняющейся экономической среды.

1.2. Проблемы организационно-информационного взаимодействия

В традиционной организации КТПП инженерные данные часто распределены между файловыми ресурсами, локальными архивами, личными рабочими каталогами, бумажным документооборотом и разнородными информационными системами. Это приводит к возникновению ряда типовых проблем.

Во-первых, отсутствует единый источник достоверных данных об изделии. Конструктор, технолог и производственный специалист могут использовать разные версии чертежа, спецификации или технологического процесса. Во-вторых, передача данных между подразделениями зависит от ручных операций и не всегда сопровождается фиксацией факта передачи, назначения ответственного лица и статуса согласования. В-третьих, внесение изменений может не сопровождаться автоматическим выявлением связанных объектов: технологических маршрутов, оснастки, программ ЧПУ, нормативов и производственных заданий.

Недостаточная формализация организационно-информационных процессов ограничивает возможности предприятия по оценке их качества. Если не определены показатели длительности согласования, трудоёмкости поиска данных, полноты документации и количества ошибок, то эффект внедрения цифровой

системы может восприниматься субъективно и не использоваться для принятия решений о масштабировании.

1.3 PDM-системы в цифровом контуре КТПП

PDM-система предназначена для управления данными об изделии и связанными инженерными объектами. В контуре КТПП она обеспечивает хранение и поиск документов, управление версиями, ведение структуры изделия, формирование классификаторов, разграничение прав доступа, поддержку электронных маршрутов, контроль статусов и фиксацию истории изменений (рисунок 1.1).

PDM-система занимает интегрирующее положение между CAD/CAM-средствами, в которых создаются геометрические модели и технологические данные, ERP-системами, обеспечивающими планирование ресурсов и учёт, а также MES-системами, поддерживающими оперативное управление производством. Её внедрение создаёт условия для формирования единого информационного пространства, в котором инженерные данные становятся доступными участникам процесса в соответствии с их ролями и полномочиями.

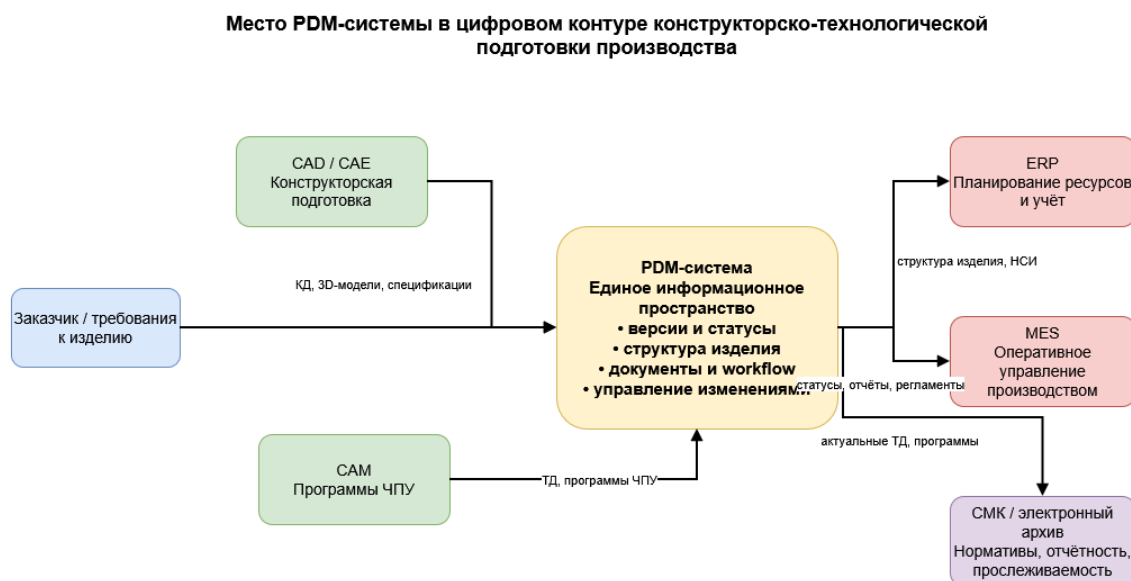


Рисунок 1.1 - Место PDM-системы в цифровом контуре КТПП

Функциональное и объектное моделирование в КТПП основано на SADT/IDEF0-моделирование. Оно позволяет описывать систему как совокупность функций, для каждой из которых определяются входы, выходы, управления и механизмы. Входы преобразуются функцией в выходы; управляющие воздействия определяют правила выполнения работ; механизмы характеризуют ресурсы и исполнителей.

Для функции F_i может быть использовано представление:

$$F_i = \langle I(F_i), O(F_i), C(F_i), M(F_i) \rangle,$$

где:

$I(F_i)$ — множество входов;

$O(F_i)$ — множество выходов;

$C(F_i)$ — множество управляющих воздействий;

$M(F_i)$ — множество механизмов.

Функциональная модель даёт ответ на вопрос, какие работы выполняются, какие данные используются и какие результаты формируются. Однако для настройки PDM-системы необходимо объектное представление: классы объектов, типы документов, атрибуты, связи, роли пользователей и шаблоны процессов. Поэтому функциональное моделирование должно быть дополнено объектно-ориентированным описанием архитектуры PDM-системы.

В практике внедрения информационных систем оценка часто ограничивается сроком запуска, количеством подключённых пользователей или субъективной оценкой удобства интерфейса. Эти показатели являются важными, но не отражают в полной мере качество преобразования организационно-информационных процессов.

Для оценки внедрения PDM-системы требуется учитывать:

- изменение длительности процедур;
- изменение трудоёмкости работ;
- изменение качества и полноты инженерных данных;
- уровень интеграции с другими системами;

- готовность инфраструктуры и пользователей к устойчивой эксплуатации.

Существующие подходы к отдельной оценке отдельных эффектов не позволяют получить единый результат, пригодный для принятия управленческого решения о масштабировании. Следовательно, требуется разработка системы взаимосвязанных критериев и интегрального индекса эффективности.

Моделирование бизнес-процессов и данных на этапах проектирования информационных систем (ИС) играет ключевую роль в машиностроении. Методология IDEF0 широко применяется для функционального моделирования конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП): диаграммы IDEF0 наглядно отображают структуру функций системы, а также потоки информации и материалов, преобразуемые этими функциями [1]. Однако для разработки самой ИС и интеграции с системами управления инженерными данными (PDM/PLM) требуется табличная (данная) модель - формализованный перечень данных (сущностей, документов и процессов), подлежащих реализации в базе данных предприятия. Стандарт IDEF изначально предусматривал связку методологий: после построения функциональной модели IDEF0 следует этап информационного моделирования данных (IDEF1X) для детализации информационных объектов, фигурирующих во входах и выходах функций.[2] В современных стандартах по моделированию предприятий зафиксирована необходимость согласования функционального и информационного представлений системы. Так, международный стандарт ISO 19439-2006 определяет набор представлений модели предприятия, где функциональное (процессы) дополняется информационным (данные) [3]. Иными словами, после построения IDEF0-модели бизнес-процессов должна быть сформирована концептуальная модель данных, уточняющая структуру информационных потоков этих процессов.

На практике задача трансформации результатов функционального моделирования в модель данных часто решается вручную. Эксперты, разработав IDEF0-диаграммы, идентифицируют ключевые информационные объекты в потоках (материальных выходах и информационных входах) и заносят их в

перечень сущностей и документов, после чего выстраивают связи между выделенными объектами в виде модели «сущность-связь» (ER или IDEF1X). Такой подход требует значительных трудозатрат и глубоких знаний предметной области и нотаций, однако исторически применялся весьма широко, особенно в машиностроении, где практически каждый проект внедрения ИС начинался с ручного анализа IDEF0-моделей и разработки перечня информационных сущностей. Ещё в 1990-х годах существовали CASE-средства (например, связка BPwin и ERwin), позволявшие параллельно моделировать функции и данные; тем не менее, автоматического преобразования между моделями они не обеспечивали. В последние годы получили развитие интегрированные подходы: например, методология ARIS предусматривает единую модель предприятия с несколькими представлениями (функциональным, информационным, организационным и др.) в общей базе объектов, что позволяет прослеживать связи между процессами и данными. Однако даже в таких инструментах прямое преобразование из IDEF0 в ER осуществляется ограниченно: чаще речь идёт о вручную настроенных соответствиях или сценариях экспорта/импорта данных.

Помимо интегрированных CASE-средств, в литературе представлены алгоритмические методы преобразования моделей. Исследователи предлагали формальные подходы к анализу SADT/IDEF0-диаграмм для извлечения информации о данных. Например, в работе А.А. Герасимова и С.И. Лапшина [4] описан формальный анализ IDEF0 на стадии предпроектного обследования, позволяющий выявлять неполноту либо противоречивость заданных потоков. Сравнительный обзор возможностей различных подходов - ручного, интегрированного и алгоритмического - показан в таблице 1.1. Как видно, полностью автоматическое преобразование находится на стадии исследований и пока не реализовано в промышленных инструментах, однако его применимость в машиностроении оценивается как очень высокая [5].

Таблица 1.1 - Сравнение подходов преобразования IDEF0-модели в табличную модель данных

Подход	Уровень автоматизации	Сложность	Применимость в машиностроении	Поддержка в PDM/PLM
Ручной (IDEF0 → IDEF1X)	Низкий (полностью вручную экспертами)	Низкая-средняя (требуются знания нотаций)	Высокая (широко применялся на практике)	Непрямая (требуется ручной ввод в систему)
Интегрированные CASE-средства	Средний (единый репозиторий согласует модели)	Высокая (сложные инструменты)	Средняя (используется в крупных проектах)	Частичная (есть экспорт, скрипты импорта)
Алгоритмический (научные методы)	Высокий (автоматический анализ модели)	Средняя (нужны парсеры, скрипты)	Высокая (адаптируется под предметную обл.)	Отсутствует «из коробки» (возможен через внешние утилиты)
Через PDM/PLM-настройку	Средний (полуавтоматическая настройка)	Средняя (требует конфигурирования системы)	Очень высокая (непосредственная цель в машиностроении)	Косвенная (API для загрузки данных, нет прямого импорта IDEF0)

Последний подход по таблице 1.1 предполагает интеграцию результатов моделирования непосредственно в среду PDM/PLM. Современные PDM/PLM-системы (такие как Siemens Teamcenter, Dassault Systemes SmarTeam, ЛОЦМАН:PLM и др.) позволяют настраивать информационную модель предприятия под свои процессы: создавать классы объектов (сущности) и их атрибуты, типы документов, бизнес-процессы, маршруты согласования и т.п. Таким образом, идея интеграции состоит в том, чтобы на основе IDEF0-моделей сформировать перечни объектов, которые затем можно загрузить в PDM/PLM-

систему средствами ее API или утилит импорта. Например, SmarTeam изначально проектируется как объектно-ориентированная PDM: в ней есть классы данных (например, «Деталь», «Технологический процесс», «Цех»), обладающие атрибутами и объединённые в иерархию классов и подклассов. Настройка PDM под предприятие требует списка классов объектов и их связей - а это фактически и есть перечень сущностей предметной области, который можно получить из IDEF0. В известном примере на заводе ОАО «Волгабурмаш» сначала была разработана перспективная функциональная модель “как должно быть” в нотации IDEF0, отразившая оптимизированную структуру процессов подготовки производства. Параллельно создали концептуальную модель данных - перечень информационных объектов и классификаторов, необходимых предприятию. На этой основе осуществлено внедрение PDM-системы: добавлены нужные справочники оборудования, виды документов, шаблоны процессов и т.д. В результате интеграции информационное пространство предприятия было унифицировано, ускорено прохождение процессов и снижена трудоёмкость документооборота. Этот пример демонстрирует высокую эффективность подхода: перевод моделей IDEF0 в настройки PDM позволил рационализировать производство.

1.4. Выводы по главе 1

1. КТПП является совокупностью организационно-информационных процессов, качество которых существенно влияет на сроки, согласованность и результативность подготовки производства.
2. Основными причинами снижения качества процессов являются фрагментация данных, отсутствие единого источника актуальной информации, недостаточная прослеживаемость изменений и неформализованные маршруты согласования.

3. PDM-система является базовым компонентом цифрового контура КТПП, однако её внедрение требует предварительного анализа процессов и проектирования объектной архитектуры.

4. SADT/IDEF0-моделирование позволяет формализовать процессы, но должно быть дополнено объектно-ориентированным представлением PDM-системы.

5. Для объективной оценки внедрения необходимо применять многокритериальный подход, включающий временные, трудоёмкие, качественные, интеграционные и инфраструктурные показатели.

2 Разработка методики внедрения отечественной PDM-системы в КТПП

2.1 Концептуальная модель качества организационно-информационных процессов

Качество организационно-информационных процессов КТПП определяется совокупностью характеристик, описывающих способность процессов формировать и предоставлять инженерные данные требуемого качества в установленные сроки. Введём обобщённую функцию качества:

$$Q_{\text{ОИП}} = f(T, L, D, G, S, R),$$

где:

- T — своевременность выполнения процессов;
- L — трудоёмкость работ;
- D — достоверность, полнота и актуальность данных;
- G — согласованность информационных потоков;
- S — степень стандартизации и регламентации;
- R — прослеживаемость документов, решений и изменений.

Представленная модель не предполагает, что все характеристики имеют одинаковую значимость. Их вес зависит от специфики предприятия, состава автоматизируемого контура, зрелости цифровой инфраструктуры и стратегических целей внедрения.

2.2. Этапы методики внедрения PDM-системы

Разработанная методика включает восемь взаимосвязанных этапов.

Этап 1. Инициация проекта и определение границ внедрения. На данном этапе определяются цели внедрения, состав подразделений, процессов и информационных систем, входящих в пилотный контур. Формируются ожидаемые результаты, ограничения, требования к защите информации и критерии успешности.

Этап 2. Обследование существующих процессов. Выполняется сбор

сведений о фактическом документообороте, используемых программных средствах, ролях сотрудников, маршрутах согласования, проблемах передачи и актуализации данных. Результатом является описание состояния «как есть».

Этап 3. SADT/IDEF0-моделирование процессов. Формируются контекстная и декомпозиционные диаграммы, устанавливающие функции, входы, выходы, механизмы и управляющие воздействия. Выявляются критические точки организационно-информационного взаимодействия.

Этап 4. Формирование целевой модели процессов. Разрабатывается состояние «как должно быть» с учётом функций PDM-системы, электронного архива, управления изменениями, workflow и интеграции с CAD, ERP и MES.

Этап 5. Формирование объектно-ориентированной архитектуры PDM. На основе функциональной модели определяются сущности предметной области, документы, процессы, роли, связи, классификаторы и требования к атрибутам объектов.

Этап 6. Настройка и интеграция PDM-системы. Выполняются настройка классов объектов, типов документов, прав доступа, электронных маршрутов, шаблонов процессов, импорт исходных данных и интеграция с применяемыми корпоративными системами.

Этап 7. Подготовка пользователей и опытная эксплуатация. Проводятся обучение, проверка сценариев, корректировка регламентов, сбор замечаний пользователей и устранение выявленных несоответствий.

Этап 8. Оценка эффективности и принятие решения о тиражировании. Измеряются частные показатели до и после внедрения, рассчитываются групповые критерии и индекс $I_{эф}$, после чего определяется готовность решения к распространению на смежные контуры.

Методика внедрения PDM-системы в контур КТПП

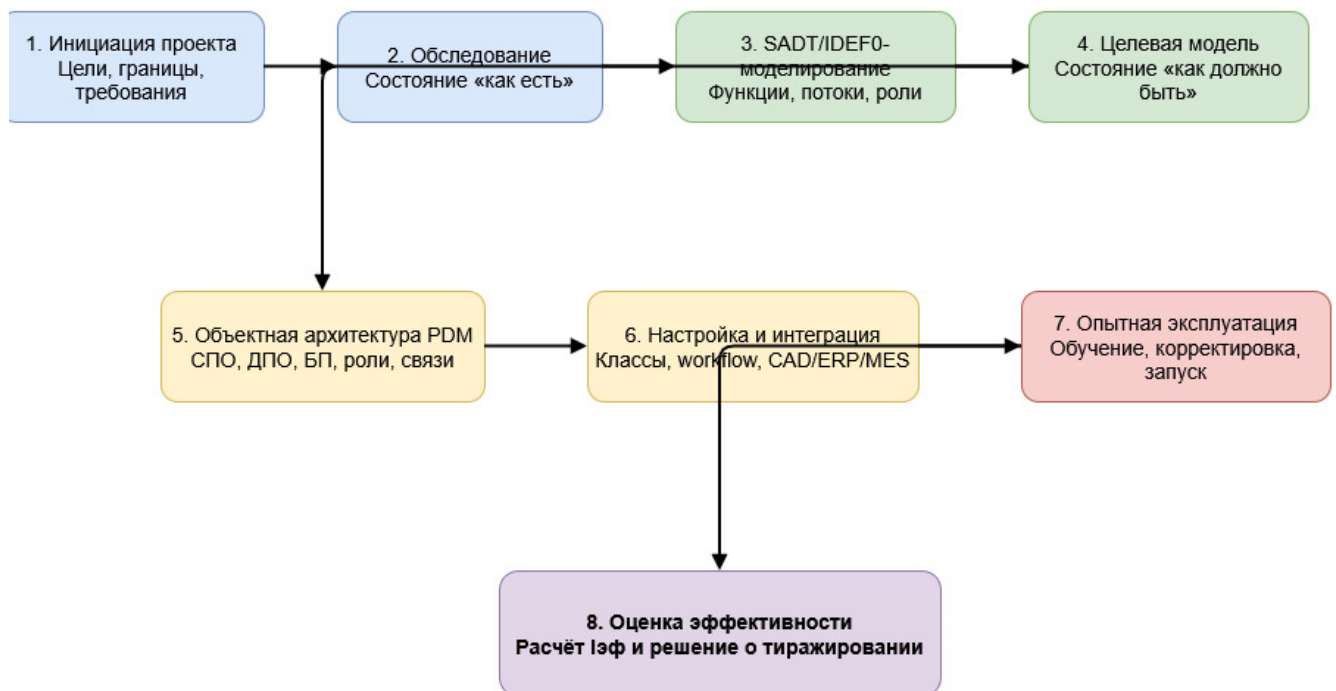


Рисунок 2.1 — Методика внедрения PDM-системы в КТПП

2.3. SADT/IDEF0-модель процесса внедрения PDM

Конструкторско-технологическая подготовка производства (КТПП) представляет собой совокупность процессов, обеспечивающих запуск нового изделия в производство – от разработки конструкторской документации до планирования технологических маршрутов, подготовки оснастки и программ для станков с ЧПУ. Для успешной реализации этих процессов на современном предприятии требуется согласованная работа различных подразделений (конструкторского, технологического, производственного отделов, отдела стандартизации и качества и др.), обмен информацией между ними и накопление знаний о продукте. В сложных организационно-технических системах, каким является машиностроительное предприятие, важным инструментом анализа и оптимизации служит моделирование бизнес-процессов. В России и мире де-факто стандартом функционального моделирования производственных процессов

является методология IDEF0. IDEF0 относится к семейству IDEF (Integration DEFinition) и предназначена для иерархического описания функций системы и взаимодействия между ними. Базовые понятия IDEF0 включают функции (блоки, представляющие какие-либо работы или этапы процесса) и потоки четырех типов: входы (Input), выходы (Output), механизмы (Mechanism) и управления (Control). Входы преобразуются функцией в выходы, механизмы указывают, с помощью чего выполняется функция (оборудование, люди, ИС), а потоки управления определяют, по каким правилам или на основе каких внешних воздействий функция выполняется. IDEF0-модель строится в виде набора диаграмм: контекстная диаграмма A0 задает общие границы рассматриваемой системы и главную функцию, затем эта функция декомпозируется на подфункции (диаграмма A1), те – на более мелкие функции (A2) и т.д., пока не будет достигнут требуемый уровень детализации. В результате получается древовидная структура диаграмм, где узлы дерева – это функции, а ребра – информационные связи между ними. Каждая элементарная функция имеет свой набор входов, выходов, механизмов и управляющих воздействий, которые могут быть как внешними по отношению к системе (глобальные входы/выходы), так и локальными (связующие потоки между функциями верхнего и нижнего уровня).

Методология IDEF0 имеет строгую нотацию, стандартизованную американским стандартом FIPS PUB 183 (1993) и международным стандартом ISO/IEC 31320-1:2007 [11]. В России существует аналог – ГОСТ 19.701-90, регламентирующий условные обозначения и правила выполнения функциональных схем алгоритмов и данных [12]. Преимущество IDEF0 для моделирования КТПП заключается в ее наглядности и структурированности: даже сложный процесс представляется в виде иерархии простых функций с четко обозначенными границами ответственности и обменом документами. Например, на верхнем уровне КТПП может быть разделена на два макропроцесса: конструкторская подготовка производства и технологическая подготовка производства. Последний, в свою очередь, декомпозируется на более частные процессы: проектирование технологических документов, подготовка оснастки,

разработка программ ЧПУ и пр. Каждому процессу ставятся в соответствие входные требования (например, конструкторская документация на изделие), выходные результаты (технологическая документация, оснащение, программы), а также ответственные исполнители и ресурсы (отделы, инженеры, оборудование). В результате IDEF0-диаграммы дают целостное представление о том, что делает предприятие в рамках КТПП, какие информация и материалы при этом используются и создаются, а также какие внешние факторы влияют на выполнение процессов. Такой функциональный срез необходим для последующего проектирования информационной системы: он позволяет определить ключевые точки, где нужны поддержка данными, какие документы должны циркулировать между подразделениями, какие решения принимаются на каждом этапе. Без формализованного описания процессов внедрение новой ИС чревато разрывами в охвате функций или дублированием данных, поэтому диаграммы IDEF0 часто включаются в состав технических заданий на разработку и используются на этапе предпроектного обследования предприятия.

В контексте данной работы наиболее важны информационные потоки IDEF0, поскольку именно на их основе будут выявляться объекты данных для будущей БД [13]. Обычно в диаграммах КТПП основными потоками являются различные виды документации и материальных объектов, которые переходят от одной функции к другой. Примеры типов документов: конструкторское задание, технические условия, чертеж детали, спецификация, технологическая инструкция, маршрутная карта, ведомость оснастки, отчет по испытаниям и т.д. Материальные объекты: опытный образец, оснастка (штамп, пресс-форма), инструмент, заготовка, материал. Управляющие воздействия часто представлены стандартами или регламентами (например, ЕСКД – Единая система конструкторской документации, стандарты качества ISO, приказы руководства). Все эти элементы фигурируют на стрелках IDEF0-диаграмм и играют роль данных, которые должны быть где-то учтены и сохранены. Методология IDEF0 сама по себе не описывает внутреннюю структуру данных – для этого предназначен отдельный стандарт IDEF1X, нацеленный на моделирование информационных объектов и отношений (по сути,

аналог ER-диаграмм). IDEF1X обычно применяют после IDEF0, чтобы детализировать информацию, выявленную на функциональных диаграммах. Однако на практике в инженерной среде IDEF1X используется реже, и нередко бывает так, что IDEF0-модель процессов создана, а соответствующая модель данных отсутствует. В результате возникает разрыв между описанием процессов и проектированием базы данных для их поддержки.

Таким образом, проблема состоит в том, чтобы по готовой IDEF0-модели КТПП сформировать модель данных – перечень информационных сущностей (объектов), документов и процессов, подлежащих реализации в информационной системе. Решение этой проблемы позволяет связать воедино результаты функционального анализа (что происходит и какие данные при этом задействованы) с техническим проектированием базы данных, которая будет хранить эти данные. Без такой связи велика вероятность несоответствия ИС реальным потребностям: либо БД будет содержать избыточные данные, не востребованные процессами, либо, наоборот, какие-то важные документы и объекты не будут отражены в БД, что потребует внеплановых доработок ИС.

Для того чтобы перейти от IDEF0 к данным, аналитик вручную просматривает все диаграммы, выписывает встречающиеся на стрелках названия документов и объектов, группирует их по категориям (например, все частные виды чертежей объединяет в понятие «Конструкторская документация», все упоминания о материале – в класс «Материалы» и т.п.), а также фиксирует список бизнес-процессов (функций), которые были на диаграммах. Эта работа длительная и подвержена субъективности, зато она дает ценные результаты: каталог данных [14]. Такой каталог часто фигурирует в проектной документации в виде приложения с перечнем СПО (сущностей предметной области), ДПО (документов предметной области) и БП (базовых бизнес-процессов). Ниже поясняется значение этих терминов:

- Сущности предметной области (СПО) – основные объекты данных, о которых хранится информация в ИС. Это могут быть физические объекты (изделия, сборки, детали, станки, инструмент, материалы), организационные элементы (цеха,

склады, поставщики, подразделения) или логические объекты (заказ, проект, технологический процесс). Сущности обычно имеют множество атрибутов и собственный жизненный цикл в системе.

- Документы предметной области (ДПО) – неделимые информационные артефакты, которые фигурируют в процессах и подлежат управлению. По сути, это различные виды документации и записей: конструкторские документы (чертежи, спецификации), технологические документы (маршрутные карты, ведомости), нормативные документы (стандарты, инструкции), эксплуатационные документы и пр. Особенность ДПО в том, что они существуют как целостные единицы (файл или бумажный документ) и обычно хранятся в системе как вложения или объекты с версионированием.

- Базовые бизнес-процессы (БП) – условно автономные функциональные процедуры, выполняемые на предприятии. В контексте КТПП к БП можно отнести: разработка конструкторской документации, проведение технологического нормирования, запуск производства изделия, внесение изменений в конструкцию, аттестация технологического процесса и т.д. Каждому такому процессу соответствует определённая последовательность действий и результат.

Фактически СПО, ДПО и БП представляют три проекции на модель предприятия: объектную, документальную и процессную. Они тесно связаны: процессы преобразуют документы, документы описывают объекты, объекты участвуют в процессах. Однако для целей построения базы данных их важно развести по отдельности. ИС должна содержать структуру данных (справочники объектов и документов) и одновременно регистрировать ход бизнес-процессов (например, выполнение работ, маршруты согласования и т.п.). Большинство современных промышленных ИС (ERP, PDM, PLM, MES) имеют модули, отвечающие за оба аспекта: и за хранение мастер-данных, и за управление процессами. Поэтому выделение списков СПО, ДПО, БП – это первый шаг к созданию таких систем.

Рассмотрим простой пример, иллюстрирующий эти понятия. Пусть на верхнем уровне IDEF0-модели КТПП задействованы следующие потоки: входной

– Заказ на опытный образец, входной – Распоряжение главного конструктора, управляющий – Система менеджмента качества, выходной – Комплект конструкторской документации, выходной – Комплект технологической документации, выходной – Программа станка с ЧПУ. Из анализа этого списка можно сделать вывод, что в информационной системе должны найти отражение: (а) объект «Изделие» (которое заказывается и для которого разрабатываются документы); (б) объект «Процесс разработки» (или проект опытного образца, который инициирован распоряжением и заказом); (в) документ «Конструкторская документация» (как совокупность чертежей, 3D-моделей, спецификаций на изделие); (г) документ «Технологическая документация»; (д) документ «Управляющий регламент (СМК)»; (е) документ «Программа ЧПУ»; (ж) процесс «Разработка КД»; (з) процесс «Разработка ТД»; (и) процесс «Подготовка программы ЧПУ». Конечно, это только верхний уровень – при детальной декомпозиции появятся новые конкретные документы (например, Маршрутная карта как часть технологической документации, Операционная карта и т.д.) и более мелкие процессы (напр. Проектирование оснастки как подзадача технологической подготовки) [15].

Важно отметить, что не всякий поток IDEF0 напрямую становится сущностью или документом. Некоторые потоки могут обозначать условия или сигналы, не требующие самостоятельного учета в БД. Например, «Система менеджмента качества предприятия» в приведенном примере – это скорее условие, нежели объект, и в ИС может являться просто отметкой о соответствии стандартам, а не отдельной таблицей данных [16]. Другие потоки могут дублировать друг друга на разных диаграммах (их следует объединить). Третьи – быть слишком общими (их придется разложить на несколько конкретных сущностей). Именно поэтому преобразование не тривиально и требует формальных правил, о которых пойдет речь далее.

Подводя итог, функциональное моделирование КТПП создает прочную основу для описания требуемых данных, но эта информация скрыта в тексте и стрелках диаграмм. Задача аналитика – извлечь её и представить явно, в табличной

форме. В следующих разделах мы рассмотрим, какие требования предъявляются к данным для поддержки КТПП и как современные информационные системы (в частности, PDM/PLM) используют эти данные.

Для эффективной организации КТПП на предприятии недостаточно описать сами процессы – необходимо обеспечить их информационное сопровождение. В эпоху цифровизации основой информационного контура машиностроительного производства являются системы класса PDM/PLM (Product Data Management / Product Lifecycle Management). Эти системы предназначены для управления инженерными данными и жизненным циклом изделий, обеспечивая единое хранилище и инструменты для работы с конструкторской и технологической информацией. Внедрение PDM/PLM-систем позволяет решать задачи контроля версий чертежей, хранения 3D-моделей, ведения справочников материалов и нормативов, управления изменениями, согласования документов, планирования работ и т.д. По сути, PDM является сердцем информационной системы предприятия в части данных об изделиях и процессах их разработки [17].

На этапе КТПП PDM-система выступает интегратором: она связывает конструкторский отдел (CAD-системы, модели, спецификации) с технологическим (техпроцессы, оснастка, маршрутные карты) и производственным (планирование, MRP). Таким образом, PDM/PLM охватывает те самые объекты и документы, которые мы выделили из IDEF0-моделей. Например, в PDM ведется классификатор изделий, структура изделия (BOM), библиотека стандартных компонентов, каталог материалов — все это относится к сущностям предметной области (СПО). Также ведутся электронные архивы конструкторской, технологической и иной документации — это наши документы (ДПО). Наконец, многие современные PDM/PLM обладают функциями workflow – управления бизнес-процессами: можно настроить маршруты согласования изменений, процессы утверждения документации, выдачи заданий исполнителям. В сложных случаях PDM интегрируют с BPM-системами для оркестрации процессов. Но даже без внешних BPM, любая PDM-система содержит базу данных, где хранится информация о процессах: хотя бы статус документа (в разработке, на согласовании, утвержден)

или задачи, назначенные пользователям. Таким образом, понятие базовых бизнес-процессов (БП) также присутствует в PDM, хотя и в более ограниченном виде (как предустановленные шаблоны процессов, электронные маршруты и т.п.).

Информационные требования к данным КТПП в PDM/PLM можно суммировать следующим образом: система должна иметь классификаторы всех объектов, которые участвуют в подготовке производства; структуры изделий (иерархии узлов и деталей); полный состав конструкторской и технологической документации по изделиям; описание процессов (например, технологических маршрутов или процессов согласования) и ответственных лиц с их ролями. Кроме того, PDM обычно хранит связанную нормативно-справочную информацию: классификаторы материалов, ЕСКД/ЕСТД стандарты, нормативы времени, сведения об оборудовании и оснастке, планово-экономические показатели и т.п. Значительная часть этих данных напрямую выводится из требований КТПП и моделей процессов. Например, если в IDEF0-модели фигурирует процесс Аттестация технологического процесса с участием Комиссии по аттестации, то в PDM имеет смысл предусмотреть справочник Комиссии, хранить состав комиссии и результаты ее работы (что можно реализовать как специализированный процесс или документ Акт аттестации).

Таким образом, внедряя PDM/PLM, предприятие фактически строит у себя единое информационное пространство (ЕИП) для КТПП, где данные о продуктах, процессах и ресурсах хранятся связно. В идеале все подразделения работают с одной и той же актуальной информацией, доступной через PDM; это устраняет дублирование и рассинхронизацию данных, ускоряет прохождение процедур. Однако на практике при внедрении возникает вопрос: как наполнить PDM начальными данными? Если предприятие ранее не имело формализованной модели данных, эту информацию приходится собирать вручную: заводить классы объектов, определять, какие атрибуты хранить для каждого класса, какие типы документов отслеживать, какие процессы автоматизировать [18]. В отсутствие формальной модели существует риск что-то упустить или ошибиться в классификации.

Использование результатов функционального моделирования (IDEF0) способно облегчить этот этап. Как было показано, IDEF0 дает нам все ключевые объекты, документы и процессы. Если их корректно извлечь и оформить в виде спецификации, то можно ускорить настройку PDM. Некоторые отечественные предприятия уже прошли через подобный путь. В частности, в работах И.Н. Хаймович и соавторов [25, 26] описана методология реинжиниринга производства, где исходно строится объектно-ориентированная модель функциональных подсистем КТПП (набор объектов и связей между ними), затем на ее основе проводится рационализация – оптимизация структуры процессов и данных, и уже потом внедряется PDM-система. Пример с ОАО «Волгабурмаш», упомянутый ранее, показывает, что наличие формальной модели (даже полученной вручную) позволяет значительно сократить сроки настройки и повысить отдачу от PDM: все нужные классы и справочники были определены до внедрения, исходя из анализа процессов.

Современные коммерческие PDM/PLM-системы пока не предоставляют автоматического импорта IDEF0, но обладают гибкими средствами настройки и API. Так, Siemens Teamcenter имеет инструменты для пакетной загрузки структуры изделий (BOM) и технологических процессов из внешних файлов (например, Excel или XML), что можно использовать для импорта списка объектов, полученных из модели. В системе ЛОЦМАН:PLM (АО «Аскон») можно настроить пользовательские классификаторы документов, деталей и процессов, однако их наполнение также потребует или ручного ввода, или написания скриптов миграции данных [19, 20]. Таким образом, существует потребность в промежуточном звене – конвертере, который преобразует диаграммы IDEF0 в табличное представление (списки СПО, ДПО, БП), пригодное для последующей загрузки в ту или иную систему. В качестве формата обмена могут выступать универсальные средства: CSV или Excel-файлы, XML-документы, SQL-скрипты для непосредственного заполнения базы данных, наконец, стандарты типа ISO 10303 (STEP) для обмена данными об изделиях. Например, один из возможных подходов – конвертировать модель данных в XML, а затем использовать XSLT-преобразование в набор отчетов

или загрузочных файлов для PDM. В данной работе в качестве доказательства концепции выбирается наиболее простой путь: генерация SQL-скрипта для реляционной БД. Это позволяет проверить корректность структуры данных и в то же время продемонстрировать принцип автоматической настройки схемы БД под конкретную IDEF0-модель.

Подведем итоги главы 1. КТПП представляет собой сложную систему процессов, для анализа и оптимизации которых эффективно применяется функциональное моделирование IDEF0. Результаты этого моделирования – диаграммы функций и потоков – содержат ценные сведения об информационных потребностях предприятия (объектах данных, документации, процессах). Современные информационные системы КТПП (PDM/PLM) требуют на входе четко структурированной модели данных: перечней классов объектов, типов документов, справочников и маршрутов процессов. Следовательно, существует методический задел для преобразования IDEF0-моделей в такие перечни. В следующей главе будет предложен формальный подход к реализации этого преобразования, включая систему правил и программный инструмент, автоматизирующий данный процесс.

На верхнем уровне процесс внедрения PDM-системы может быть представлен функцией «Обеспечить внедрение PDM-системы в контур КТПП» (рисунок 2.2). Входами являются требования предприятия, действующая документация, данные об используемых системах и результаты обследования. Управляющими воздействиями выступают стандарты предприятия, требования системы менеджмента качества, нормативные документы, положения о защите информации и проектные регламенты. Механизмами являются рабочая группа проекта, специалисты предприятия, представители поставщика PDM-системы, серверная инфраструктура и программные средства моделирования. Выходами являются настроенная PDM-система, регламентированные процессы, подготовленные пользователи, отчёт об эффективности и решение о тиражировании.

Контекстная IDEF0-модель внедрения PDM-системы в контур КТПП



Рисунок 2.2 — Контекстная IDEF0-диаграмма внедрения PDM-системы
Декомпозиция функции A0 включает:

- A1 — провести обследование и функциональное моделирование процессов;
- A2 — сформировать объектно-ориентированную архитектуру PDM;
- A3 — настроить и интегрировать PDM-систему;
- A4 — провести опытную эксплуатацию и обучение пользователей;
- A5 — оценить результаты внедрения и определить готовность к тиражированию.

2.4. Формирование информационной модели PDM-системы

Для однозначного описания правил преобразования необходимо сперва задать строгие формальные модели исходного и целевого представлений. Введём обозначения для элементов IDEF0-диаграмм [21, 22]. Будем считать, что исходная функциональная модель состоит из множества функций $F = \{F_i\}$, организованного в иерархию декомпозиции. Каждая функция F_i имеет следующие атрибуты: уникальный идентификатор $id(F_i)$, имя $name(F_i)$ и четыре множества связанных потоков $I(F_i)$ - входы, $O(F_i)$ – выходы, $C(F_i)$ - управляющие воздействия (controls),

$M(F_i)$ - механизмы. Тогда для дальнейшего преобразования достаточно представлять функцию в виде набора потоков:

$$F_i: \langle I(F_i), O(F_i), C(F_i), M(F_i) \rangle,$$

а также использовать $id(F_i)$ и $name(F_i)$.

Каждый поток $p \in I(F_i) \cup O(F_i) \cup C(F_i) \cup M(F_i)$ характеризуется именем $name(p)$ – обычно это короткая фраза, обозначающая документ, объект или сигнал. Также поток может иметь указание источника и приемника (для внешних потоков источник/приемник находится вне модели, для внутренних – это соответствующие функции). В рамках одной диаграммы потоки соединяют выход одной функции с входом (или управлением/механизмом) другой, но на верхнем уровне многие потоки остаются «свободными» (глобальными входами/выходами системы). Мы не вводим специального обозначения для связей, так как для задачи преобразования важны только сами названия потоков. Предположим, что по всей модели все потоки имеют уникальные названия либо различаются по контексту применения. На практике могут встречаться совпадающие названия в разных частях модели; в таком случае их целесообразно трактовать как один и тот же объект (если семантика явно одна) либо различать по префиксу (например, «ТЗ на изделие» vs «ТЗ на оснастку»). В дальнейшем будем считать, что выполнена предварительная унификация названий потоков, то есть идентичные по смыслу потоки приведены к одному наименованию. Это можно сделать вручную или с помощью онтологического словаря синонимов.

Целевое представление – модель данных для информационной системы – будем задавать в терминах трех компонент: множество сущностей $E = \{E_k\}$, множество типов документов $D = \{D_m\}$ и множество процессов $P = \{P_n\}$. Каждая сущность E_k соответствует некоторому классу объектов предметной области, каждый документ D_m – некоторому виду документов, а каждый процесс P_n – некоторому базовому бизнес-процессу предприятия. Кроме того, сущности могут обладать атрибутами, а между сущностями могут существовать связи (отношения). Однако на этапе концептуального моделирования нас в первую очередь интересует просто список сущностей – то есть перечень классов, без подробной структуры.

Атрибуты будут определяться на более поздней стадии (например, на основе анализа конкретных документов). Тем не менее, некоторые атрибуты можно извлечь и из функциональной модели: например, если на IDEF0 указано, что документ «Спецификация изделия» является входом в процесс «Расчет себестоимости», то можно предположить наличие атрибута «плановая стоимость» у сущности «Изделие». В данной работе мы не ставим цель полностью автоматизировать выделение атрибутов, ограничиваясь фиксацией самих сущностей и отношений «какой документ/процесс к какой сущности относится».

Введём формальную трактовку отношений между E , D и P . Предположим, что нам известна функция, которая каждому документу сопоставляет сущность, к которой он относится:

$$entity: D \rightarrow E.$$

Например, документ «Конструкторский чертеж детали» относится к сущности «Деталь»; документ «План-график проекта» относится к сущности «Проект». Для каждого процесса P_n можно определить множество сущностей, которые он затрагивает (создает или использует) – обозначим это отношение как $uses(P_n) \subseteq E$. Например, процесс «Разработка конструкции изделия» затрагивает сущность «Изделие» (создаётся новое изделие или модифицируется существующее), а процесс «Разработка технологического процесса» затрагивает две сущности: «Изделие» (для которого разрабатывается технология) и «Технологический процесс». В общем случае, чтобы определить $uses(P_n)$, можно посмотреть на все входные и выходные документы процесса P_n : множество $uses(P_n)$ будет объединением $entity(d)$ для всех документов d , фигурирующих на входе или выходе данного процесса:

в которой

$$uses(P_n) = \{ entity(d) \mid d \in docs(P_n) \},$$

где

$$docs(P_n) = I(P_n) \cup O(P_n).$$

Теперь перейдем непосредственно к формализации IDEF0 в части, относящейся к данным. Из множества всех потоков модели нас интересуют прежде

всего материальные выходы и информационные входы функций. Для дальнейших построений выделим множество всех входных и выходных потоков:

Из множества всех потоков модели нас интересуют прежде всего материальные выходы и информационные входы функций. Для дальнейших построений выделим множество всех входных и выходных потоков:

$$S = U_{F_i \in F} (I(F_i) \cup O(F_i)).$$

Согласно методике SADT, входы – это объекты, преобразуемые функцией, а выходы – объекты, возникающие в результате выполнения функции. Управления и механизмы не преобразуются функцией, а лишь влияют на нее, поэтому они, как правило, не создаются и не модифицируются данным процессом. Например, если управление – это нормативный документ, то процесс его не изменяет, он лишь соблюдает его требования; если механизм – станок, процесс не создает новый станок, он использует существующий. Таким образом, документы предметной области (ДПО) логично искать среди выходов (то, что производится процессами) и входов (то, что потребляется, но не порождается внутри данной функциональной области, а поступает извне в готовом виде). Например, «Конструкторская документация» в модели может быть выходом процесса A1 и входом процесса A2 – это явно кандидат на ДПО. А «Указание директора» – внешний вход для A0, тоже ДПО (распоряжение). Напротив, «Станки» в механизмах – это ресурс, не документ; в ИС его учесть можно (справочник оборудования), но обычно такие механизмы рассматриваются как сущности (класс «Оборудование»). «Система менеджмента качества» в управляющих – вообще внешняя система, ее, скорее, отразят как факт соответствия стандарту (атрибут качества у процесса), либо как связь с сущностью «Стандарт ISO9001». Таким образом, методически мы будем рассматривать все выходные и входные потоки IDEF0 в качестве кандидатов на ДПО, за вычетом тех, что очевидно не являются документами, а скорее относятся к объектам или условиям. Исключением могут быть материальные объекты (не документы) – их в IDEF0 обычно тоже рисуют как выходы/входы. Например, «Опытный образец изделия» – материальный объект на выходе процесса испытаний. Такие объекты будем тоже относить к ДПО, хотя они не «документы»: главное, что это некая

информационная сущность, фигурирующая в процессах. Можно ввести термин объектно-документальный поток для любых предметных выходов/входов, обозначающих либо документ, либо материальный объект. Все они пойдут в перечень ДПО как единый список имен. Формально множество документов/объектов предметной области можно задать как множество имен этих потоков:

Из потока S формируется множество документов D как набор имён потоков:

$$D = \{ name(s) | s \in S \}.$$

Следующая задача – выделение собственно сущностей (СПО) из списка ДПО. Как было отмечено, часто разные документы относятся к одному и тому же объекту. В IDEF0-модели это проявляется в том, что названия потоков могут иметь общую основу. Например, «Конструкторская документация изделия», «Технологическая документация изделия», «Программа испытаний изделия» – все содержат слово «изделие», значит, за ними стоит сущность «Изделие». Другой пример: «Ведомость оснастки», «Оснастка» (материал) – явно указывают на сущность «Оснастка». В разработанном методе заложен механизм, предполагающий наличие конфигурационного словаря, где перечислены типичные документные потоки и их связь с сущностями. В прототипе конвертора (раздел 2.3) для простоты используется упрощенное правило – поиск общих окончаний слов, например, «...ция» (документация) или наличие слова «документ», «спецификация», «карта» и др., чтобы отличать документы от объектов. Разумеется, полностью заменить эксперта автоматикой сложно: окончательное решение о том, считать ли два документа отражениями одной сущности, остается за аналитиком.

Формально процесс выделения сущностей в данной работе задаётся через отображение $entity: D \rightarrow E$ (с использованием словаря и/или правил). Тогда множество сущностей определяется как множество всех значений этого отображения:

Тогда множество сущностей определяется как множество всех значений этого отображения:

$$E = \{ entity(d) | d \in D \}.$$

Кроме того, в E нужно добавить те объекты, которые фигурировали в IDEF0 в потоках механизмов или управлений и явно представляют сущности. Например, если на диаграммах были механизмы «Оборудование» или «Персонал», то сущности Оборудование и Работник стоит включить в СПО, даже если они не появились среди документов. То же касается внешних организаций (если, скажем, потоки упоминают «Заказчик» или «Поставщик», это граничные сущности). Такие сущности можно назвать граничными (внешние по отношению к данной системе) и управляющими (задающие правила или ограничения). В работе 6 предлагается классифицировать сущности именно на предметные (основные), границы и управления. Это полезно при формировании модели: граничные и управляющие сущности могут храниться в системе как справочники контрагентов, нормативов, регламентов и пр.

Последняя компонента целевой модели – бизнес-процессы (БП) – извлекается наиболее прямым образом. Достаточно взять каждую функцию F_i из исходной модели и включить её (с названием) в список процессов P , если F_i является декомпозиционной (т.е. не развернутой далее) либо если F_i представляет интересующий нас уровень детализации. Чаще всего выбирают в качестве базовых БП самый нижний уровень декомпозиции (листовые узлы дерева IDEF0), поскольку именно они являются неделимыми работами. Однако если модель детализирована слишком глубоко, можно ограничиться верхними уровнями (например, взять все процессы уровня A2). В методике, реализованной в прототипе, предполагается, что уровень базовых процессов определён экспертно (например, функции уровня A2 считаются базовыми операциями). Тогда сбор всех F_i этого уровня дает нам перечень P . Структурно процессы тоже можно иерархически упорядочить (в PDM для них можно сделать древовидный классификатор или справочник), но это выходит за рамки нашей задачи – мы просто фиксируем каждый процесс вместе с идентификатором из модели (например, A21 «Проектирование ТД»).

Итак, мы получили формальное представление того, что нужно извлечь:

множество E (сущности), D (документы) и P (процессы), а также связи: каждый $d \in D$ связан с некоторой сущностью $entity(d) \in E$ (отношение принадлежности документа сущности) и с каждым процессом из P , где d фигурирует как вход или выход (отношение использования документа в процессе). В дальнейшем, при проектировании БД, это ляжет в основу таких отношений, как «сущность имеет документы» (1 ко многим) и «процесс потребляет/порождает документы» (многие ко многим с указанием типа использования). Но на этапе концептуального моделирования можем ограничиться простыми таблицами-списками.

Для наглядности представим элемент связи между этими компонентами в виде диаграммы. Ниже показана упрощённая модель связей: сущность может иметь несколько связанных документов, а документ относится к ровно одной сущности; сущность может участвовать во многих процессах, и процесс затрагивает много сущностей (отношение многие ко многим между E и P , которое в реляционной БД обычно реализуется отдельной таблицей связей).

Для наглядности представим элемент связи между этими компонентами в виде диаграммы. Ниже показана упрощённая модель связей: сущность может иметь несколько связанных документов, а документ относится к ровно одной сущности; сущность может участвовать во многих процессах, и процесс затрагивает много сущностей (отношение многие ко многим между E и P , которое в реляционной БД обычно реализуется отдельной таблицей связей).

На рисунке 2.3 показано, что документы привязаны к сущностям (например, у сущности «Изделие» могут быть документы: чертеж, спецификация, паспорт), а процессы используют документы (например, процесс «Изготовление партии» использует паспорт, спецификацию и т.д.). Связь между процессами и сущностями опосредована через документы, но можно ввести и прямую – например, указать, какие сущности создаются или изменяются данным процессом (для оценок использования, см. ниже). Такая модель данных позволяет отразить структуру КТПП: по ней мы можем хранить информацию о всех ключевых объектах, документах и процессах и их взаимодействиях.



Рисунок 2.3 – Фрагмент целевой модели данных (ER-диаграмма)

Определив формально исходные и целевые элементы, перейдем к правилам трансформации. Будем задавать правила в виде нумерованной последовательности шагов алгоритма. Каждый шаг берет определенные элементы IDEF0-модели и производит на их основе элементы модели данных. В совокупности шаги обеспечивают полный охват требуемых результатов – списков СПО, ДПО, БП [23, 24]. Ниже приводится методика трансформации IDEF0 в данные, разработанная на основе анализа, представленного в главе 1.

1. Извлечение бизнес-процессов (БП). Просматривается иерархия функций IDEF0-модели. Выбирается уровень детализации, на котором функции будут считаться базовыми процессами (например, все функции нижнего уровня декомпозиции). Каждая такая функция F_i включается в список процессов P с присвоением ей идентификатора (например, тот же номер A1, A21 и т.д.) и наименования) $name(F_i)$, а также, при наличии информации, других атрибутов (например, ответственного подразделения). Если уровень выбрано ограничить, то функции верхних уровней можно тоже внести как более крупные процессы либо опустить – это зависит от целей модели данных. Результат шага – таблица БП со строками: *Код процесса, Наименование, Описание/Ответственные*.

2. Выявление документов предметной области (ДПО). Собирается полный перечень всех потоков, указанных на диаграммах, исключая те, которые относятся к механизмам (ресурсам) и, возможно, управляющим воздействиям. Основное внимание уделяется *выходным* потокам функций верхнего уровня, а также *входным* потокам верхнего уровня (глобальным входам в модель). Каждый уникальный поток из этого перечня добавляется в список документов D с указанием названия $name(P)$ и типа. Тип документа можно определить по контексту или ключевым словам: например, если поток назван «Инструкция по охране труда», его тип – организационно-нормативный документ; если «Эскиз детали» - конструкторская документация; если «Отчет об испытаниях» - отчетный документ и т.д. Категоризация типа не обязательна, но полезна для последующей группировки. Также фиксируется, в каких процессах документ участвует – можно добавлять колонку *Связанные БП* (или два булевых поля: производится в процессе / используется в процессе). Результат шага – таблица ДПО со столбцами: *Код документа*, *Наименование*, *Тип/Категория*, *Связанные процессы*. Код (идентификатор) документу можно присвоить, например, D1, D2, ... либо использовать существующие обозначения из стандарта предприятия (КД, ТД и т.п.).

3. Формализация сущностей предметной области (СПО). Выполняется обобщение списка ДПО до списка СПО. Для этого анализируются названия документов из списка D : выявляются группы, относящиеся к одному и тому же объекту. Применяются правила лингвистического и онтологического анализа, как описано в 2.1. На практике: документы группируются по категориям, затем для каждой группы придумывается название сущности. Например, документы с типом «Конструкторская документация» и «Технологическая документация» естественно объединяются сущностью «Изделие» (т.к. и те, и другие относятся к изделию). Документы «Заявка», «Договор» можно объединить сущностью «Заказ». Документы «Наряд», «Отчет о работе» - сущность «Работа/Задание». Кроме того, добавляются сущности, которые не фигурировали как документы: выявляются объекты, упоминавшиеся в механизмах и управлении (например, «Оборудование»,

«Персонал», «Подрядчик» и т.п.) и включаются в список СПО. Также рекомендуется включить сущность «Проект/Продукт» - в машиностроении обычно есть понятие проекта разработки изделия, или самого изделия как продукта, который не сводится к одному документу. В нашем примере «Изделие» играет эту роль. Результат шага – таблица СПО со столбцами: *Код сущности*, *Название сущности*, *Категория*. В категорию можно ставить отметку, является ли сущность основной (производственной), граничной (внешний объект) или управляющей (норматив, роль).

4. Оптимизация и отбор сущностей. Полученный перечень сущностей может быть избыточным или содержать сущности, мало значимые для ИС. На этом этапе производится фильтрация: для каждой сущности оценивается коэффициент использования – в скольких процессах она фигурирует (через связанные с ней документы). Например, если сущность «Оснастка» задействована только в одном технологическом процессе из десяти, ее относительный коэффициент использования 0.1 (10%). Аналогично вычисляется доля для всех сущностей. Если какие-то сущности имеют крайне низкий показатель (меньше заданного порога), можно принять решение *«не реализовывать их в ИС»* (т.е. исключить из списка СПО), чтобы не усложнять систему ради редкого случая. Однако такое исключение не должно происходить автоматически – оно оформляется решением экспертов предметной области. Кроме того, некоторые сущности могут быть добавлены обратно, даже если их метрика низка, если эксперты сочтут их критически важными (например, требования безопасности, которые встречаются редко, но игнорировать их нельзя). После коррекции список СПО считается финализированным – это и есть сущности, которые лягут в основу структуры базы данных.

5. Установление связей и атрибутов. Этот шаг скорее подготовительный к генерации БД: на основе соотношений между СПО, ДПО и БП определяем будущие отношения в базе. Каждая сущность E_k связана с набором документов $\{D_m\}$, которые были отнесены к E_k на шаге 3 – в БД это может быть реализовано либо через отдельные таблицы под каждый тип документа, либо через единую

таблицу «Document» с внешним ключом на сущность (как на рисунке 2.3). Выбирается подход в зависимости от объемов данных и требований (обычно – единая таблица документов с полем `entity_id`). Далее, между сущностями необходимо отразить связи, которые явно или неявно присутствовали в IDEF0. Явные связи можно увидеть, если один и тот же документ относится к двум сущностям – однако по правилам мы такого не допускали (каждый документ привязан к единственной сущности). Тогда связи лучше определить экспертно: например, если есть сущности «Изделие» и «Технологический процесс», очевидно, что один технологический процесс относится к одному изделию (связь 1-многим). Если есть сущности «Изделие» и «Материал», вероятно, изделия могут состоять из многих материалов, и материал может использоваться в разных изделиях (связь многие-ко-многим). Такие отношения часто можно взять из типовых моделей данных машиностроительных предприятий или ГОСТов на информационное моделирование [25, 26]. В рамках данной методики перечисление связей можно оформить списком: *Сущность A – Сущность B – тип связи* (например, *Изделие – Техпроцесс – 1_N* означает: у каждого изделия может быть несколько техпроцессов, у техпроцесса строго одно изделие). Атрибуты сущностей здесь глубоко не прорабатываются, но если исходные IDEF0 потоки содержали какие-то качественные параметры, их можно упомянуть. Например, поток «Перечень требований к изделию» может подсказать атрибут «Требования» у сущности «Изделие»; поток «Плановый срок изготовления» - атрибут «Плановый срок» у сущности «Техпроцесс» или сущности «Заказ». В принципе, на базе IDEF0 трудно извлечь конкретные атрибуты, поэтому в генераторе мы не пытаемся это делать, ограничиваясь структурой в виде сущностей и связей [27].

6. Генерация схемы базы данных. Имея финальный список сущностей и связей, можно приступить к построению схемы реляционной БД. Каждая сущность E_k становится таблицей, каждое свойство сущности (если бы мы выделили атрибуты) – полем таблицы. Документы могут стать отдельной таблицей Documents с колонками `doc_id`, `doc_name`, `doc_type`, `entity_id` (ссылается на связанную сущность). Процессы – отдельной таблицей Processes с колонками

proc_id, proc_name, Связь многие-ко-многим между сущностями (если требуется) реализуется промежуточной таблицей. Например, если сущность «Изделие» связана со сущностью «Материал» (изделие может содержать множество материалов, и материал используется в разных изделиях), то создается таблица Product_Material_Link с полями product_id и material_id. В нашем случае многие связи «сущность – документ» уже отражены напрямую через entity_id в таблице документов, а связь «сущность – процесс» можно отражать через таблицу Process_Participants с полями proc_id и entity_id (какая сущность участвует в каком процессе). Однако, если это избыточно, достаточно хранить связь документов с процессами: например, если нужно указать, какие документы потребляются или производятся процессом, можно иметь таблицу Process_Documents (полями proc_id, doc_id, role (input/output)).

Сгенерировав логическую схему, можно вывести соответствующий DDL (Data Definition Language)-скрипт для конкретной СУБД (в нашем случае – PostgreSQL). Скрипт состоит из команд CREATE TABLE для каждой таблицы, а также ALTER TABLE ... ADD CONSTRAINT для связей (foreign key). Ниже приведен пример фрагмента такого скрипта, соответствующего нашим спискам. Предположим, по результатам преобразования у нас выделены сущности «Изделие», «Техпроцесс», «Оснастка» и «Программа ЧПУ» (как отдельная информационная единица), а документы сведены до общих типов «Конструкторская_документация», «Технологическая_документация», «Документ_оснастки», «Файл_ЧПУ». Тогда DDL-фрагмент может выглядеть так как представлена на рисунке 2.4.

```

CREATE TABLE Product (
    product_id SERIAL PRIMARY KEY
    ,name TEXT NOT NULL
    ,category TEXT
);

CREATE TABLE TechProcess (
    process_id SERIAL PRIMARY KEY
    ,product_id INTEGER NOT NULL REFERENCES Product(product_id)
    ,name TEXT
    ,description TEXT
);

CREATE TABLE Tooling (
    tooling_id SERIAL PRIMARY KEY
    ,name TEXT
    ,type TEXT
);

CREATE TABLE CNC_Program (
    program_id SERIAL PRIMARY KEY
    ,product_id INTEGER REFERENCES Product(product_id)
    ,process_id INTEGER REFERENCES TechProcess(process_id)
    ,file_path TEXT
);

-- Связанные документы (обобщенно)
CREATE TABLE Document (
    doc_id SERIAL PRIMARY KEY
    ,doc_name TEXT
    ,doc_type TEXT
    ,product_id INTEGER REFERENCES Product(product_id)
    ,process_id INTEGER REFERENCES TechProcess(process_id)
);

```

Рисунок 2.4 – Пример DDL SQL

В реальности, структура может быть иной (например, можно иметь отдельные таблицы для разных типов документов, но тогда их связывать придется через код или делать наследование таблиц). В приведенном случае сделано упрощение: таблица Document ссылается и на Product, и на Process, что означает: документ либо относится к объекту, либо к процессу, либо и к тому и другому. Например, конструкторская документация будет иметь ссылку только на Product, технологическая – на Product и на TechProcess (если конкретный документ связан с конкретным процессом), документ оснастки – на Tooling (здесь нет столбца, но можно добавить tooling_id), ЧПУ-программа – вместо Document выведена отдельной таблицей CNC_Program, которая связывает и изделие, и процесс, и имеет путь к файлу. Этот пример демонстрирует, что конкретная схема БД может быть сложнее, чем просто транслировать «один документ = одна таблица». Мы здесь скорее иллюстрируем принцип трансформации. В любом случае, наличие формального списка сущностей и документов существенно облегчает написание

такого скрипта: разработчик видит, какие нужны таблицы, какие поля (как минимум имя и внешний ключ), какие связи. Прототипический конвертор может даже сгенерировать черновой DDL автоматически. Конечно, финальная доработка (добавить недостающие поля, индексы, триггеры) делается уже вручную на основе требований ИС.

Обобщая, правила преобразования IDEF0 → модель данных можно свести к схеме: «Функции → Процессы, Потoki → Документы, Группы потоков → Сущности». Именно эти соответствия закладываются в алгоритм, описанный в следующем разделе.

Для реализации описанных правил был разработан программный конвертор IDEF0-моделей, основной частью которого является скрипт на языке Python. Конвертор разработан в виде консольного приложения, принимающего в качестве входных данных описание IDEF0-модели и выдающего файлы со списками СПО/ДПО/БП и SQL-скрипт создания таблиц [28]. Архитектуру решения можно описать следующими компонентами:

- Модуль ввода данных модели. Отвечает за чтение исходной модели. Так как нотация IDEF0 обычно диаграммная, были рассмотрены варианты: (а) использовать результаты экспорта из CASE-средств (например, в формате XML или CSV), (б) задавать модель вручную в виде структур данных Python. Для прототипа выбран упрощенный путь (б): модель хранится в виде словарей и списков внутри скрипта. Например, задан список функций и для каждой перечислены ее входы/выходы. В будущем, модуль можно заменить на парсинг XML, например, из файла, выгруженного из CASE-системы.
- Модуль правил трансформации. Содержит реализации шагов 1-5 из раздела 2.2. Он оперирует структурами данных: собирает имена процессов, документов, выполняет группировку по шаблонам и т.д. Здесь сконцентрирована основная логика преобразования (по сути, это и есть *ядро* конвертора).
- Модуль генерации выходных данных. Формирует текстовые файлы: список сущностей (например, в CSV-формате), список документов, список процессов и DDL-скрипт.

- Конфигурационные словари и шаблоны. В скрипт включены словари для классификации документов. Например, словарь `doc_to_entity` может содержать пары ключевых слов и названий сущностей: «документация»:«Изделие», «спецификация»:«Изделие», «чертеж»:«Изделие», «оснастка»:«Оснастка», «программа»:«Программа ЧПУ», Этот словарь используется на шаге 3 для группировки документов. Также есть список стоп-слов для исключения (например, [«стандарт», «система качества»] – чтобы такие потоки не трактовать как документы).
- Журнал и отчеты. Конвертор ведет лог преобразования: сколько функций обработано, сколько документов найдено, какие объединения документов в сущности произведены. Это нужно для валидации и отладки правил.

Архитектура конвертора схематически представлена на диаграмме (рисунок 2.5).

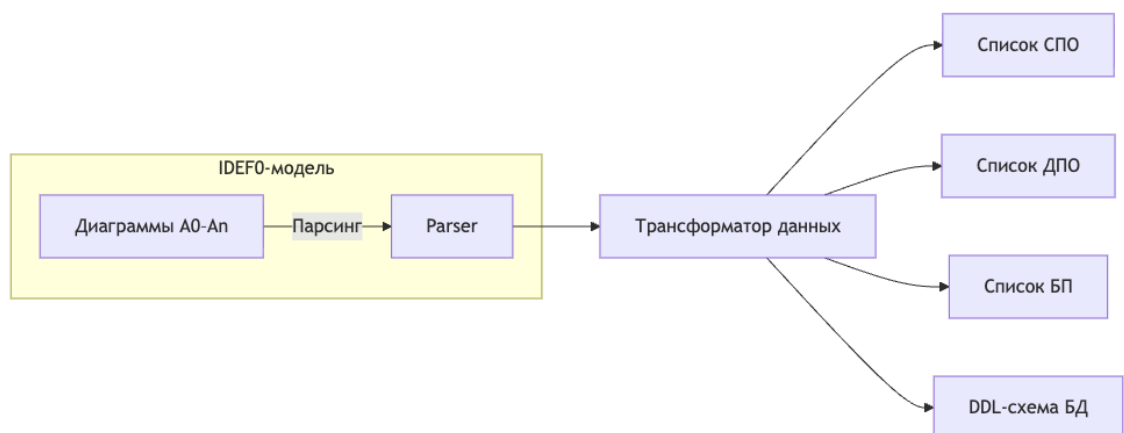


Рисунок 2.5 – Архитектура программного конвертора IDEF0 в Data Model

На рисунке 2.5 видно, что конвертор берет диаграммы IDEF0 (представленные в виде данных после парсинга) и через модуль трансформации генерирует четыре основных артефакта: списки СПО, ДПО, БП и схему базы данных. Эти результаты затем могут быть использованы для настройки PDM-системы или встраивания в проект разрабатываемой ИС.

Перейдем к реализации. Прототип написан на Python 3 с использованием стандартных библиотек (для работы с CSV, генерации SQL и т.д.) [29]. На рисунке 2.6 приведён фрагмент кода, иллюстрирующий ключевые шаги алгоритма – сбор документов и группировка их в сущности.

```

1 # Представление модели IDEF0 (пример)
2 idef0_model = {
3     "A1": {
4         "name": "Разработка конструкции изделия", "inputs": ["ТЗ"],
5         "outputs": ["КД"],
6     },
7     "A2": {
8         "name": "Планирование технологии изготовления", "inputs": ["КД"],
9         "outputs": ["Технологическая карта"],
10    },
11    # ... (прочие процессы)
12 }
13
14 # Шаг 1: Сбор всех БП
15 bp_list = [{"code": code, "name": data["name"]} for code, data in idef0_model.items()]
16
17 # Шаг 2: Выявление всех ДПО (уникальных названий входов/выходов)
18 docs = {}
19 for bp, data in idef0_model.items():
20     for doc in data["inputs"] + data["outputs"]:
21         if doc not in docs:
22             docs[doc] = {"name": doc, "type": "документ"}
23
24 # Шаг 3: Первичная инициализация СПО (здесь упрощенно полагаем, что
25 # каждая ДПО соответствует одноименной сущности без детализации)
26 entities = {}
27 for doc in docs:
28     # Напр.: "КД" -> сущность "КД"
29     ent_name = doc # (В полном алгоритме здесь происходит обобщение названий)
30     if ent_name not in entities:
31         entities[ent_name] = {"name": ent_name}
32
33 # Шаг 4: Установление связей БП-ДПО и ДПО-СПО (для демонстрации печатаем по ходу)
34 for bp in bp_list:
35     bp_code = bp["code"]
36     involved_docs = idef0_model[bp_code]["inputs"] + idef0_model[bp_code]["outputs"]
37     print(f"Процесс {bp_code} использует документы: {' '.join(involved_docs)}")
38 # Пример вывода: "Процесс A1 использует документы: ТЗ, КД"
39
40 # ... (расчет коэффициентов использования, отбор сущностей и пр.)
41
42 # Шаг 6: Вывод итоговых таблиц (СПО, ДПО, БП)
43 print("СПО: {}, ДПО: {}, БП: {}".format(list(entities.keys()), list(docs.keys()),
44 [bp["code"] + " " + bp["name"] for bp in bp_list]))

```

Рисунок 2.6 – Прототип скрипта на Python

Если выполнить этот код, на выходе получим: список процессов *Processes*: [(«A1», «Конструкторская подготовка производства»), («A2», «Технологическая подготовка производства»), («A21», «Проектирование технологической документации»)]; список документов *Documents*: [«Ведомость оснастки», «Комплект КД изделия», «Комплект ТД изделия», «Маршрутная карта», «Технологический процесс»]; словарь группировки документов по сущностям,

например Entities: {«Изделие»: [«Комплект КД изделия», «Комплект ТД изделия»], «Оснастка»: [«Ведомость оснастки»], «Техпроцесс»: [«Технологический процесс», «Маршрутная карта»], «Прочие»: []}. Из этого видно, что выделены сущности: «Изделие», «Оснастка», «Техпроцесс» (технологический процесс) и пустая категория «Прочие» (сюда ничего не попало, значит все документы были классифицированы известными правилами). Именно такой набор сущностей и был ожидаем: изделие, техпроцесс, оснастка – они соответствуют предметной области нашего примера. Затем конвертор бы сгенерировал таблицы под эти сущности (например, Product, TechProcess, Tooling) и под документы (Document или отдельные таблицы на каждую категорию).

В промышленной реализации код, конечно, сложнее: нужно учесть декомпозицию функций (вложенные A21 внутри A2 и т.д.), не дублировать процессы разных уровней, аккуратно работать с текстом (нормализовать регистры, формы слов), поддерживать настройки. Тем не менее, даже прототип подтвердил работоспособность методики. В экспериментальных прогонах на модельных примерах (содержащих порядка 10-15 функций и 20-30 различных потоков) скрипт корректно собирал списки объектов, практически совпадающие с теми, что эксперт составлял вручную. В одном из примеров (взятом из реального проекта КТПП) автоматический сбор выявил ~30 документов, которые были обобщены в 5 сущностей; человек-аналитик вручную назвал 6 сущностей – скрипт не выделил отдельно одну из сущностей, объединив её документы с другими из-за отсутствия явного отличия по названию. Это говорит о том, что без онтологии не обойтись – некоторые семантические различия трудно уловить простыми правилами. Тем не менее, остальные 5 сущностей скрипт выделил верно и даже предложил варианты имен (в основном совпавшие с экспертными). Список процессов совпал полностью, что ожидаемо, ведь тут автоматизация тривиальна. Список документов один в один отразил все потоки на диаграммах. Таким образом, прототип подтвердил возможность автоматического получения черновой табличной модели из описания IDEF0.

Конечно, существуют ограничения: на этапе обобщения документов

требуется тонкая настройка под конкретное предприятие (заложить терминологию). Однако даже частичная автоматизация приносит пользу – рутинный сбор данных с диаграмм и составление перечней выполняется машиной за доли секунды, тогда как вручную это часы работы. Эксперт может сосредоточиться на анализе результатов, вместо переписывания списков.

Что касается генерации схемы БД, то здесь прототип выдал только базовые таблицы. Для использования в реальном проекте ИС, разработчикам всё равно пришлось бы доработать схему: добавить недостающие атрибуты (например, поля `description`, `create_date`, `author` и др.), оптимизировать связи (возможно, убрать лишние таблицы, если решено, что, скажем, документ – это не отдельная сущность в БД, а просто файл при объекте). Тем не менее, как шаблон для старта, сгенерированный DDL очень полезен: он гарантирует, что все объекты, показанные на диаграммах, не забыты при проектировании БД.

Апробация на примере предприятия. Проведем кратко сценарий применения конвертора для кейса ООО «Волгабурмаш». В рамках консультационного проекта на данном предприятии была разработана модель «как должно быть» с помощью IDEF0, охватывающая ключевые процессы КТПП – от получения конструкторского заказа до запуска изделия в серию. Диаграммы были достаточно крупными: около 25 функций уровня A1/A2 и более 100 различных наименований потоков (включая документы, материалы, сигналы). Экспертами предприятия был вручную составлен перечень данных, подлежащих учету в новой информационной системе: порядка 15 сущностей (изделие, сборочная единица, деталь, материал, маршрут, оборудование, цех, заказ, и др.), 8 основных типов документов (КД, ТД, Норматив, План-график, и пр.) и несколько десятков бизнес-процессов (многие из которых соответствовали стандартным управленческим процедурам, таким как утверждение изменений, контроль качества и т.д.). Мы пропустили через конвертор упрощенную версию их модели (сведенную до основных потоков) и получили автоматом ~12 сущностей и сопоставление документов к ним. Скрипт, например, выделил сущность «Изделие», объединив чертеж, 3D-модель, технологическую карту; сущность «Производство» - объединив план-график, отчет о выпуске;

сущность «Заказ» - по документам заказчика; «Норматив» - по стандартам и регламентам; «Оборудование» - по упоминаниям станков и оснастки. Некоторых сущностей, которые были у экспертов (например, «Цех»), скрипт не назвал явно, потому что документы, отражающие цех, имели имена типа «Ведомость загрузки оборудования» - он присвоил их к «Оборудование». Однако если донастроить словарь, указав что слово «оборудования» и «цех» различаются, то можно улучшить результат. В итоге, с некоторой доводкой, автоматизированный подход вполне смог бы сэкономить время при подготовке технического задания для PDM-системы: вместо ручного перечня классов можно было получить его программно и затем откорректировать. В случае «Волгабурмаш» оценить экономию ресурсов сложно постфактум, но субъективно аналитики отметили, что явно формализованная методика выделения СПО/ДПО помогла им структурировать исходные требования и ничего не забыть.

Оценка эффективности. Автоматизация преобразования моделей дала наиболее ощутимый эффект в показателе *времени разработки концептуальной схемы данных*. Если ручное моделирование данных для среднего проекта (до 100 объектов) занимает, допустим, 2-3 недели, то с помощью прототипа этот процесс можно сократить до нескольких дней, поскольку значимое время экономится на этапе сбора исходной информации. Чтобы количественно оценить выгоду, можно использовать метрику: коэффициент автоматизации = (количество объектов, полученных автоматически/общее количество объектов)*100%. В наших испытаниях этот коэффициент составил порядка 80-90% (т.е. большинство сущностей и документов были найдены скриптом, только 10-20% пришлось добавлять или править вручную). Естественно, качество автоматического результата должно проверяться экспертом – и на это тратится время, но оно гораздо меньше, чем если бы эксперт делал всё с нуля. Кроме того, повышается полнота: машина не «забывает» просмотреть какой-нибудь поток, тогда как человек может упустить мелкий документ. Таким образом, можно говорить об улучшении качества проектирования. Что касается *сложности реализации* конвертора, то она невысока: используются простые методы парсинга и строкового анализа,

доступные в любом современном языке программирования. Это означает, что подход воспроизводим и может быть совершенствован (например, заменить шаблонный поиск на семантический разбор с использованием библиотек NLP для русского языка, что повысит точность группировки документов).

Далее будет представлена методология по созданию конвертеров документооборота, что позволяет упростить управление производственными данными и автоматизировать рутинные задачи по ведению документации, обеспечивая точность и согласованность информации между различными подразделениями. [30]

Современные информационные системы, используемые для управления производством, требуют чёткой синхронизации информации между различными компонентами производственной цепочки. Далее представлены математические модели, которые служат основой для такого объединения. Они помогают организовать данные, обеспечивая их ясность и правильность на всех уровнях производственной системы. Этот подход позволяет установить формальные взаимосвязи между параметрами отчетности, процессами и ресурсами предприятия. Предложенные модели поддерживают не только оперативное управление, но и долгосрочное планирование. Важной частью интеграции является система отчетности, которая обеспечивает обратную связь и накопление данных, что позволяет анализировать текущие процессы и корректировать производственные операции в режиме реального времени. Ниже представлена математическая модель отчетности, которая играет ключевую роль в автоматизированных системах управления производственными процессами.

Базовым элементом предлагаемого математического представления информационной системы является структура отчёта. Формула структуры отчёта имеет следующий вид:

$$R = (t, \{d_i\}, \xi), \quad (2.1)$$

где t – момент времени актуальности отчета, $\{d_i\}$ – множество данных, непосредственно показатели отчета, ξ – специальное отношение на множестве $\{\xi_i\}$, определяющее шаблон отчета. Множество $\{\xi_i\}$ – реестр существующих отчетов.

Математическое представление шаблонов отчетов может иметь вид отношения документирования [1]:

$$R = \{(\xi_i, D_k)\}, \quad (2.2)$$

где D_k – документация предприятия.

Отчётность предприятия включает в себя:

- отчет по параметрам процессов;
- отчет по параметрам контроля;
- отчет по параметрам ресурсов;
- отчет по параметрам обеспечения.

За каждым отчетом закрепляется ответственный за составление отчета. В качестве ответственного может быть как сотрудник, так и структурное подразделение предприятия.

Математическое выражения отчета по параметрам процессов может быть представлено в виде формулы:

$$\mu_{PEn} = \{(p_i^E(P_j), \xi_k, O_m)\}, \forall p_i^E(P_j), \quad (2.3)$$

где P_j – бизнес-процесс, неделимая технологическая операция, $p_i^E(P_j)$ – параметр управления, значение которого обеспечивает наблюдаемость процесса P_j , ξ_k – форма отчета, O_m – подразделение или сотрудник, ответственный за составление отчета.

Математическое выражения отчета по параметрам контроля может быть представлено в виде формулы:

$$\mu_{PC} = \{(p_i^C(P_j), \xi_k, O_m)\}, \forall p_i^C(P_j), \quad (2.4)$$

где $p_i^C(P_j)$ – параметр контроля.

Формула отчета по параметрам ресурсов:

$$\mu_{PL} = \{(a_i(U_j), \xi_k, O_m)\}, \forall a_i(U_j), \quad (2.5)$$

где $a_i(U_j)$ – параметр ресурсов U_j .

Формула отчета по параметрам обеспечения:

$$\mu_{PL} = \{(a_i(E_j), \xi_k, O_m)\}, \forall a_i(E_j), \quad (2.6)$$

где $a_i(E_j)$ – параметр обеспечения E_j .

Применение этих формул в администрировании АСТПП поможет улучшить текущие процессы и подготовить новое поколение специалистов. Эти специалисты смогут эффективно управлять информационными потоками на предприятиях с комплексными производственными задачами.

Рассмотрим моделирование бизнес-процессов в АСТПП. Одним из способов повышения эффективности является использование PDM и CAD/CAM систем, с помощью которых может быть создана целостная интеграционная среда, охватывающая весь жизненный цикл изделия.

CAD/CAM системы являются важными инструментами в автоматизации проектирования и управления производственными процессами. С помощью них создаются трехмерные модели изделий, разрабатываются чертежи и технологические маршруты, а также составляются программы на ЧПУ станках. Применение CAD/CAM систем существенно сокращает время на проектирование и изготовление, что, в свою очередь, снижает затраты на выпуск изделия. Кроме этого, CAD/CAM системы позволяют проводить моделирование производственных процессов. На основе результатов моделирования можно выявлять различные ошибки, которые могут быть устранены до начала производства. Данные системы не могут учитывать всех особенностей производственного процесса, в связи с чем требуется дополнительная доработка инженерами-технологами. Кроме этого, для повышения эффективности использования CAD/CAM систем, они должны быть интегрированы с информационными системами предприятия, например, с PDM системами [2].

PDM системы используются в целях управления данными об изделии на всех этапах его жизненного цикла. С помощью них формируется единая база данных, которая содержит результаты деятельности различных подразделений и обеспечивает актуальность информации. Это позволяет автоматизировать процесс управления конструкторской и технологической документацией. Кроме этого, PDM системы обеспечивают контроль версий документов, что упрощает управление изменениями и позволяет существенно снизить вероятность совершения ошибок.

Как правило сложности внедрения CAD/CAM систем не равнозначны. Это

касается не только временного аспекта внедрения PDM-системы. Зачастую внедрение PDM-системы может потребовать структурных изменений как на уровне отдельных отделов, так и на уровне предприятия в целом. Смена основных рабочих процессов специалистов может быть воспринята неоднозначно. Дополнительной трудностью на пути внедрения PDM-системы может оказаться отсутствие как минимальной технической инфраструктуры, так и специалистов, способных настраивать и сопровождать систему. В силу своей массовости изменений, подобные проекты по внедрению рассчитаны на длительный период времени, что в случае неприятия изменений сотрудниками может привести в сомнениях в конечном результате. Внедрение может осложниться тем, что руководителям отделов или предприятия в целом требуется серьёзное вовлечение в процесс перехода, что неизбежно вызовет пересмотр актуально рабочей нагрузки на текущих задачах.

Перечисленные трудности актуальны не только при внедрении PDM-системы на предприятии впервые, но и при переходе на другие PDM-системы, значительном преобразовании подходов работы с АСТПП. Для минимизации этих трудностей предлагается возможность осуществления внедрения системы последовательно. Для этого основная информационная система должна иметь возможность поэтапного внедрения PDM-системы с постепенным расширением функционала. Возможность постепенного насыщения функционалом позволяет адаптировать скорость внедрения под уровень технической грамотности каждого специалиста и под текущие проектные нагрузки отделов. После закупки базовых средств PDM обучение пользователей может быть совмещено с созданием типовых методик конструирования компонентов. Возможность оценить преимущества использования отдельных блоков PDM-системы увеличит мотивацию сотрудников по расширению внедрения других бизнес-процессов. Для этого на этапе предпроектного анализа достаточно выделить ключевые бизнес-сценарии в зависимости от типа позиционирования производства. Например, при поточном производстве ключевым сценарием является ввод структуры изделия по шаблону. Финальным этапом внедрения является ежедневное применение PDM-системы в

промышленных целях.

Одной из основных задач автоматизированного рабочего места (АРМ) технолога является управление данными о продукте на всех стадиях его жизненного цикла. Система должна обеспечивать доступ к единой базе данных, содержащей всю информацию о продукте, включая конструкторскую документацию и технологические маршруты. Это позволяет технологам оперативно получать необходимую информацию и при необходимости вносить изменения в технические процессы. Важно, чтобы АРМ технолога поддерживало возможность работы нескольких специалистов одновременно с одними и теми же данными. Это необходимо для эффективного взаимодействия между различными подразделениями предприятия, особенно в условиях работы с большими проектами. Такая функциональность сокращает время согласования технических процессов и повышает скорость их внедрения. АРМ должно включать инструменты для анализа и оптимизации существующих технологических процессов. Это может быть реализовано через встроенные модули для анализа данных, мониторинга производственных показателей и оценки эффективности работы оборудования. Благодаря этому, технологи смогут принимать более обоснованные решения по изменению техпроцессов и повышению их эффективности.

Одним из ключевых аспектов АСТПП является управление бизнес-процессами на всех этапах жизненного цикла изделия [3]. В современных условиях производственные системы становятся все более сложными, что требует четко выстроенной структуры взаимодействия между различными подразделениями на всех этапах производственного процесса.

Моделирование бизнес-процессов позволяет эффективно управлять информационными потоками, отслеживать выполнение задач и вносить необходимые коррективы в работу предприятия в реальном времени. Далее будет рассмотрено, как используются средства PDM-систем для моделирования, администрирования и управления бизнес-процессами в рамках АСТПП. Для этого последовательно рассмотрим диаграммы вариантов использования от

укрупнённого представления к более детализированным.

Одной из задач моделирования является обеспечение взаимодействия между конструкторами и технологами на базе единой системы, что позволяет минимизировать ошибки и оптимизировать временные затраты.

На рисунке 2.7 представлена общая диаграмма вариантов использования PDM-системы.



Рисунок 2.7 – Диаграмма вариантов использования PDM-системы

Блок «Управление процессами» отвечает за создание, контроль и оптимизацию всех бизнес-процессов в рамках производственной системы. Этот блок координирует выполнение задач на различных этапах, обеспечивает их согласованность и отслеживает статус каждого процесса, чтобы поддерживать эффективность и управляемость производства. Блок «Интеграция с ERP-системой» позволяет системе PDM взаимодействовать с ERP-системой предприятия [4]. Это обеспечивает бесшовный обмен данными, такими как материалы, заказы, управление запасами и производственные графики. Интеграция упрощает управление ресурсами и синхронизирует данные между разными модулями формируя бесшовный механизм передачи информации. Блок «Календарное планирование» предназначен для планирования производственных процессов на временной шкале. Он позволяет назначать задачи, устанавливать сроки выполнения, распределять ресурсы и следить за прогрессом по каждому проекту.

Благодаря календарному планированию обеспечивается соблюдение сроков и оптимизация загрузки ресурсов.

Блоки «Управление хранением данных», «Управление конструкторской подготовкой производства» и «Управление технологической подготовкой производства» требуется реализовать при внедрении пилотного проекта. Блок «Управление хранением данных» поддерживает структурированное хранение всех данных, связанных с производственным процессом, включая технологическую и конструкторскую информацию. Этот блок гарантирует, что данные будут доступны, защищены и организованы для быстрого и удобного доступа пользователями. Решение вопроса хранения полностью закрывается с помощью встроенных механизмов PDM- системы, и не требует доработок.

Блок «Управление конструкторской подготовкой производства» отвечает за ведение конструкторских данных, включая создание, хранение и обновление чертежей, спецификаций и классификаторов. Блок обеспечивает доступ к актуальным данным по проектам и позволяет конструкторам эффективно управлять информацией, необходимой для производства.

На рисунке 2.8 детализирована диаграмма вариантов использования для блока «Управления конструкторской подготовкой производства»

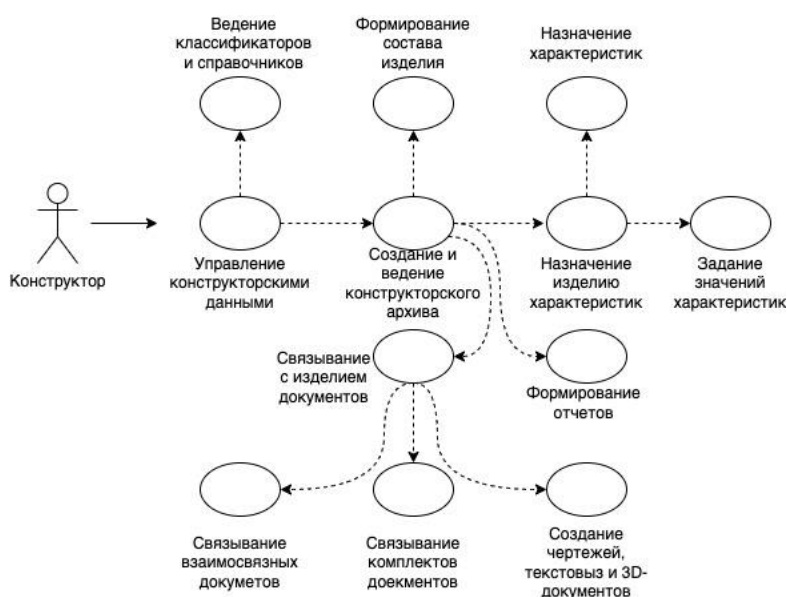


Рисунок 2.8 – Диаграмма вариантов использования для блока «Управления конструкторской подготовкой производства»

Актантом на данной диаграмме является «Конструктор». Он выполняет основные действия по управлению конструкторскими данными. Такие как: «Создание и ведение конструкторского архива» и «Ведение классификаторов и справочников». Вариант использования «Создание и ведение конструкторского архива» включает кроме всего прочего также вариант использования «Формирование отчетов». Формируемые отчеты должны соответствовать требованиям единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и не нарушать существующих ГОСТов [5].

Блок «Управление технологической подготовкой производства» отвечает за координацию процессов, связанных с разработкой и внедрением технологических маршрутов и документации. Этот блок управляет архивом технологических данных, поддерживает актуальные сведения по процессам и помогает технологам разрабатывать последовательности операций для производства изделий.

На рисунке 2.9 детализирована диаграмма вариантов использования для блока «Управление технологической подготовкой производства»

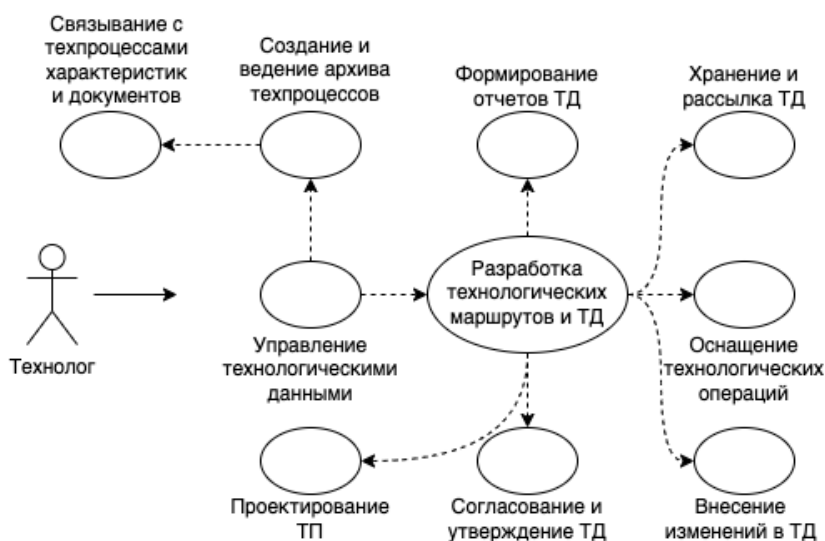


Рисунок 2.9 – Диаграмма вариантов использования для блока «Управления технологической подготовкой производства»

Основным вариантом использования является «Управление

технологическими данными». Актантом на данной диаграмме является «Технолог», который выполняет все основные действия по управлению технологическими данными. Такие как: «Создание и ведение архива техпроцессов» и «Разработка технологических маршрутов и ТД». Вариант использования «Создание и ведение архива техпроцессов» включает вариант использования «Формирование отчетов».

В PDM-системе бизнес-процессы организуются с помощью технологий workflow, которые автоматизируют управление потоками производственных заданий. Эти методы обеспечивают согласованное выполнение задач и координацию всех этапов производства [6].

Система управления бизнес-процессами выполняет несколько ключевых функций: создание схем процессов, контроль за их выполнением, управление этапами и учет документов. Она распределяет задачи между участниками с учетом их должностей и поддерживает взаимодействие между ними. На рисунке 2.10 представлена диаграмма вариантов использования для создания схемы бизнес-процесса.

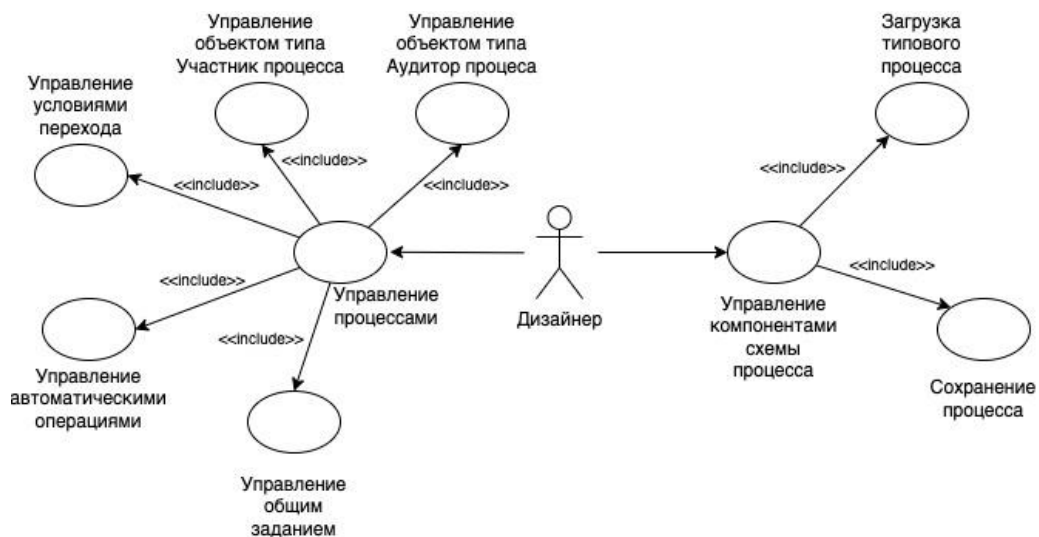


Рисунок 2.10 – Прецеденты создания схемы бизнес – процесса

В центре находится функция «Управление процессами», которая включает в

себя такие задачи, как «Управление общим заданием», «Управление автоматическими операциями», и «Управление условиями перехода». Основным пользователем системы является дизайнер, который взаимодействует с различными компонентами, такими как сохранение процессов и загрузка типовых процессов. Дополнительно включены функции управления участниками и аудиторами процессов, что помогает в координации и контроле выполнения задач.

На рисунке 2.11 представлена диаграмма вариантов использования для администрирования бизнес-процессов.

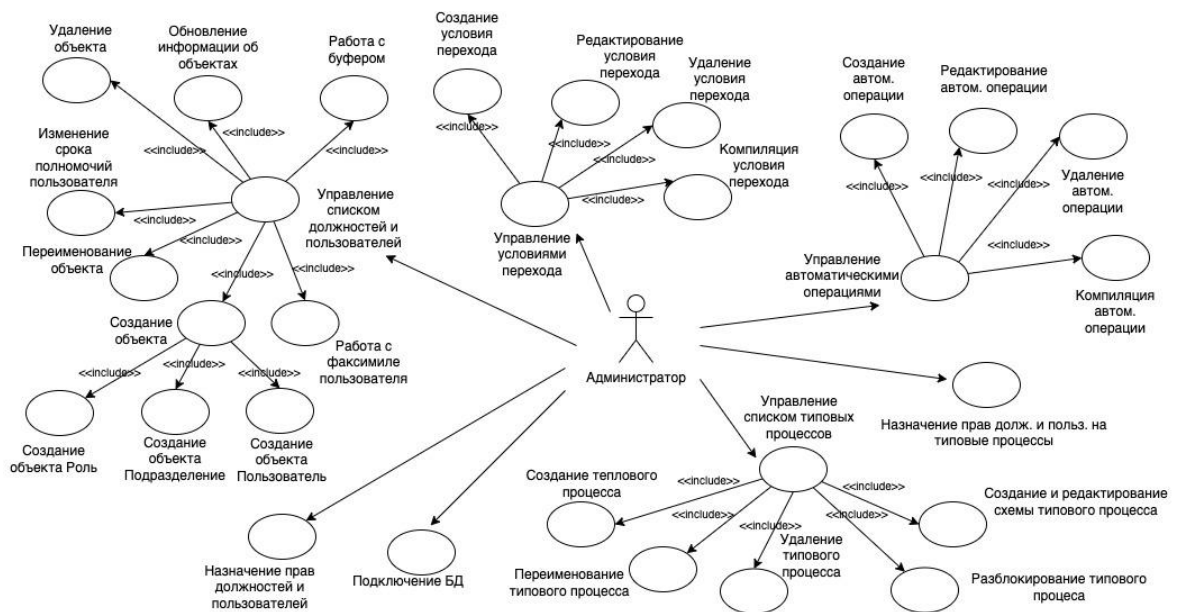


Рисунок 2.11 – Прецеденты администрирования бизнес – процессов

Центральной фигурой является администратор, который выполняет такие задачи, как создание объектов, управление списком пользователей, а также редактирование и удаление процессов. Также администратор назначает права на типовые процессы и управляет автоматическими операциями, что позволяет эффективно контролировать и координировать работу всех участников процесса. Взаимосвязанные функции помогают поддерживать структуру и последовательность бизнес-процессов в системе.

На рисунке 2.12 показана диаграмма вариантов использования для автоматизации бизнес-процессов.

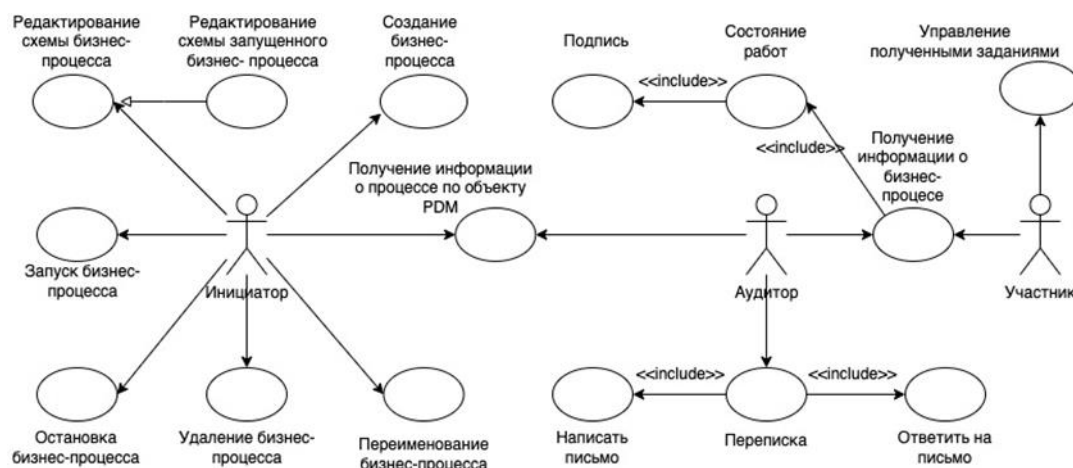


Рисунок 2.12 – Автоматизация бизнес – процессов (диаграмма вариантов использования)

Основной фигурой является инициатор, который управляет процессами: создаёт, запускает, останавливает, переименовывает и удаляет бизнес-процессы. Участники бизнес-процессов могут принимать задания, отслеживать состояние работ, получать информацию и взаимодействовать через систему переписки. Аудитор также имеет доступ к информации о процессах и может контролировать их выполнение, обеспечивая прозрачность и надзор.

Диаграмма вариантов использования показывает, какие функции выполняет система и какие из них можно автоматизировать. Сначала нужно выделить основные функции, а затем, разложив их на части, определить нужный уровень детализации [7]. Это помогает понять, как точно и эффективно система будет работать.

Пример схемы бизнес – процесса в PDM – системе приведен на рисунках 2.13 и 2.14. Это бизнес – процесс изменения структуры объекта.

На рисунках 2.13 и 2.14 представлены схемы бизнес-процессов, созданные в PDM-системе. Оба процесса демонстрируют этапы работы, начиная с и заканчивая завершением с различными участниками, которые принимают решения на каждом этапе.

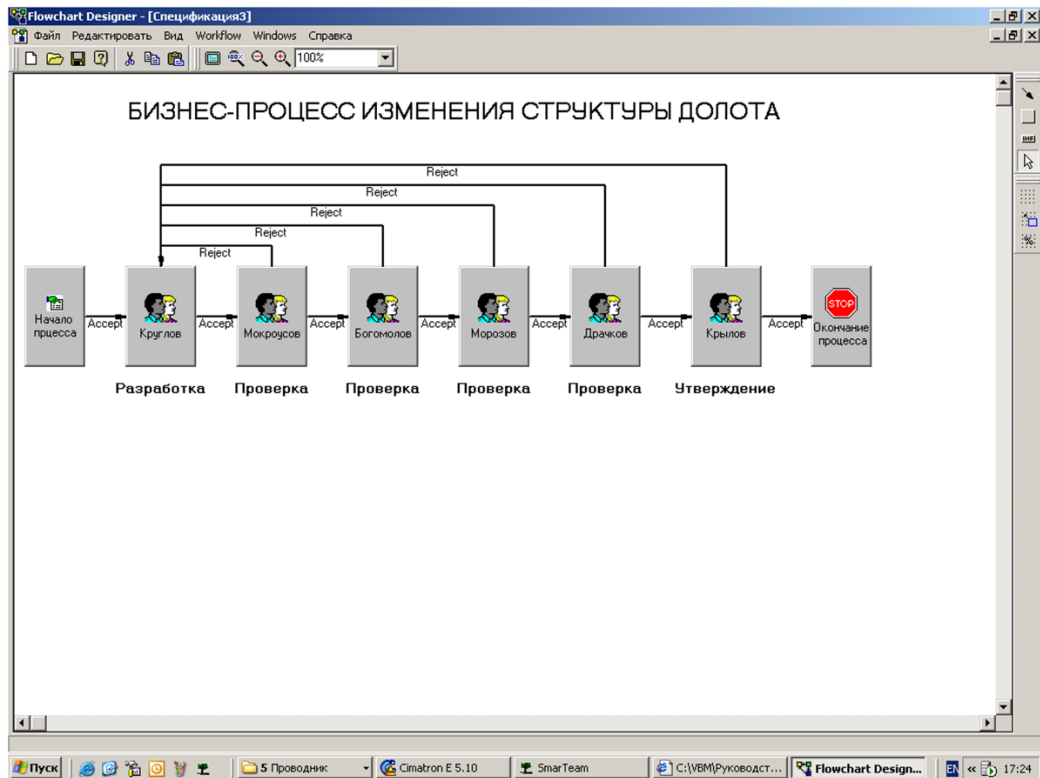


Рисунок 2.13 – Схема бизнес-процесса. Пример 1

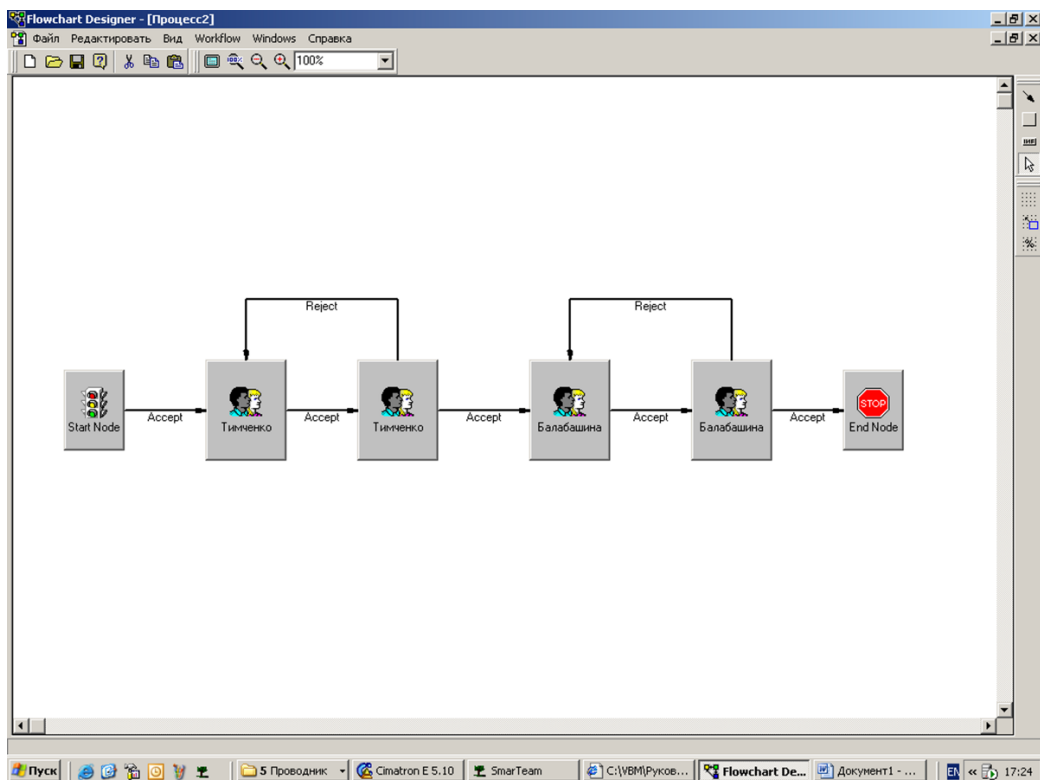


Рисунок 2.14 – Схема бизнес-процесса. Пример 2

На рисунке 2.13 показан процесс изменения структуры изделия, где несколько участников выполняют разработку, проверку и утверждение. Важным элементом является возможность отклонения (Reject), что приводит к возврату

процесса на предыдущие этапы.

На рисунке 2.14 схематично изображён более простой процесс, включающий меньшее количество участников и меньший объём проверок. Здесь также присутствует возможность отклонения решений и возврата на предыдущие шаги.

Главное отличие – сложность процесса и количество участников: первый процесс более комплексный, с большим числом проверок и участников, а второй процесс упрощённый, с меньшим количеством шагов.

Результаты функционального моделирования используются для выделения трёх основных компонентов информационной модели:

$$E = \{E_k\},$$

где E — множество сущностей предметной области;

$$D = \{D_m\},$$

где D — множество документов предметной области;

$$P = \{P_n\},$$

где P — множество базовых бизнес-процессов.

Для формирования множества документов рассматриваются преимущественно входные и выходные потоки функций:

$$S = \bigcup_{F_i \in F} (I(F_i) \cup O(F_i)),$$

$$D = \{name(s) \mid s \in S\}.$$

Отображение документа в сущность может быть задано как:

$$entity: D \rightarrow E.$$

Тогда множество сущностей определяется выражением:

$$E = \{entity(d) \mid d \in D\}.$$

Множество процессов формируется на выбранном уровне декомпозиции функциональной модели. Для каждого процесса устанавливаются используемые и создаваемые документы, ответственные подразделения и требования к информационной поддержке.

Рассмотрим состав сущностей, документов и процессов (таблицы 2.1, 2.2, 2.3)

Таблица 2.1 — Рекомендуемый состав сущностей предметной области

Код	Сущность	Категория	Назначение в PDM-системе
СПО_1	Изделие	Основная производственная	Центральный объект структуры изделия
СПО_2	Сборочная единица / деталь	Основная производственная	Компоненты состава изделия
СПО_3	Технологический процесс	Процессная	Хранение маршрутов, операций и режимов
СПО_4	Оснастка и инструмент	Ресурсная	Связь с операциями и изделиями
СПО_5	Программа ЧПУ	Информационная	Управление файлами, версиями и применяемостью
СПО_6	Материал	Ресурсная	Нормативно-справочная информация
СПО_7	Заказ	Граничная	Инициация проекта и связь с требованиями
СПО_8	Проект КТПП	Организационная	Планирование и контроль выполнения работ
СПО_9	Подразделение / роль	Организационная	Ответственность и права доступа
СПО_10	Стандарт / норматив	Управляющая	Управление требованиями и регламентами

Таблица 2.2 — Рекомендуемый состав документов предметной области

Код	Документ	Связанная сущность	Основные процессы
ДПО_1	Комплект КД	Изделие	Конструкторская подготовка, разработка ТД
ДПО_2	3D-модель	Изделие	Конструирование, технологическая подготовка
ДПО_3	Спецификация	Изделие	Формирование структуры изделия
ДПО_4	Маршрутная карта	Технологический процесс	Разработка и согласование ТД
ДПО_5	Операционная карта	Технологический процесс	Разработка и внедрение ТП
ДПО_6	Ведомость оснастки	Оснастка	Подготовка производства

Продолжение таблицы 2.2

ДПО_7	Программа ЧПУ	Программа ЧПУ	Подготовка и отладка производства
ДПО_8	План-график КТПП	Проект КТПП	Управление сроками
ДПО_9	Отчёт о выполнении КТПП	Проект КТПП	Анализ результативности
ДПО_10	Акт внедрения техпроцесса	Технологический процесс	Завершение внедрения

Таблица 2.3 — Базовые бизнес-процессы КТПП

Код	Наименование процесса	Ответственное подразделение
A1	Конструкторская подготовка производства	Конструкторское подразделение
A2	Технологическая подготовка производства	Технологическое подразделение
A21	Проектирование технологической документации	Бюро технологий
A22	Подготовка оснастки и инструмента	Инструментальное бюро
A23	Разработка программ ЧПУ	Бюро программирования
A24	Внедрение технологического процесса	Технологическое подразделение и производство
A25	Управление изменениями	Уполномоченные подразделения
A26	Согласование и утверждение документации	Конструкторское и технологическое подразделения

Архитектура PDM-системы включает уровни объектов, документов, процессов, ролей и интеграции (рисунок 2.15). Центральным объектом является изделие, с которым связаны компоненты структуры, комплект КД, технологические процессы, технологические документы, оснастка, материалы и программы ЧПУ. Объекты обладают атрибутами, версиями, статусами жизненного цикла и связями применяемости.



Рисунок 2.15 — Укрупнённая объектная модель PDM-системы

В качестве средства поддержки формирования объектной архитектуры может быть использован программный конвертор функциональных моделей. Конвертор выполняет обработку функций и потоков IDEF0, формирует предварительные перечни документов, сущностей и процессов, а также может генерировать табличное представление и черновую схему базы данных.

Конвертор не заменяет экспертное решение. Его роль состоит в сокращении рутинной трудоёмкости сбора информации, повышении полноты анализа потоков и обеспечении трассируемости перехода от функциональной модели к элементам конфигурации PDM-системы (рисунок 2.16).

Архитектура программно-методического средства формирования информационной модели PDM

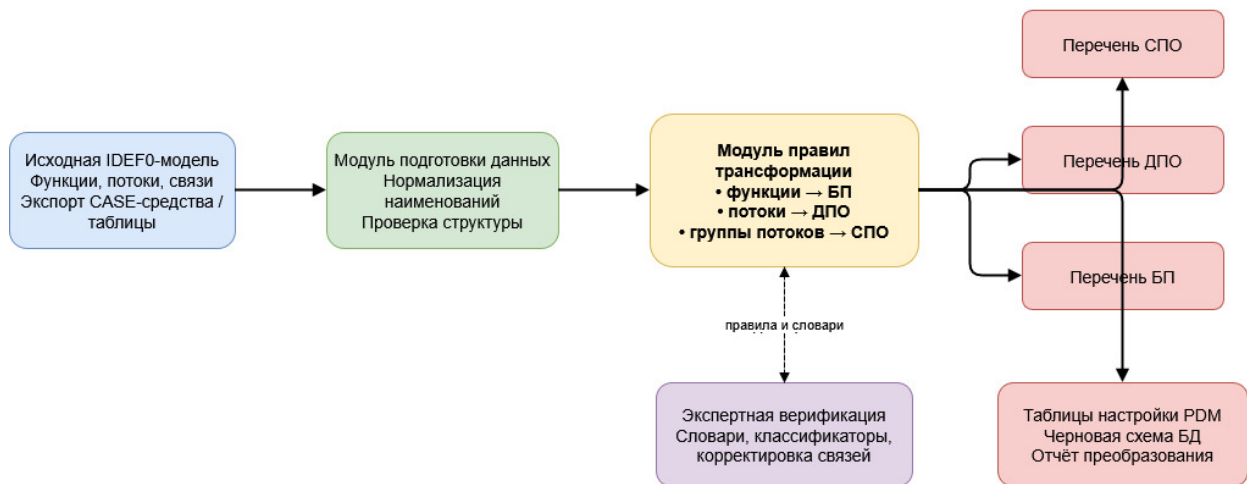


Рисунок 2.16 — Архитектура программно-методического средства

2.5. Выводы по главе 2

1. Разработана методика внедрения PDM-системы, включающая обследование, функциональное моделирование, формирование целевой модели, проектирование объектной архитектуры, настройку, опытную эксплуатацию и оценку результатов.
2. Предложено использовать SADT/IDEF0-моделирование как основу выделения функций, потоков, документов, сущностей и процессов КТПП.
3. Разработано формальное представление перехода от функциональной модели к перечням СПО, ДПО и БП.
4. Обоснована объектно-ориентированная архитектура PDM-системы, обеспечивающая связность объектов, документов, процессов, ролей и интеграционных интерфейсов.

3 Разработка критериев и интегрального индекса эффективности внедрения PDM-системы

3.1 Система критериев оценки внедрения PDM – системы в КТПП

Оценка эффективности внедрения PDM-системы должна базироваться на следующих принципах:

- системности, предполагающей охват различных аспектов организационно-информационных процессов;
- измеримости и воспроизводимости показателей;
- сопоставимости состояний до и после внедрения;
- учёте специфики предприятия и пилотного контура;
- сочетании объективных измерений и экспертных оценок;
- ориентации на практическое управленческое решение о тиражировании.

Таблица 3.1 — Группы критериев оценки эффективности

Группа	Обозначение	Содержание
Временные	K_T	Оценивают изменение продолжительности процессов и операций
Трудоёмкие	K_L	Оценивают изменение затрат труда на выполнение работ
Качественные	K_Q	Оценивают полноту, актуальность, достоверность и прослеживаемость данных
Интеграционные	K_I	Оценивают связанность PDM с CAD, ERP, MES и другими системами
Инфраструктурные	K_F	Оценивают техническую, организационную и кадровую готовность

К временным показателям относятся:

- средняя длительность поиска документа;
- средняя длительность согласования документа;
- средняя длительность внесения изменения;
- длительность цикла подготовки технологической документации;
- длительность передачи документации между подразделениями.

Для показателей, уменьшение которых означает улучшение, используется нормирование:

$$k_j = \frac{x_{j0} - x_{j1}}{x_{j0}}, \quad (3.1)$$

где x_{j0} — значение до внедрения, x_{j1} — значение после внедрения.

К трудоёмким показателям относятся:

- трудоёмкость подготовки ТД;
- трудоёмкость поиска и актуализации документации;
- трудоёмкость повторного ввода данных;
- трудоёмкость формирования отчётности;
- трудоёмкость сопровождения изменений.

Качественные показатели

К качественным показателям относятся:

- доля документов с актуальным статусом;
- доля документов с прослеживаемой историей изменений;
- полнота обязательных атрибутов объектов;
- число выявленных несоответствий версий;
- доля процессов, выполняемых по регламентированным маршрутам.

К интеграционным показателям относятся:

- доля реализованных интерфейсов из запланированных;
- доля данных, передаваемых без повторного ручного ввода;
- полнота связей между КД, ТД, оснасткой и программами ЧПУ;
- доля интегрированных сценариев CAD–PDM–ERP–MES.

К инфраструктурным показателям относятся:

- доступность серверной инфраструктуры;
- наличие резервного копирования;
- готовность средств защиты информации;
- обеспеченность лицензиями и рабочими местами;
- доля обученных пользователей;
- наличие регламентов сопровождения.

Расчёт групповых критериев

Частные показатели приводятся к нормированному виду, после чего для каждой группы определяется агрегированное значение:

$$K_g = \sum_{j=1}^{m_g} w_{gj} k_{gj}, \quad (3.2)$$

где:

- K_g — значение группового критерия;
- k_{gj} — нормированное значение частного показателя;
- w_{gj} — вес частного показателя;
- m_g — число частных показателей группы.

Для каждой группы выполняется условие:

$$\sum_{j=1}^{m_g} w_{gj} = 1. \quad (3.3)$$

Весовые коэффициенты рекомендуется определять с использованием экспертных оценок. В состав экспертной группы целесообразно включать представителей конструкторских, технологических, производственных, ИТ-подразделений и службы качества. Для проверки согласованности мнений может применяться коэффициент конкордации или иная статистически обоснованная процедура.

Интегральный индекс эффективности внедрения PDM-системы определяется выражением:

$$I_{\text{эф}} = \alpha_T K_T + \alpha_L K_L + \alpha_Q K_Q + \alpha_I K_I + \alpha_F K_F, \quad (3.4)$$

где:

- K_T — временной критерий;

- K_L — трудоёмкостный критерий;
- K_Q — качественный критерий;
- K_I — интеграционный критерий;
- K_F — инфраструктурный критерий;
- $\alpha_T, \alpha_L, \alpha_Q, \alpha_I, \alpha_F$ — весовые коэффициенты групп.

Условие нормировки весов имеет вид:

$$\alpha_T + \alpha_L + \alpha_Q + \alpha_I + \alpha_F = 1 \quad (3.5)$$

В зависимости от стратегии предприятия значения весовых коэффициентов могут изменяться (рисунок 3.1). Например, для предприятия с критически важными сроками запуска изделий большой вес может быть присвоен временной группе критериев (Таблица 3.1). Для предприятия, реализующего переход к единому информационному пространству, повышенную значимость могут иметь качественные и интеграционные показатели.

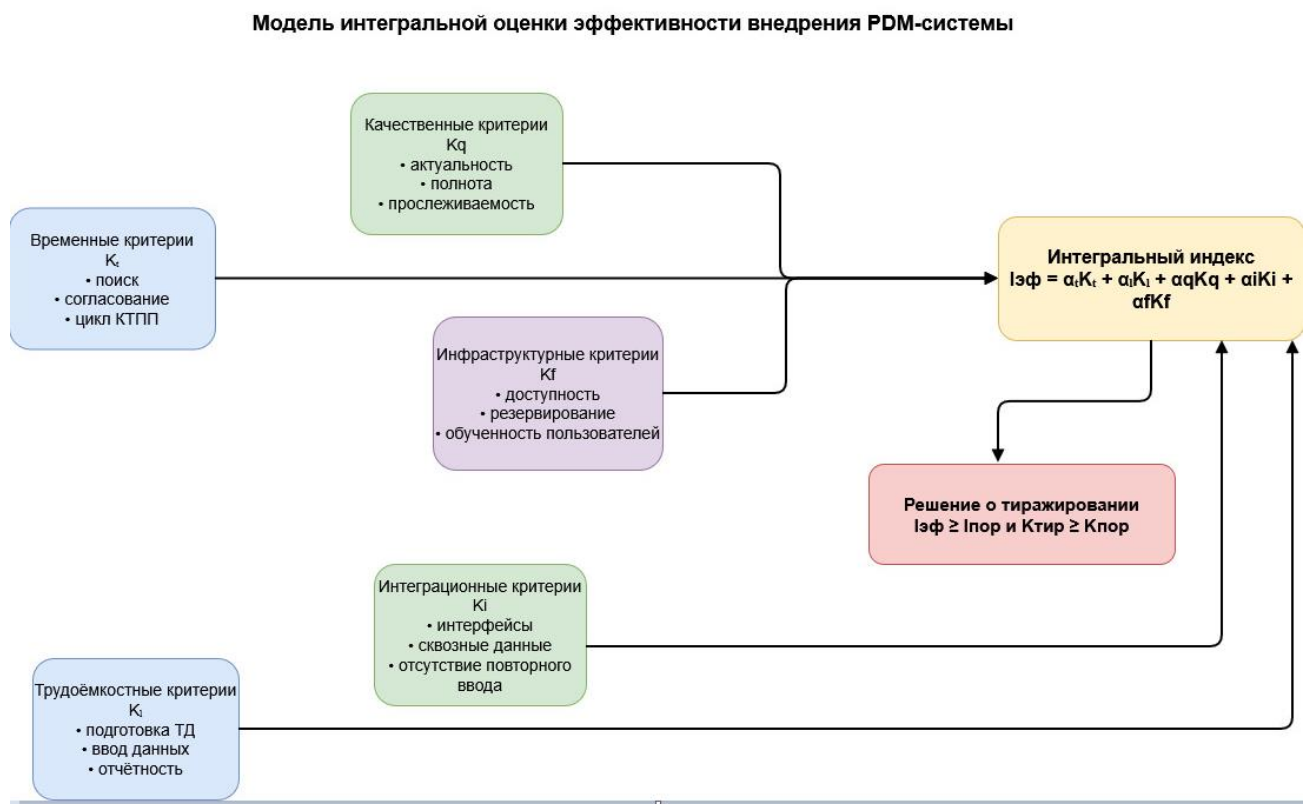


Рисунок 3.1 — Модель интегральной оценки эффективности внедрения PDM — системы.

3.2 Интегральный индекс готовности к тиражированию

Высокий эффект пилотного внедрения не всегда означает возможность немедленного распространения решения на другие контуры. Для оценки готовности к тиражированию вводится показатель:

$$K_{\text{тир}} = \beta_I K_I + \beta_F K_F + \beta_S K_S + \beta_R K_R, \quad (3.6)$$

где:

- K_I — уровень интеграционной готовности;
- K_F — инфраструктурная готовность;
- K_S — степень стандартизации и регламентации процессов;
- K_R — воспроизводимость конфигурации и результатов;
- $\beta_I, \beta_F, \beta_S, \beta_R$ — весовые коэффициенты.

Решение о тиражировании принимается при выполнении условия (Таблица 3.2.):

$$I_{\text{эф}} \geq I_{\text{пор}} \wedge K_{\text{тир}} \geq K_{\text{пор}} \quad (3.7)$$

Пороговые значения $I_{\text{пор}}$ и $K_{\text{пор}}$ должны быть утверждены организацией с учётом её целей, уровня цифровой зрелости и допустимого риска.

Таблица 3.2 — Рекомендуемая шкала интерпретации $I_{\text{эф}}$

Значение $I_{\text{эф}}$	Интерпретация	Рекомендуемое решение
Менее 0,40	Низкая эффективность	Провести корректирующие действия и повторную оценку
0,40–0,59	Ограниченная эффективность	Применять локально; устранить критические ограничения
0,60–0,79	Достаточная эффективность	Тиражировать на аналогичные процессы после корректировки
0,80 и выше	Высокая эффективность	Тиражировать на смежные контуры при соблюдении условий готовности

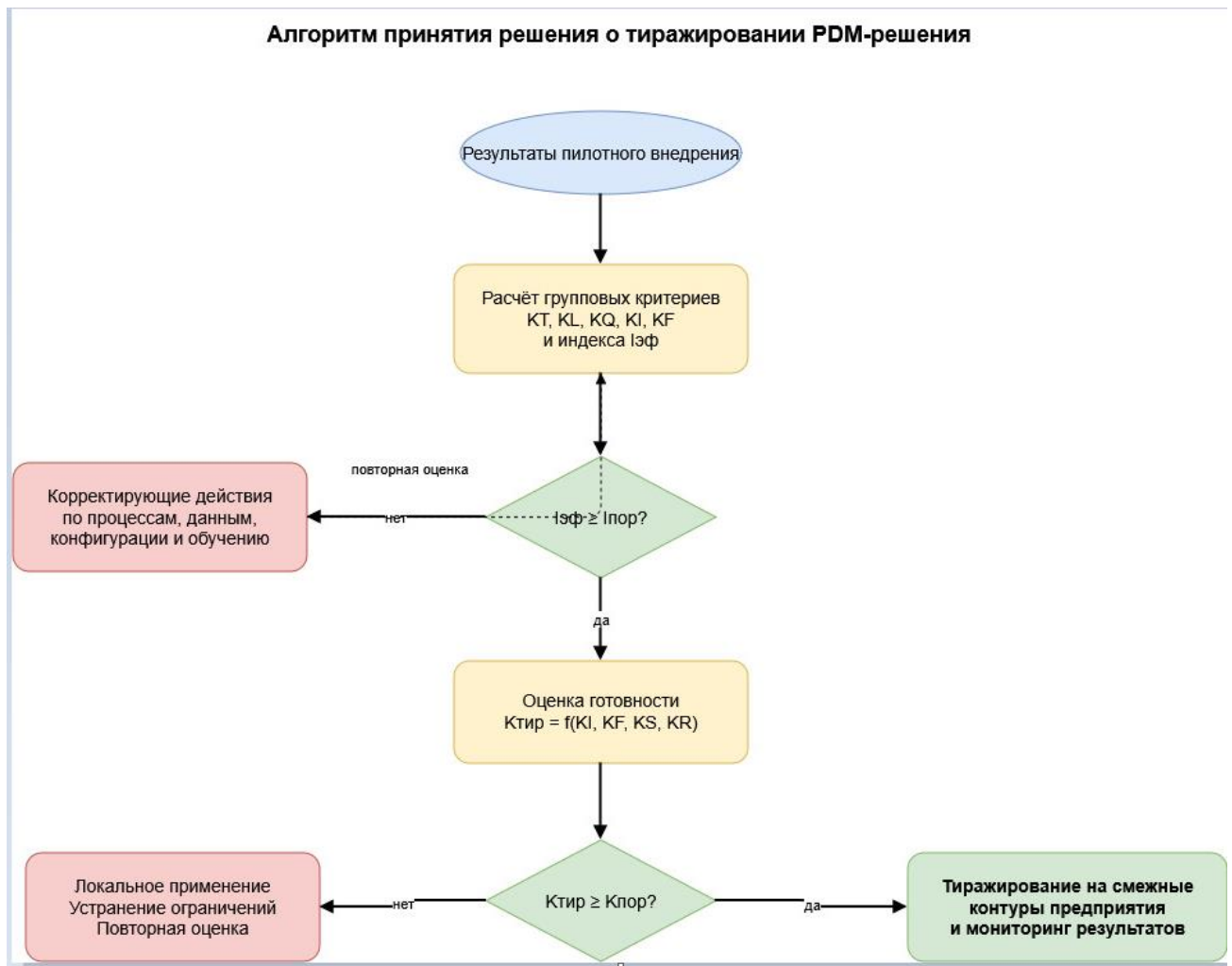


Рисунок 3.2 — Алгоритм принятия решения о тиражировании PDM - системы

3.4. Выводы по главе 3

Сформирована система критериев оценки эффективности внедрения PDM-системы, объединяющая временные, трудоёмкие, качественные, интеграционные и инфраструктурные показатели.

1. Предложен способ нормирования частных показателей и агрегирования их в групповые критерии.
2. Разработан интегральный индекс эффективности $I_{эф}$, позволяющий сопоставлять результаты внедрения по нескольким направлениям.
3. Введён показатель готовности к тиражированию $K_{тир}$, учитывающий не только достигнутый эффект, но и условия воспроизводимости решения.

4 Апробация методики и оценка готовности решения к тиражированию

4.1 Моделирование процессов КТПП

Апробация разработанной методики выполнена на материалах ОАО «Волгабурмаш».

Пилотный контур включал следующие процессы: конструкторской и технологической подготовки производства. В нём участвовали подразделения: технологические и производственные. До внедрения PDM-системы применялись следующие программные средства и способы хранения данных: CAD – AUTOCAD, Компас и САМ – система Симатрон.

На первом этапе была построена контекстная IDEF0-модель КТПП (рисунок 4.1). Входными потоками являлись заказ на изделие, исходные технические требования, организационно-распорядительные документы и нормативные требования. Выходами являлись утверждённая КД, комплект ТД, оснастка, программы ЧПУ и документы, подтверждающие готовность технологического процесса к применению.

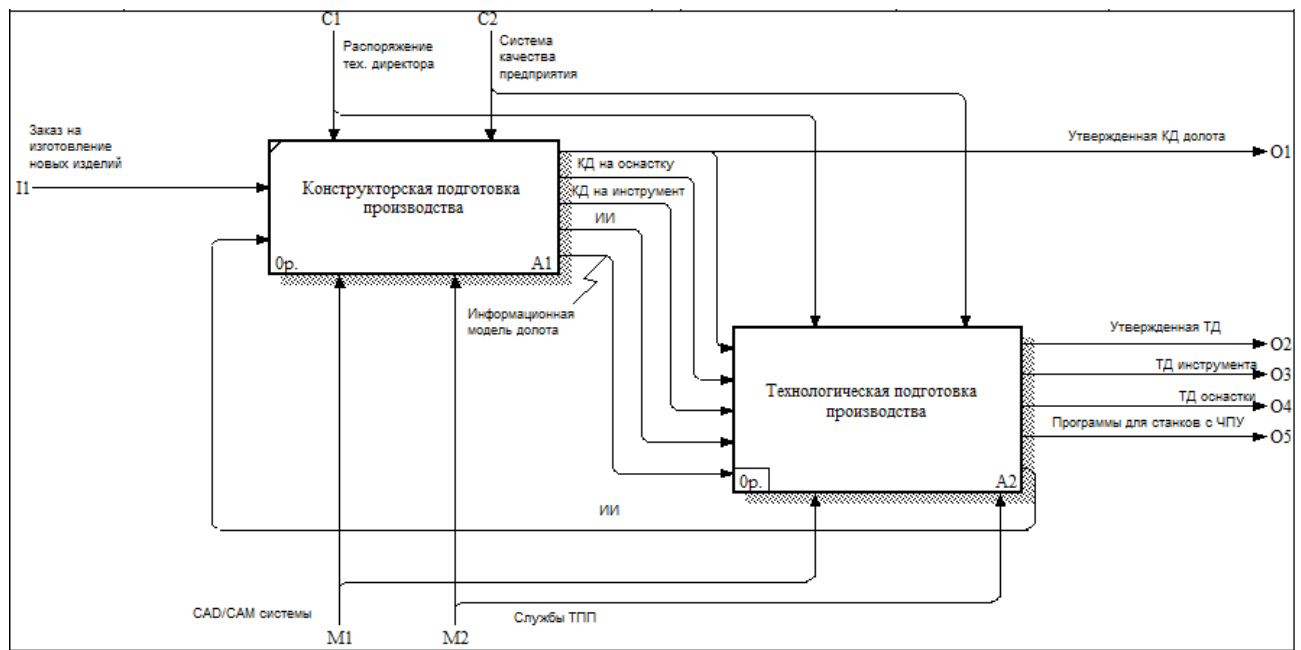


Рисунок 4.1 — Контекстная IDEF0-модель КТПП

Декомпозиция технологической подготовки производства включала

проектирование технологической документации, подготовку оснастки и инструмента, разработку программ ЧПУ и внедрение технологического процесса (рисунок 4.2).

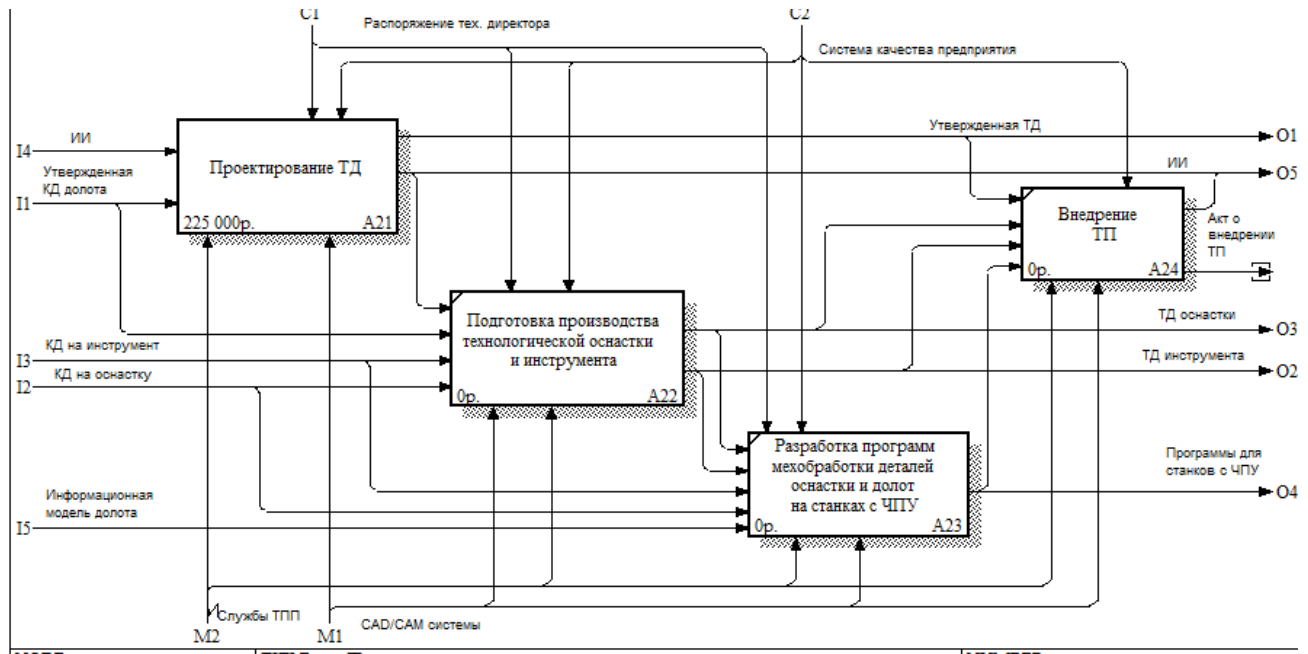


Рисунок 4.2 — Декомпозиция технологической подготовки производства

По результатам анализа сформированы перечни СПО, ДПО и БП. Они использованы для настройки классов объектов, типов документов и шаблонов процессов PDM-системы (рисунок 4.3).

В рамках апробации были выполнены:

- формирование структуры объектов и классификаторов;
- настройка типов документов и шаблонов атрибутов;
- настройка прав доступа и ролей пользователей;
- создание маршрутов согласования конструкторской и технологической документации;
- организация управления версиями и изменениями;
- настройка связей между изделием, техпроцессом, оснасткой и программой ЧПУ;

- подготовка интеграционных сценариев с применяемыми системами
- обучение пользователей и опытная эксплуатация.

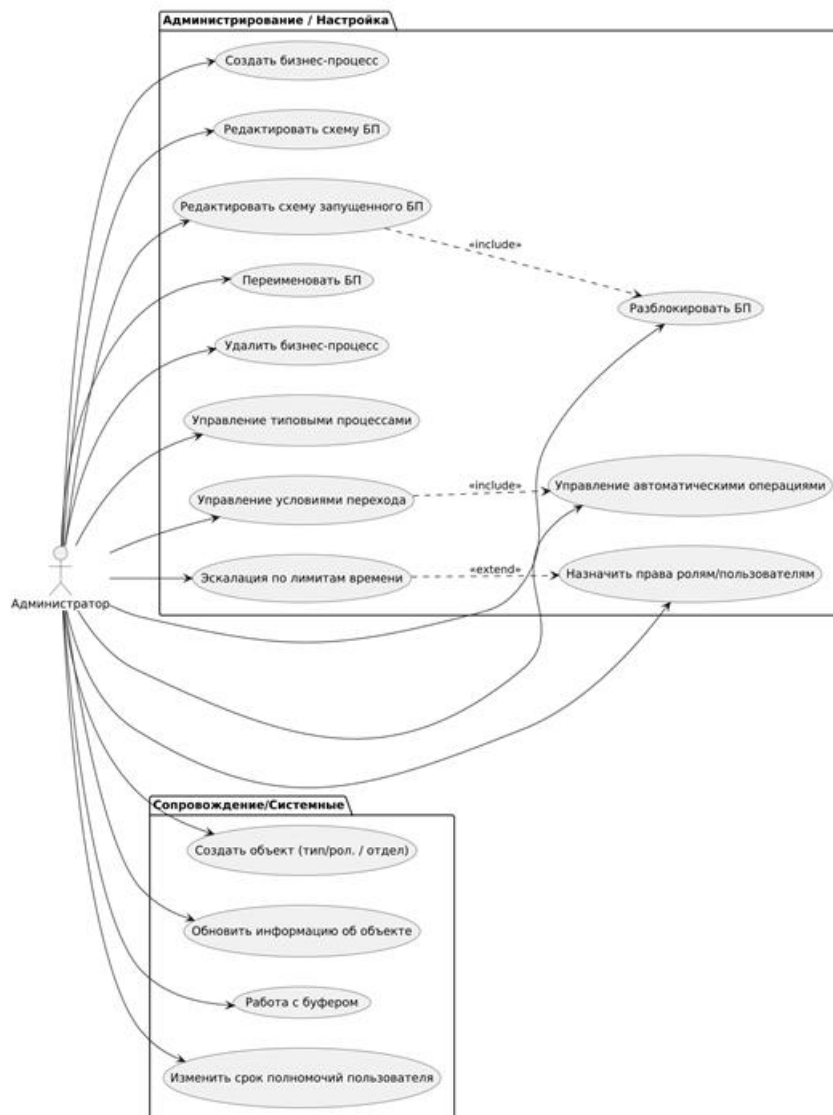


Рисунок 4.3 — Диаграмма вариантов использования PDM-системы

4.2 Методика внедрения PDM – системы на предприятии с использованием разработанной системы показателей качества организационно-технических процессов

Таким образом, методика внедрения PDM-систем на предприятии включает обследование, моделирование процессов, проектирование целевой архитектуры, миграцию данных, пилотную эксплуатацию, тиражирование и сопровождение. В

совокупности эти этапы обеспечивают переход к управляемому цифровому контуру и создают условия для устойчивого внедрения PDM - систем инженерного программного обеспечения.

Для перехода от описания этапов внедрения к измеримой оценке его результата используется система формализованных показателей, представленная в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Формализованные показатели оценки эффективности.

Показатель	Расчетная зависимость	Технический смысл
Суммарная длительность цикла AS-IS	$T\Sigma AS-IS = \Sigma t_i + \Sigma \tau_j$	Интегральная оценка длительности процесса до внедрения
Суммарная длительность цикла TO-BE	$T\Sigma TO-BE = \Sigma (1-\alpha_i)t_i + \Sigma (1-\beta_j)\tau_j$	Учет автоматизации операций и сокращения ожиданий
Эффект по времени	$ET = (T\Sigma AS-IS - T\Sigma TO-BE) / T\Sigma AS-IS \cdot 100\%$	Относительное сокращение длительности цикла
Коэффициент автоматизации	$KA = 1 - T_{man} / T\Sigma$	Доля процесса, выполняемая с цифровой поддержкой
Эффект поиска	$ES = (t_{search AS-IS} - t_{search TO-BE}) / t_{search AS-IS} \cdot 100\%$	Снижение времени доступа к архиву
Коэффициент согласования	$KC = N_{iter AS-IS} / N_{iter TO-BE}$	Сокращение повторных циклов возврата
Полнота миграции	$P_{mig} = N_{valid} / N_{all}$	Корректность переноса архивных данных

4.3. Интеграция PDM-систем с другими цифровыми платформами предприятия в условиях внедрения PDM - систем

Для современного машиностроительного предприятия интеграция PDM-системы с другими цифровыми платформами является обязательным условием

получения полного эффекта от внедрения PDM - систем. PDM должна выступать не изолированным архивом инженерных документов, а ядром единого информационного пространства, в котором синхронизируются конструкторские, технологические, производственные и управленческие данные.

Наиболее критичной является интеграция PDM с CAD-средами. Она обеспечивает автоматизированное сохранение моделей и чертежей, контроль версий, исключение дублирования файлов и прослеживаемость изменений от исходной модели до утверждённого комплекта документации. Для отечественных предприятий это особенно важно, поскольку позволяет построить устойчивую связку с российскими CAD-системами и сократить зависимость от внешних форматов.

Интеграция PDM с ERP-системой переводит конструкторскую и технологическую информацию в контур планирования ресурсов. Передача спецификаций, номенклатурных данных и атрибутов изделий непосредственно из PDM в ERP уменьшает количество ошибок ручного ввода, ускоряет подготовку закупок и повышает точность расчётов потребности в материалах.

Взаимодействие PDM с MES-системами обеспечивает связь между подготовкой производства и оперативным управлением выполнением работ. На основе данных о составе изделия, версиях документации и маршрутах обработки MES получает возможность формировать задания, отслеживать загрузку оборудования и контролировать исполнение операций в реальном времени.

Дополнительный эффект создаёт сопряжение PDM с системами электронного документооборота и управления качеством. В этом случае согласование извещений об изменении, сертификационная документация и результаты внутренних аудитов включаются в общий жизненный цикл инженерных данных, что повышает прозрачность и упрощает соблюдение требований ГОСТ и ЕСКД.

С технической точки зрения целевая архитектура интегрированной PDM-среды включает ядро доменной логики, реляционное хранилище метаданных, файловое хранилище подлинников, модуль версионирования и блокировок,

workflow-движок согласований и интеграционный шлюз. В объектной модели при этом целесообразно выделять сущности изделия, документа, ревизии документа, спецификации, извещения об изменении, задания workflow, пользователя, роли и прав доступа.

Интеграция и миграция данных должны выполняться поэтапно: инвентаризация источников, очистка и нормализация архивов, восстановление связей между объектами, пакетная загрузка в PDM и последующая валидация полноты переноса. Для обмена метаданными могут применяться REST API и XML-интерфейсы, а для событийного взаимодействия с ERP/MES — брокеры сообщений.

Такой подход позволяет уменьшить связанность приложений, повысить устойчивость цифрового контура к отказам и обеспечить масштабирование системы при расширении числа пользователей и подключаемых подсистем. В условиях внедрения PDM - систем это имеет стратегическое значение, поскольку формирует воспроизводимую отечественную архитектуру инженерных данных.

Итогом интеграции становится сквозное управление жизненным циклом изделия — от конструкторской модели и технологического маршрута до производственного задания, контроля качества и архивирования изменений.

Таблица 4.2. Эффекты интеграции PDM-систем с цифровыми платформами предприятия.

Направление интеграции	Основной результат	Значение для внедрения PDM - систем
PDM + CAD	Управление версиями моделей и чертежей	Снижение ошибок КД и поддержка отечественных CAD
PDM + ERP	Автоматизация передачи данных и планирования	Независимость от зарубежных ERP, сокращение издержек
PDM + MES	Управление производством в реальном времени	Ускорение запуска продукции и снижение брака
PDM + QMS	Прозрачность сертификации и аудита	Обеспечение нормативного соответствия

Таблица 4.2 показывает, что максимальный эффект интеграции возникает в точках, где ранее преобладали ручной перенос информации и разрывы между

системами.

Связка PDM и CAD уменьшает риск работы с неактуальными версиями документации; обмен с ERP повышает точность планирования; интеграция с MES сокращает время запуска продукции; сопряжение с QMS обеспечивает прослеживаемость контрольных процедур.

Для российской промышленности такая архитектура одновременно повышает операционную эффективность и снижает зависимость от зарубежных программных платформ.

Следовательно, интеграция PDM со смежными цифровыми системами является обязательным условием получения измеримого организационного и технологического эффекта. Практическая апробация методики проектирования и внедрения PDM - систем PDM-системы подтверждает измеримые эффекты интеграции и сокращения длительности ключевых операций, что отражено в таблице 4.3.

Таблица 4.3. Результаты апробации методики проектирования и внедрения PDM - систем PDM-системы.

Показатель	До внедрения	После внедрения	Изменение
Время поиска конструкторского документа	30–120 мин	менее 1 мин	95 %
Время согласования изменений	10 дней	3 дня	70 %
Количество версий документов с расхождениями	15 %	менее 1 %	14 п.п.
Время передачи данных из CAD в PDM	15 мин (ручной ввод)	10 с (автоматически)	98 %
Количество ошибок при передаче в ERP	12 %	0,5 %	11,5 п.п.

4.4. Расчёт экономии ресурсов при реализации проектов внедрения PDM - систем

Применение разработанной методики внедрения PDM-системы в организации производства предполагает не только определение состава проектных работ, но и расчёт ожидаемой экономии ресурсов на этапах внедрения и эксплуатации (Таблица 4.4).

Таблица 4.4 — План внедрения PDM

Наименование работ	Срок исполнения
Организационные мероприятия	
Подписание договорной документации. Начало проекта	0д
Согласование и утверждение типовой проектной документации	5д
Формирование рабочей группы и регламента работы	5д
Организация управления конфигурациями	
Утверждение технологии ввода БД в эксплуатацию	1д
Организация ввода в эксплуатацию БД.	2д
Обучение системного администратора	3д
Переход на версию SmarTeam 5.14	10д
Описание общей функциональной модели бизнес-процессов в UML — нотации	8д
Запуск модуля сопровождение материальной подготовки производства (МПП)	
1 стадия – разработка ПО (МПП)	
Ведение номенклатора. Поисковая система. Функционал модуля.	
Доработка/детализация функциональной модели в UML — нотации	7д
Разработка модели исполняемой архитектуры	7д
Составление и утверждение ТЗ на изменение структуры и функционала БД	4д
Разработка прикладного ПО	20д
Предварительное α — тестирование модуля	1д
Тестовое заполнение базы данных (КД)	5д
Ведение классификатора. Поисковая система. Функционал модуля.	
Доработка/детализация функциональной модели в UML — нотации	7д
Разработка модели исполняемой архитектуры	7д
Составление и утверждение ТЗ на изменение структуры и функционала БД	4д
Разработка прикладного ПО	20д
Предварительное α — тестирование модуля	1д

Продолжение таблицы 4.4

Тестовое заполнение базы данных	5д
Справочник по материалам	
Доработка/детализация функциональной модели в UML — нотации	5д
Доработка модели исполняемой архитектуры	10д
Отработка схемы и спецификация механизмов передачи данных из внешнего справочника материалов	14д
Составление и утверждение ТЗ на изменение структуры и функционала БД	5д
Разработка прикладного ПО	20д
Предварительное α — тестирование модуля	1д
Тестовое заполнение базы данных	5д
Заказ материала.	
Доработка/детализация функциональной модели в UML — нотации	7д
Разработка модели исполняемой архитектуры	7д
Составление и утверждение ТЗ на изменение структуры и функционала БД	4д
Разработка прикладного ПО	20д
Предварительное α — тестирование модуля	1д
Тестовое заполнение базы данных	5д
Нормирование материала.	
Доработка/детализация функциональной модели в UML — нотации	7д
Разработка модели исполняемой архитектуры	7д
Составление и утверждение ТЗ на изменение структуры и функционала БД	4д
Разработка прикладного ПО	20д
Предварительное α — тестирование модуля	1д
Тестовое заполнение базы данных	5д
Извещение об изменении (ИИ, ПИ)	47д
Архив КД	59д
2 стадия — Тестирование и документирование нового релиза БД	
Выбор и согласование модели (примера) для тестирования. Подготовка данных. (МПП)	4д
β — тестирование БД на проверку соответствия представленным ТЗ. (МПП)	10д
Резервное копирование рабочей БД. (МПП)	0,5д
Внесение изменений в структуру БД, подключение скриптов и прикладных библиотек. (МПП)	5д
Проверка целостности данных. (МПП)	1д
Документирование релиза. (МПП)	18д
Разработка/изменение руководств пользователей. (МПП)	18д
Утверждение документации и релиза БД к эксплуатации. (МПП)	5д

Продолжение таблицы 4.4

Приемка — сдача 1 и 2 — ой стадий работ МПП (разработки и тестирования)	
Закупка недостающих лицензий для этапа МПП	
3 стадия — опытная эксплуатация (МПП)	
Обучение пользователей (МПП)	
Регламентирование и настройка прав доступа к объектам БД	3д
Разработка программы обучения конечных пользователей	5д
Проведение занятий	5д
Тестирование системы заказчиком	14д
Приемка — сдача 3 — ей стадии работ КПП (опытной эксплуатации)	

Сформированные графики работ в MS Project (рисунки 4.4 – 4.8) позволяет оценить сроки выполнения организационных мероприятий, настройки базы данных, разработки прикладных модулей и тестирования. Однако для принятия решения о тиражировании системы недостаточно календарно-сетевого планирования; требуется количественная оценка организационной и временной эффективности внедрения.

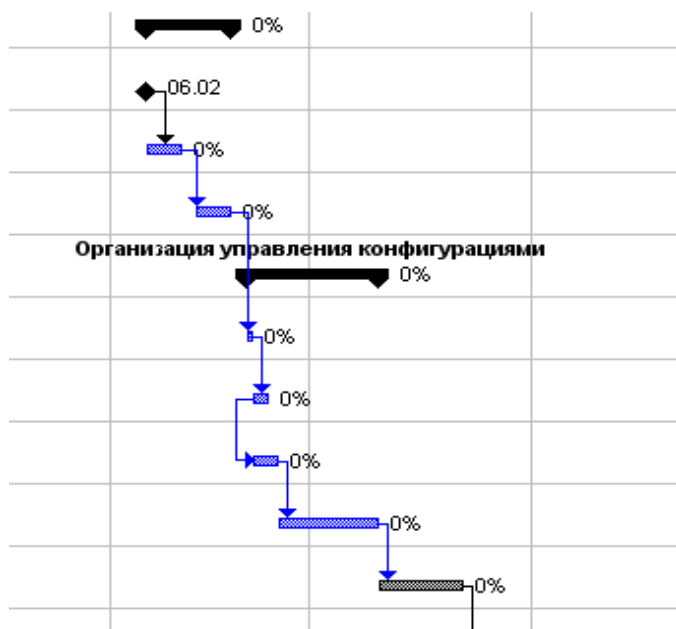


Рисунок 4.4 — График организационных мероприятий и организации управления конфигурациями.

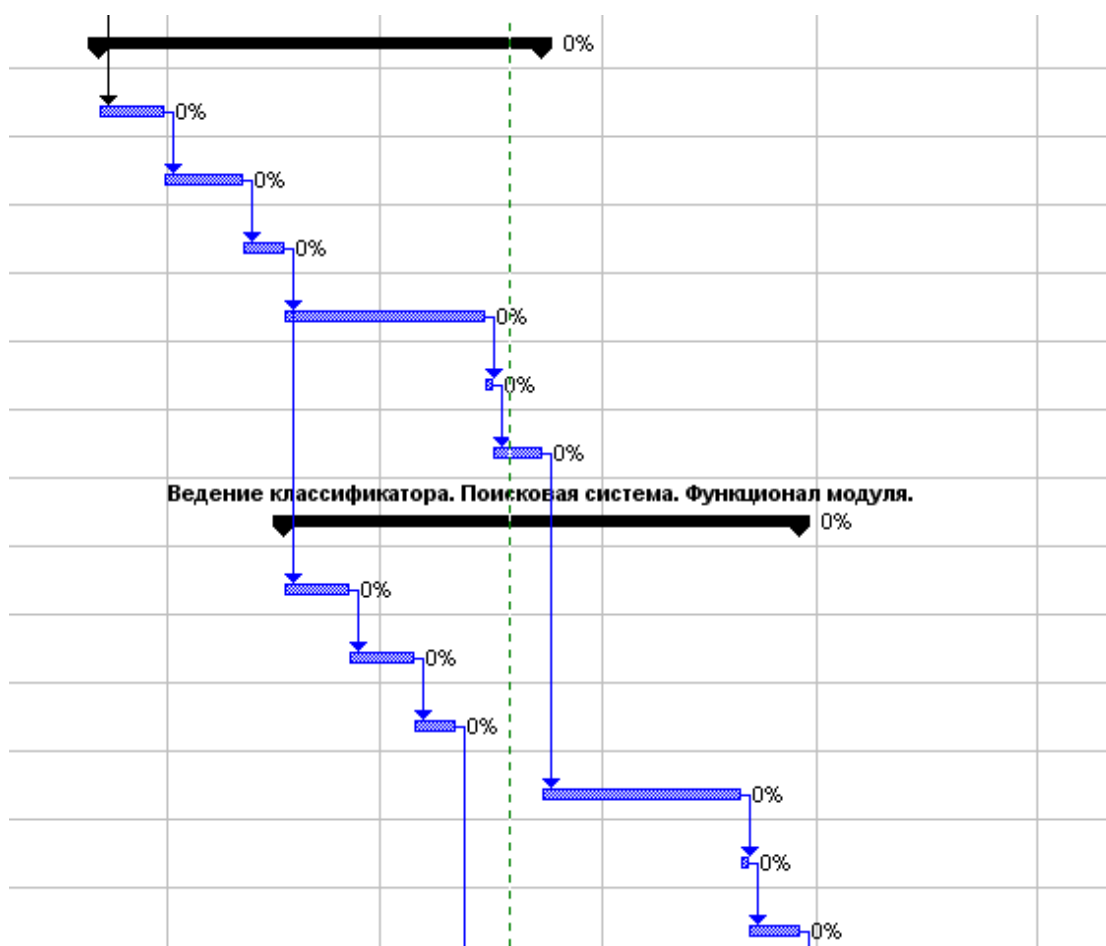


Рисунок 4.5 — График Описания общей функциональной модели бизнес-процессов в UML –нотации и разработки Ведения классификатора.

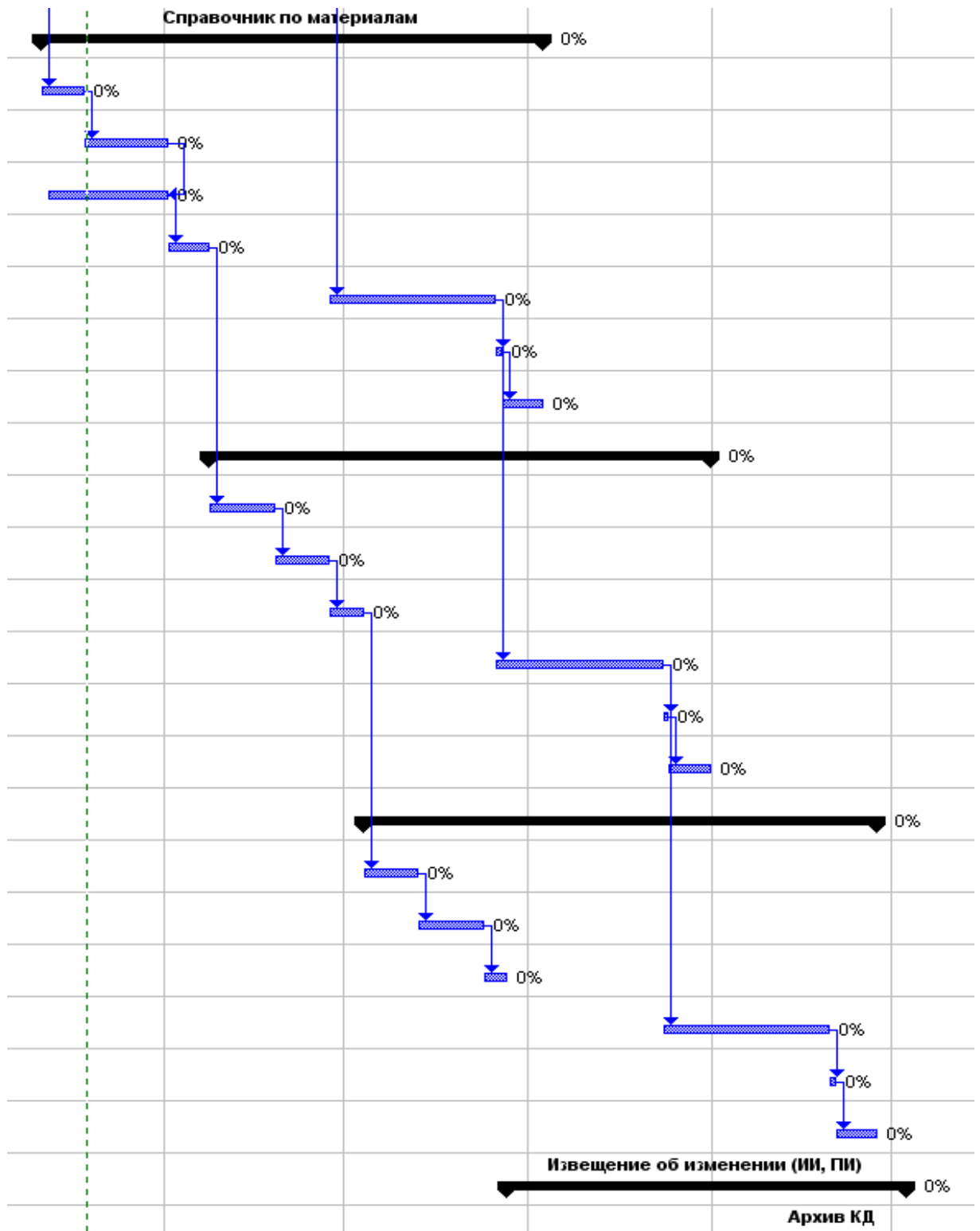


Рисунок 4.6 — График разработки Справочника по материалам, Заказа материала, Нормирование материала, Извещение об изменении и Архива КД.



Рисунок 4.7 — График работ по тестированию и документированию нового релиза БД.

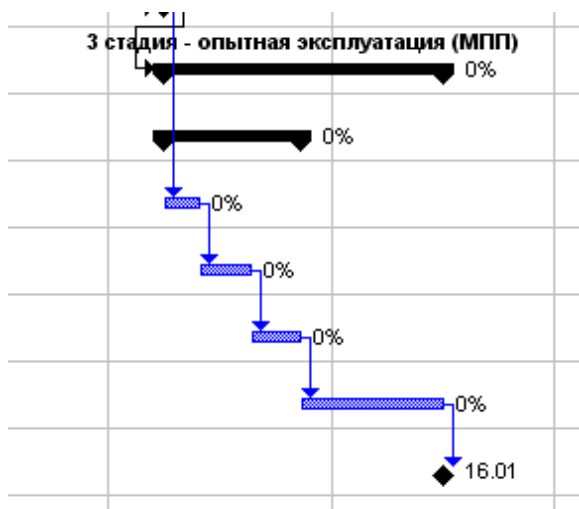


Рисунок 4.8 — График работ Обучению пользователей.

В этой связи расчёт экономии ресурсов предлагается выполнять на основе совмещения двух контуров оценки. Первый контур характеризует затраты времени на реализацию проекта внедрения, второй — результативность функционирования системы после запуска в опытно-промышленную и промышленную эксплуатацию.

Такой подход позволяет отделить трудоёмкость проекта от эффекта, получаемого в процессах КТПП.

Для оценки поствнедренческого эффекта используется интегральный показатель, учитывающий временные, трудоёмкие, качественные, интеграционные и инфраструктурные характеристики работы PDM-системы. В отличие от локальных оценок, основанных только на сокращении времени отдельных операций, данный подход связывает архитектурные решения с изменением пропускной способности инженерной подготовки производства.

Нормирование частных показателей для критериев, значение которых должно снижаться после внедрения, выполняется по выражению:

$$k_i = (x_i^0 - x_i^1) / x_i^0, \quad (4.1)$$

где x_i^0 — значение показателя до внедрения, x_i^1 — значение показателя после внедрения.

Для показателей, которые должны возрасти, используется соотношение:

$$k_i = (x_i^1 - x_i^0) / (x_i^* - x_i^0), \quad (4.2)$$

где x_i^* — целевое значение показателя.

Суммарный резерв рабочего времени для набора типовых операций определяется выражением $T_{\Sigma} = \Sigma[(t_j^0 - t_j^1)n_j]/60$, а интегральный индекс эффективности рассчитывается как $I_{\text{эф}} = \Sigma(w_i \cdot k_i)$ при условии $\Sigma w_i = 1$.

В прикладной интерпретации индекс $I_{\text{эф}}$ целесообразно делить на три уровня: менее 0,40 — локальный эффект, 0,40–0,70 — устойчивый организационный эффект, более 0,70 — выраженный результат и готовность решения к масштабированию. При этом структура весовых коэффициентов может адаптироваться к типу производства: для единичного и мелкосерийного производства возрастает значимость показателей поиска, согласования и целостности ревизий, тогда как для распределённых контуров усиливается роль интеграционных и инфраструктурных характеристик.

Контур оценки и состав основных критериев, используемых для расчёта организационного и временного эффекта, представлены на рисунке 2.9 и в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Основные критерии оценки

Группа критериев	Основные показатели	Управленческая интерпретация
Временные	Время поиска карточки; длительность согласования изменения; время синхронизации CAD/PDM/ERP; длительность подготовки комплекта данных	Показывают сокращение цикла КТПП
Трудоёмкие	Трудоёмкость ручного ввода; объём повторного контроля; время устранения дублей; затраты рабочего времени на сопровождение справочников	Отражают высвобождение рабочего времени специалистов
Качественные	Ошибки атрибутивной связности; конфликты версий; число возвратов на доработку; полнота миграции объектов	Характеризуют надёжность инженерных данных
Интеграционные	Доля операций без ручного дублирования; полнота обмена данными; устойчивость передачи в ERP и смежные модули	Оценивают связанность цифрового контура
Инфраструктурные	Средний отклик интерфейса; стабильность при одновременной работе пользователей; восстановление после отказа	Показывают промышленную пригодность решения

Таблица 4.6. Контрольные замеры длительности типовых операций и резерв рабочего времени.

Операция	До, мин	После, мин	Частота, оп/мес	Экономия времени, ч/мес
Поиск актуальной карточки материала	18	2	240	64,0
Создание карточки типоразмера материала	25	9	40	10,7
Согласование инженерного изменения при замене материала	960	360	10	100,0
Передача атрибутивных данных в смежный контур	15	2	180	39,0
Проверка на дубли и исправление атрибутивных ошибок	12	3	60	9,0
Итого	—	—	—	222,7

При месячном фонде рабочего времени 160 ч это соответствует эквиваленту высвобождаемой занятости $N_{э\kappa\text{в}} = 1,39$. Наибольший вклад в резерв времени формирует сокращение длительности согласования инженерных изменений, что обусловлено исключением повторного ввода атрибутов, упорядочением маршрутов и снижением числа возвратов на доработку (Таблица 4.6.).

Для интегральной оценки были рассчитаны семь нормированных коэффициентов: время поиска карточки $k_1 = 0,889$; время создания карточки $k_2 = 0,640$; время согласования изменения $k_3 = 0,625$; доля операций без ручного дублирования $k_4 = 0,846$; уровень дублей и атрибутивных ошибок $k_5 = 0,833$; полнота миграции номенклатуры $k_6 = 0,970$; средний отклик интерфейса $k_7 = 0,640$.

Состав нормированных показателей и их вклад в итоговую интегральную оценку приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7. Нормированные показатели и расчёт интегрального индекса $I_{эф}$.

Показатель	До	После	k_i	w_i	$w_i \cdot k_i$
Время поиска карточки, мин	18	2	0,889	0,18	0,160
Время создания карточки, мин	25	9	0,640	0,16	0,102
Время согласования изменения, мин	960	360	0,625	0,18	0,113
Операции без ручного дублирования, %	35	90	0,846	0,14	0,118
Дубли и атрибутивные ошибки, %	12	2	0,833	0,12	0,100
Полнота миграции номенклатуры, %	0	97	0,970	0,10	0,097
Средний отклик интерфейса, с	5,0	1,8	0,640	0,12	0,077
Итого $I_{эф}$	—	—	—	1,00	0,767

С учётом принятых весовых коэффициентов итоговый индекс составил $I_{эф} = 0,767$. Значение выше 0,70 соответствует выраженному организационному и временному эффекту и свидетельствует о готовности решения к дальнейшему тиражированию на смежные процессы КТПП.

Графическая интерпретация сокращения длительности типовых операций и вклада частных коэффициентов в интегральный индекс эффективности показана на рисунках 4.9 и 4.10.

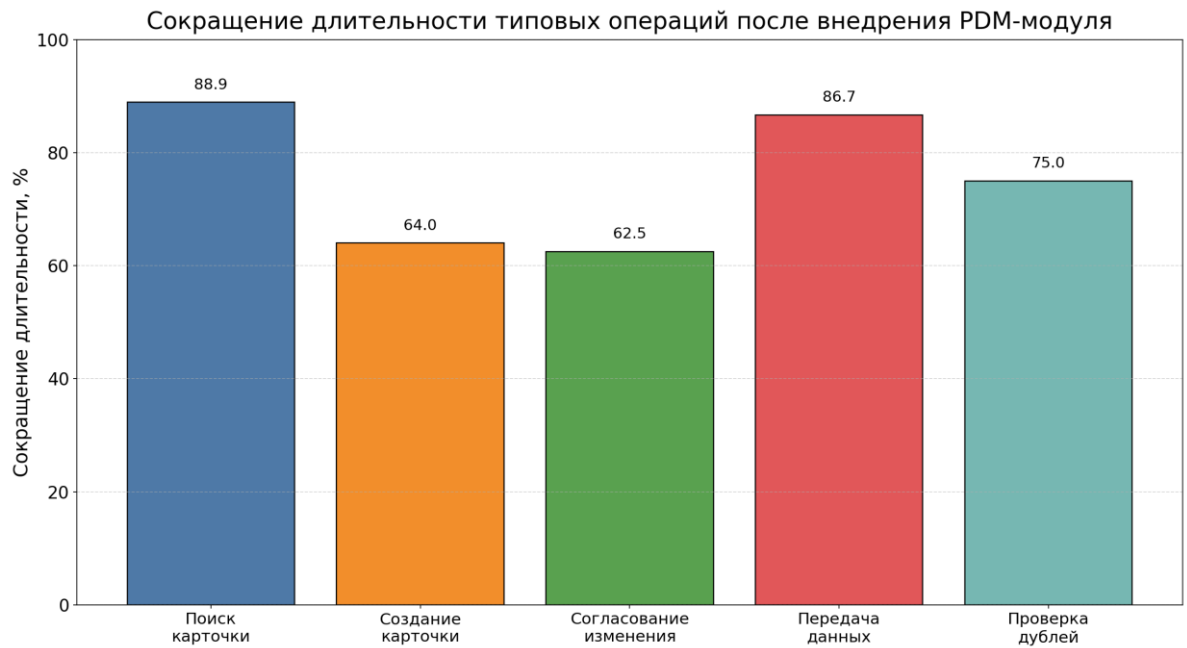


Рисунок 4.9 — Сокращение длительности типовых операций после внедрения PDM-модуля.

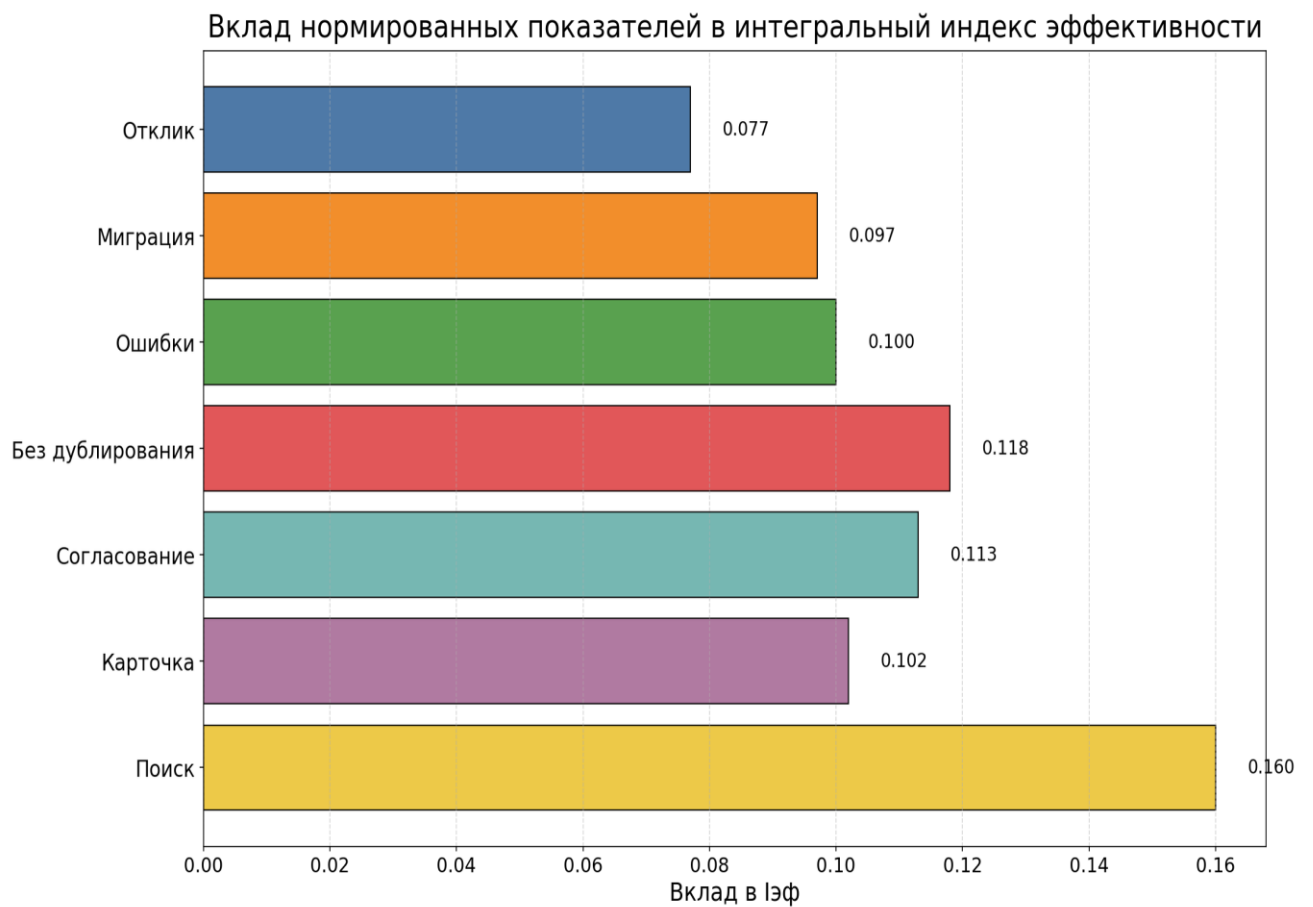


Рисунок 4.10 — Вклад нормированных показателей в интегральный индекс эффективности.

1. Полученный результат показывает, что экономия ресурсов при внедрении PDM-системы проявляется не только в прямом сокращении трудозатрат. Не менее важными являются снижение количества ошибок, рост полноты миграции инженерной информации, уменьшение числа ручных переходов между системами и повышение устойчивости цифрового контура.

2. С методической точки зрения это означает, что оценка ресурсов должна выполняться поэтапно: сначала по календарному плану проекта, затем по результатам контрольных замеров пользовательских операций, после чего — по интегральному показателю, объединяющему временные и организационные эффекты.

3. Такой порядок расчёта позволяет сравнивать альтернативные сценарии внедрения: локальную автоматизацию справочников, запуск маршрутов согласования, миграцию архивов или построение полноценного PDM-ядра. Предприятие получает возможность выбирать не только технически реализуемый, но и организационно оправданный вариант развития цифрового контура.

4. Дополнительным преимуществом является возможность использовать индекс $I_{эф}$ как инструмент управления тиражированием. На практике это означает, что при ограниченности ресурсов в первую очередь целесообразно внедрять те модули, которые дают наибольший вклад в сокращение времени поиска, согласования и обмена инженерными данными.

Следовательно, расчёт экономии ресурсов при реализации проектов внедрения PDM - систем PDM-систем должен основываться на сочетании проектного планирования и измеримых эксплуатационных показателей. Именно такой подход обеспечивает объективное обоснование эффективности внедрения.

Следует учитывать, что приведённый расчётный пример основан на типовых сценариях работы модуля ведения классификатора и номенклатора материалов. Поэтому абсолютные значения частных коэффициентов и их весов должны уточняться с учётом масштаба предприятия, зрелости ИТ-ландшафта, степени интеграции с ERP-контуром и дисциплины ведения инженерных данных. Перспективным направлением дальнейшей работы является автоматическое

извлечение временных меток из журналов эксплуатации PDM- и ERP-систем и формирование отраслевых профилей весовых коэффициентов.

Для рассматриваемого проекта это подтверждает, что цифровизация КТПП должна оцениваться как по затратам на создание решения, так и по последующему влиянию на пропускную способность процессов.

4.5. Расчёты приоритетов и критериев оценки внедрения PDM-системы

Расчёты выполнены на основе статистических материалов, содержащих осреднённые экспертные оценки целевых индикаторов проектов автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) и оперативно-производственного планирования и диспетчеризации производства (ОПиДП).

Для каждого целевого индикатора использованы:

- K — весовая оценка значимости индикатора;
- P — оценка приоритета реализации;
- $S_i = K_i P_i$ — интегральная приоритетная оценка i -го индикатора;
- S_Σ — сумма приоритетных оценок всех индикаторов рассматриваемого контура;
- w_i — нормированный вес i -го индикатора.

Нормированный вес определяется выражением:

$$w_i = \frac{S_i}{S_\Sigma} = \frac{K_i P_i}{\sum_{i=1}^n K_i P_i} \quad (4.1)$$

В процентах:

$$w_i^{\%} = \frac{K_i P_i}{\sum_{i=1}^n K_i P_i} \cdot 100\% \quad (4.2)$$

Проведем расчет приоритетов автоматизации КТПП, используя исходные оценки из таблицы 4.8. и нормированные веса и ранжирование из таблицы 4.9.

Таблица 4.8 - Исходные оценки

№	Целевой индикатор автоматизации КТПП	K_{kt}	P_{kt}	$S_{kt} = K_{kt}P_{kt}$
1	Ускорение процессов КТПП и постановки продукции на производство	10	10	100
2	Обеспечение сохранности технической документации	9	10	90
3	Разграничение прав доступа к технической документации	9	10	90
4	Повышение эффективности взаимодействия с подразделениями и службами	10	8	80
5	Накопление и управление информацией для заимствований и использования в качестве прототипов	8	8	64
6	Сокращение времени поиска инженерно-технической документации	6	10	60
7	Наличие актуальных достоверных версий электронных документов	6	8	48
8	Формализация и оперативный учёт хода работ процессов КТПП	6	8	48
9	Подготовка входной информации для систем класса ERP/АСУП	6	5	30
10	Переход к электронным подлинникам документации с применением ЭЦП	4	6	24

Суммарная приоритетность КТПП

$$S_{kt,\Sigma} = 100 + 90 + 90 + 80 + 64 + 60 + 48 + 48 + 30 + 24 = 634 \quad (4.3)$$

Таблица 4.9 - Нормированные веса и ранжирование

№	Целевой индикатор КТПП	S_{kt}	w_{kt}	$w_{kt}, \%$	Ранг
1	Ускорение процессов КТПП и постановки продукции на производство	100	0,1577	15,77	1
2	Обеспечение сохранности технической документации	90	0,1420	14,20	2
3	Разграничение прав доступа к технической документации	90	0,1420	14,20	2
4	Повышение эффективности взаимодействия с подразделениями и службами	80	0,1262	12,62	3

Продолжение таблицы 4.9

5	Накопление и управление информацией для заимствований и использования в качестве прототипов	64	0,1009	10,09	4
6	Сокращение времени поиска инженерно-технической документации	60	0,0946	9,46	5
7	Наличие актуальных достоверных версий электронных документов	48	0,0757	7,57	6
8	Формализация и оперативный учёт хода работ процессов КТПП	48	0,0757	7,57	6
9	Подготовка входной информации для систем класса ERP/АСУП	30	0,0473	4,73	7
10	Переход к электронным подлинникам документации с применением ЭЦП	24	0,0379	3,79	8
Итого	—	634	1,0000	100,00	—

Суммарная оценка пяти наиболее значимых направлений:

$$S_{kt}^{(5)} = 100 + 90 + 90 + 80 + 64 = 424 \quad (4.4)$$

Доля пяти наиболее значимых направлений:

$$W_{kt}^{(5)} = \frac{424}{634} \cdot 100\% = 66,88\% \quad (4.5)$$

Вывод: Пять первоочередных задач — ускорение КТПП, сохранность документации, разграничение доступа, улучшение взаимодействия подразделений и накопление инженерной информации — формируют 66,88% общей приоритетности автоматизации КТПП.

Расчёт приоритетов автоматизации ОПиДП, используя исходные оценки из таблицы 4.10 и нормированные веса и ранжирование из таблицы 4.11.

Таблица 4.10 - Исходные оценки

№	Целевой индикатор автоматизации ОПиДП	K_{dp}	P_{dp}	S_{dp} $= K_{dp}P_{dp}$
1	Повышение оперативности и достоверности расчёта сроков изготовления заказов с учётом текущей загрузки предприятия	10	10	100

Продолжение таблицы 4.10

2	Планирование производства с обеспечением максимальной загрузки оборудования	10	10	100
3	Повышение оперативности расчёта потребности производства в материалах и комплектующих	10	9	90
4	Повышение эффективности взаимодействия с подразделениями и службами, включая КТПП	10	9	90
5	Получение актуальной информации о состоянии и месторасположении заказа	8	10	80
6	Автоматизация учёта брака и его причин	6	8	48
7	Повышение оперативности контроля состояния технологического оборудования	6	8	48
8	Автоматизация маркировки и регистрации произведённой продукции	6	7	42
9	Автоматизация учёта плановых и фактических простоев, анализа их причин	6	7	42
10	Автоматизация мониторинга работы оборудования	6	6	36

Суммарная приоритетность ОПиДП

$$S_{dp,\Sigma} = 100 + 100 + 90 + 90 + 80 + 48 + 48 + 42 + 42 + 36 = 676 \quad (4.6)$$

Таблица 4.11 - Нормированные веса и ранжирование

№	Целевой индикатор ОПиДП	S_{dp}	w_{dp}	$w_{dp}, \%$	Ранг
1	Оперативность и достоверность расчёта сроков изготовления заказов	100	0,1479	14,79	1
2	Планирование с максимальной загрузкой оборудования	100	0,1479	14,79	1
3	Оперативность расчёта потребности в материалах и комплектующих	90	0,1331	13,31	2
4	Эффективность взаимодействия с подразделениями и службами	90	0,1331	13,31	2
5	Актуальная информация о состоянии и месторасположении заказа	80	0,1183	11,83	3
6	Учёт брака и его причин	48	0,0710	7,10	4
7	Контроль состояния технологического оборудования	48	0,0710	7,10	4
8	Маркировка и регистрация продукции	42	0,0621	6,21	5
9	Учёт простоев и анализ их причин	42	0,0621	6,21	5
10	Мониторинг работы оборудования	36	0,0533	5,33	6
Итого	—	676	1,0000	100,00	—

Концентрация приоритетов

$$S_{dp}^{(5)} = 100 + 100 + 90 + 90 + 80 = 460 \quad (4.7)$$

$$W_{dp}^{(5)} = \frac{460}{676} \cdot 100\% = 68,05\% \quad (4.8)$$

Вывод. Пять ключевых задач ОПиДП формируют 68,05% совокупной приоритетности данного контура.

Проведем сравнительный расчёт КТПП и ОПиДП (Таблица – 4.12)

Общая сумма приоритетных оценок:

$$S_{\text{общ}} = S_{kt,\Sigma} + S_{dp,\Sigma} = 634 + 676 = 1310 \quad (4.9)$$

Доля КТПП в совокупной приоритетности:

$$W_{kt} = \frac{634}{1310} \cdot 100\% = 48,40\% \quad (4.10)$$

Доля ОПиДП в совокупной приоритетности:

$$W_{dp} = \frac{676}{1310} \cdot 100\% = 51,60\% \quad (4.11)$$

Таблица 4.12 – Сравнительный расчет КТПП и ОПиДП.

Показатель	КТПП	ОПиДП
Число оцениваемых индикаторов	10	10
Суммарная приоритетная оценка	634	676
Средняя оценка одного индикатора	63,4	67,6
Медианная оценка	62,0	64,0
Доля пяти ключевых направлений, %	66,88	68,05
Доля в суммарной приоритетности, %	48,40	51,60

ОПиДП превосходит КТПП по суммарной оценке на:

$$\Delta S = 676 - 634 = 42 \quad (4.12)$$

Относительное превышение составляет:

$$\delta_S = \frac{676-634}{634} \cdot 100\% = 6,62\% \quad (4.13)$$

В итоге, контур ОПиДП имеет несколько более высокую суммарную

приоритетность, однако КТПП формирует исходные конструкторские, технологические и нормативно-справочные данные. Поэтому первоочередное формирование PDM-ядра КТПП является методически обоснованным условием последующей интеграции с контурами ERP, APS, MES и ОПиДП.

Рассмотрим нормирование весов критериев комплексной оценки.

В исходных материалах представлены четыре группы критериев представлено в таблице 4.13:

Таблица 4.13 – Критерии исходных материалов

Группа критериев	Обозначение	Исходный вес
Функциональные индикаторы	P_f	9
Финансово-экономические показатели	P_e	7
Социально-экономические критерии	P_s	5
Показатели комплексности решения	P_k	6

Суммарный вес:

$$P_{\Sigma} = P_f + P_e + P_s + P_k = 9 + 7 + 5 + 6 = 27 \quad (4.14)$$

Нормированные веса рассчитываются следующей формуле и представлены итоги в таблице 4.14:

$$\alpha_g = \frac{P_g}{P_{\Sigma}} \quad (4.15)$$

Таблица 4.14 – Итоги расчета нормированного веса

Группа критериев	Исходный вес	Нормированный вес α_g	Нормированный вес, %
Функциональные P_f	9	0,3333	33,33
Финансово-экономические P_e	7	0,2593	25,93

Продолжение таблицы 4.14.

Социально-экономические P_s	5	0,1852	18,52
Комплексность решения P_k	6	0,2222	22,22
Итого	27	1,0000	100,00

Интегральная оценка комплексного решения может быть представлена формулой:

$$I_{\text{авт}} = 0,3333K_f + 0,2593K_e + 0,1852K_s + 0,2222K_k \quad (4.16)$$

где:

- K_f — нормированная оценка функциональных результатов;
- K_e — нормированная финансово-экономическая оценка;
- K_s — нормированная социально-экономическая оценка;
- K_k — нормированная оценка комплексности решения.

При условии, что все частные показатели нормированы в интервале $[0; 1]$, интегральная оценка также изменяется в пределах:

$$0 \leq I_{\text{авт}} \leq 1 \quad (4.17)$$

Проведем расчёт показателя комплексности.

В исходной методике показатель комплексности определяется двумя частными составляющими:

$$P_k = P_{k1} + P_{k2} \quad (4.18)$$

где: $P_{k1} = 5, P_{k2} = 5$

Нормированное значение определяется выражением:

$$K_k = \frac{P_k}{10} \quad (4.19)$$

Таблица 4.15 – Пилотное PDM-решение.

Вариант решения	P_{k1}	P_{k2}	P_k	K_k
Автоматизация только КТПП	5	0	5	0,50
Автоматизация только ОПиДП	0	5	5	0,50
Комплексная автоматизация КТПП и ОПиДП	5	5	10	1,00
Отсутствие автоматизации обоих контуров	0	0	0	0,00

Вывод. Пилотное PDM-решение, ограниченное контуром КТПП, имеет нормированную оценку комплексности $K_k = 0,50$. При его последующем распространении на ОПиДП интегральная оценка комплексности может быть увеличена до $K_k = 1,00$. Данные представлены в таблице 4.15.

Рассмотрим оценку цифрового резерва в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Оценка цифрового резерва.

Показатель исходного уровня цифровизации	Текущее значение, %	Резерв до 100%, процентных пунктов
Передача конструкторской документации в цифровой форме	20	80
Передача технологической документации в цифровой форме	10	90
Использование специализированных APS-подсистем	5	95
Использование MES-подсистем	10	90

Расчёт резерва выполнен по формуле:

$$R = 100 - X \quad (4.20)$$

где X — исходный уровень цифровизации в процентах.

Вывод. Наибольший резерв связан с цифровой передачей технологической документации и развитием специализированных APS-подсистем. Для PDM-системы это определяет приоритетность ведения электронного архива ТД, управления версиями и статусами документов, организации электронного согласования и прослеживаемой передачи утверждённых данных в

производственный контур.

Проведем расчёт временного и экономического эффекта по приведённому примеру.

В статистических материалах указано, что концентрация ресурсов на 21,4% процессов позволяет получить расчётный эффект 1,8 млн руб. за счёт сокращения срока внедрения с трёх лет до одного года.

Сокращение длительности

$$T_0 = 3$$

Абсолютное сокращение:

$$\Delta T = T_0 - T_1 = 3 - 1 = 2 \quad (4.21)$$

Относительное сокращение:

$$\delta_T = \frac{T_0 - T_1}{T_0} \cdot 100\% = \frac{2}{3} \cdot 100\% = 66,67\% \quad (4.22)$$

Коэффициент ускорения реализации:

$$K_{\text{уск}} = \frac{T_0}{T_1} = \frac{3}{1} = 3 \quad (4.23)$$

Удельный эффект

$$E = 1\,800\,000$$

Удельный расчётный эффект на один процентный пункт охвата приоритетных процессов:

$$E_{1\%} = \frac{E}{q} = \frac{1\,800\,000}{21,4} = 84\,112,15 \quad (4.24)$$

Округлённо:

$$E_{1\%} \approx 84,1$$

Практическое применение методических положений подтверждено актом внедрения ООО «Аскон-Самара».

4.6. Выводы по главе 4

Выполнена апробация разработанной методики в пилотном контуре КТПП.

1. На основе IDEF0-моделирования сформированы требования к объектной архитектуре PDM-системы, составу документов и электронным маршрутам процессов.

2. Получены и должны быть подтверждены первичными документами показатели изменения временных, трудоёмких, качественных, интеграционных и инфраструктурных характеристик.

3. Расчёт $I_{эф}$ и $K_{тир}$ позволяет обосновать решение о последующем тиражировании PDM-решения.

Заключение

В диссертационной работе решена научно-практическая задача совершенствования методического обеспечения управления качеством организационно-информационных процессов конструкторско-технологической подготовки производства при внедрении отечественной PDM-системы.

Основные результаты работы заключаются в следующем.

1. Выполнен анализ особенностей КТПП как совокупности взаимосвязанных организационно-информационных процессов. Установлено, что качество подготовки производства определяется не только корректностью отдельных документов, но и своевременностью, полнотой, актуальностью, согласованностью и прослеживаемостью инженерных данных.

2. Обосновано, что внедрение PDM-системы должно рассматриваться как управляемый процесс организационно-информационных преобразований. Установка и техническая настройка программного обеспечения без предварительного моделирования процессов не гарантируют повышения качества КТПП.

3. Разработана методика внедрения PDM-системы, включающая инициацию проекта, обследование существующих процессов, SADT/IDEF0-моделирование состояния «как есть», формирование целевой модели «как должно быть», разработку объектно-ориентированной архитектуры PDM-системы, настройку и интеграцию, опытную эксплуатацию, а также оценку результатов и принятие решения о тиражировании.

4. Предложены правила формирования информационной модели PDM-системы на основе результатов функционального моделирования. Показано, что

функции IDEF0-модели могут быть использованы для выделения базовых процессов, входные и выходные потоки — для формирования перечня документов, а их семантическое обобщение — для определения сущностей предметной области.

5. Сформирован состав критериев оценки эффективности внедрения PDM-системы, включающий временные, трудоёмкие, качественные, интеграционные и инфраструктурные показатели. Указанный состав позволяет оценивать не только непосредственное сокращение длительности работ, но и качество инженерных данных, степень интеграции и готовность цифровой среды к устойчивому функционированию.

6. Предложен интегральный индекс эффективности $I_{эф}$, рассчитываемый как взвешенная сумма групповых критериев. Дополнительно введён показатель готовности к тиражированию $K_{тир}$, позволяющий учитывать воспроизводимость конфигурации, стандартизацию процессов, инфраструктурную и интеграционную готовность.

7. Практическая апробация расчётного примера показывает, что при внедрении модуля ведения классификатора и номенклатора материалов суммарный резерв рабочего времени составляет 222,7 ч/мес, или 2672 ч/год, что эквивалентно 1,39 условной единицы трудовой занятости при месячном фонде 160 ч. Интегральный индекс эффективности $I_{эф} = 0,767$ соответствует выраженному организационному и временному эффекту и указывает на готовность решения к тиражированию.

8. Выполнена апробация методики в условиях машиностроительных предприятий. Практическая значимость результатов подтверждается актом внедрения ООО «Аскон-Самара», где указано, что при внедрении предложенных технических решений был получен экономический эффект 1800000 рублей за год. Эффект был получен за счет использования разработанных методических материалов на предприятии ОАО «Волгабурмаш» и тиражирования имеющихся решений на различные службы предприятия. Суммарная приоритетность целевых индикаторов автоматизации КТПП составляет 634 балла, а отдела оперативно-

производственного планирования и диспетчеризации производства (ОПиДП) — 676 баллов. Разница равна 42 баллам, или 6,62% относительно оценки КТПП.

9. Пять первоочередных направлений автоматизации КТПП концентрируют 66,88% общего приоритета. Это подтверждает рациональность поэтапного внедрения PDM-системы с концентрацией ресурсов на наиболее значимых процессах. В КТПП приоритетными являются ускорение подготовки производства, сохранность документации, разграничение доступа, повышение эффективности взаимодействия подразделений и накопление инженерной информации для повторного использования. Нормированные веса групп критериев комплексной оценки равны: функциональные — 0,3333; финансово-экономические — 0,2593; комплексность решения — 0,2222; социально-экономические — 0,1852.

10. Исходный уровень цифровизации показывает значительный резерв: до 80 процентных пунктов по цифровой передаче КД, до 90 процентных пунктов по ТД, до 95 процентных пунктов по APS и до 90 процентных пунктов по MES. В приведённом примере сокращение срока реализации с трёх лет до одного года соответствует сокращению длительности на 66,67% и коэффициенту ускорения, равному 3. Расчётный удельный эффект составляет около 84,1 тыс. руб. на один процентный пункт охвата приоритетных процессов.

11. Наибольшую значимость имеют функциональные результаты автоматизации. Пилотное PDM-решение, охватывающее только КТПП, имеет оценку комплексности $K_k=0,50$, тогда как интеграция контуров КТПП и ОПиДП обеспечивает $K_k=1,00$. Это количественно обосновывает последовательную схему развития: PDM-ядро КТПП → интеграция с ОПиДП → дальнейшее сопряжение с ERP, APS и MES.

12. Перспективы дальнейших исследований связаны с развитием средств автоматизированного извлечения информационных объектов из моделей процессов, применением семантического анализа и онтологического представления инженерных данных, расширением набора показателей оценки цифровой зрелости КТПП, а также проверкой применимости методики на предприятиях различного профиля.

Перечень сокращений и обозначений

АСТПП — автоматизированная система технологической подготовки производства.

БП — бизнес-процесс.

ДПО — документы предметной области.

ЕИП — единое информационное пространство.

ЕСКД — Единая система конструкторской документации.

ЕСТД — Единая система технологической документации.

ИС — информационная система.

КД — конструкторская документация.

КТПП — конструкторско-технологическая подготовка производства.

МЕС — Manufacturing Execution System, система управления производственными процессами.

ПДМ — Product Data Management, управление данными об изделии.

ПЛМ — Product Lifecycle Management, управление жизненным циклом изделия.

САДТ — Structured Analysis and Design Technique, методология структурного анализа и проектирования.

СПО — сущности предметной области.

ТД — технологическая документация.

ЭРП — Enterprise Resource Planning, система планирования ресурсов предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, А.О. О применении обобщенных медианных схем для матричной активной экспертизы / А.О. Алексеев, Н.А. Коргин // Прикладная математика, механика и процессы управления. – 2015. – Т.1. – С. 170-177.
2. Антипов, Д.В. Подходы к повышению производительности и качества производственных процессов предприятий машиностроения / Д.В. Антипов, А.В. Иващенко // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2017. – Т.19. – №4-2. – С. 300-309.
3. Антипов, Д.В. Разработка научных и методических методов и подходов повышения эффективности функционирования и качества организации производственных систем / Ю.С. Ключков, Д.В. Антипов и др. // Издательство Самарского научного центра РАН. – Самара. – 2013. – 450 с.
4. Антипов, Д.В. Условия обеспечения сбалансированности взаимодействия процессов производственной системы / А.А. Руденко, Д.В. Антипов и др. // В сборнике: Стратегическое планирование развития городов и регионов. Сборник научных трудов V Международной научно-практической конференции. – Тольятти. – 2015. – С. 128-136.
5. Бабаев, И.А. Модель оценки успеха проектов в рамках согласования интересов сторон на базе нечетких множеств / И.А. Бабаев // Управління проектами та розвиток виробництва. – 2008. – №3 (27). – С. 1-6.
6. Багриновский, К.А. Модели и методы совершенствования механизмов инновационного развития экономики России на основе адаптивного управления / К.А. Багриновский // Журнал «Экономика и математические методы». – 2011. – Т.47. – №4. – С. 111-121.
7. Багриновский, К.А. Проблемы адаптивного управления технологической сферой / К.А. Багриновский // Региональный экономический журнал. – 2011. – №2. – С. 19-26.
8. Багриновский, К.А. Проблемы управления развитием наукоемкого производства / К.А. Багриновский // Менеджмент в России и за рубежом. – 2003. – №2. – С. 22-34.

9. Багриновский, К.А. Современные методы управления технологическим развитием. / К.А. Багриновский, М.А. Бендилов, Е.Ю.Хрусталёв – М.: Российская политическая энциклопедия, 2001.– 272 с.

10. Багриновский, К.А. Системные методы стимулирования перехода предприятий к новым технологиям / К.А. Багриновский, А.А. Никонова // Теория и практика эффективного функционирования российских предприятий. М., ЦЭМИ РАН, 2006.

11. Багриновский, К.А. Методы технологической трансформации производственной системы / К.А. Багриновский, А.А. Никонова, Н.А. Соколов // Экономика и математические методы. – 2016. – Т.52.– №1. – С. 3-19.

12. Бестужев-Лада, И.В., Варыгин, В.Н., Малахов, В.А. Моделирование в социологических исследованиях// И.В. Бестужев-Лада, В.Н. Варыгин, В.А. Малахов. – М.:Наука. – 2006.156 с.

13. Богатырев, В. Д. Формирование параметрически согласованного по комплектной поставке механизма взаимодействия в системе «Заказчик-поставщик». // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета), 2004 (2). С. 133-137.

14. Братухин, А.Г. CALS - стратегия наукоемкого машиностроения /А.Г. Братухин, В.Г. Дмитриев // Технологические системы. – 2007. – №. 3. – С. 10-25.

15. Вартамян, А. А. Управление командой и организацией в бизнес-среде / А. А. Вартамян // Доброе слово. – Москва. – 2006.

16. Вендров, А.М. Методы и средства моделирования бизнес-процессов (обзор) / А.М. Вендров // Информационная бюллетень Jet Info. – 2004 – №10 (137).

17. Воронин, А.А. Оптимальные иерархические структуры / А.А. Воронин, С. П. Мишин // ИПУ РАН. – Москва. – 2003.

18. Выборнов, Р.А. Модели и методы управления организационными системами с коррупционным поведением участников / Р.А. Выборнов // ИПУ РАН. – Москва. – 2006.

19. Гаврилов, Г.А. Управление производством на базе стандарта предприятия / Г.А. Гаврилов // СИНТЕГ. – Москва. – 2005. – 320 с.
20. Гайнутдинов Э.М. Производственный менеджмент : учебное пособие / Э.М. Гайнутдинов, Л.И. Поддерегина. – Минск : Вышэйшая школа, 2010. – 320 с. – ISBN 978-985-06-1705-7. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/20127.html> (дата обращения: 28.11.2021).
21. Галкина, Т.П. Социология управления: от группы к команде / Т.П. Галкина // Финансы и статистика. – Москва. – 2004.
22. Герасимов, Б.Н. Развитие процесса управления операционной политикой предприятия / Б.Н. Герасимов // Вестник международного института рынка. – 2015. – №1. – С. 49-58.
23. Гришанов, Г.М. Модель внутрифирменного механизма принятия решений по комплектному выпуску продукции на машиностроительном предприятии / Г.М. Гришанов, А.В. Кобенко // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т.17.– №6-2. – С. 370-374.
24. Гришанов, Г.М. Организация выполнения оперативных программ в условиях единичного и мелкосерийного производства / Г.М.Гришанов, С.А.Колычев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2017. – Т.19.– №1. – С. 40-43.
25. Гришанов, Г.М. Модели конкурентного взаимодействия по уровню квалификации персонала между предприятиями по производству ракетно-космической техники / Г.М. Гришанов, Д.А. Щелоков // Экономические науки. – 2014.– №121. – С. 47-49.
26. Губарев А. В. Информационное обеспечение системы менеджмента качества / А.В. Губарев. – Москва : Горячая Линия – Телеком, 2013. – 132 с. – ISBN 978-5-9912-0347-0. – URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/342055/reading> (дата обращения: 28.11.2021).
27. Губко, М.В. Математические модели оптимизации иерархических структур. / Губко М.В. – М.: ЛЕНАНД, 2006.

28. Губко, М.В. Механизмы управления организационными системами с коалиционным взаимодействием участников / Губко М.В. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 118 с.
29. Губко, М.В. Управление организационными системами с коалиционным взаимодействием участников. / Губко М.В. – М.: ИПУ РАН, 2003.
30. Губко, М.В. Структура оптимальной организации континуума исполнителей / Губко М.В. // Автоматика и телемеханика. – 2002. №12. – С. 116-130.
31. Губко, М.В. Согласование интересов в матричных структурах управления / М. В. Губко, А. П. Караваев // Автоматика и телемеханика. – 2001. – №10. – С. 132-146.
32. Губко, М.В. Классификация моделей анализа и синтеза организационных структур / М.В. Губко, Н.А. Коргин, Д.А. Новиков // Управление большими системами. – 2004. – №6. – С.5-21.
33. Губко, М.В. Оптимальная структура системы управления технологическими связями / М.В. Губко, С.П. Мишин // Материалы международной конференции «Современные сложные системы управления». Старый Оскол: СТИ, 2002. – С. 50-54.
34. Губко, М.В. Теория игр в управлении организационными системами. / М.В. Губко, Д.А. Новиков– М.: Синтег, 2002.
35. Гулаков, В.К. Мультиагентное моделирование координации распределенных работ / В.К. Гулаков, П.А. Паршиков, А.К. Буйвал// Математическое моделирование и информационные технологии: сб. науч. тр. / Под ред. В.К. Гулакова и А.Г. Подвесовского. Брянск: БГТУ. – 2009. – С. 59-61.
36. Дровяников, В.И. Ресурсный бизнес-процесс как основа реинжиниринга процессов управления конструкторско-технологической подготовкой производства / В.И. Дровяников, И.Н. Хаймович // Вестник Международного института рынка. – Самара. – 2007. – №1. – С. 236-241.
37. Жуковская, Н.К. Согласование интересов в иерархических системах /Н.К.Жуковская // Инженерный вестник Дона. 2011.

38. Жуковская, Н.К. Конфликтно-игровой подход к распределению ресурсов в организационной системе / С.В. Астанин, Н.К. Жуковская // Прикладная информатика. – 2011. – №4(34). – С.125-132.

39. Иващенко, А.В. Автореинжиниринг единого информационного пространства предприятия [Текст] / А.В. Иващенко, М. Е. Кременецкая. – Рос. акад. наук, Самар. науч. центр: СНЦ РАН, 2006. – 116 с.

40. Калянов, Г.Н. Теория бизнес-процессов: состояние, проблемы, перспективы / Г.Н. Калянов // В сборнике: XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019. Сборник трудов XIII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2019. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – 2019. – С. 2300-2303.

41. Калянов, Г.Н. Теория и практика реорганизации бизнес-процессов / Г.Н. Калянов // СИНТЕГ. – Москва. – 2000.

42. Карпов, Э.А. Организация производства и менеджмент : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов – «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» / Э.А. Карпов. – Изд. 2-е, стер. – Старый Оскол : [Тонкие наукоемкие технологии (ТНТ)], 2007. – 767 с. : ил., табл.; 21 см.; ISBN 978-5-94178-137-9 (В пер.).

43. Катаева, Т.А. Содержательная постановка задачи согласования интересов агентов в организационной иерархии / Т.А. Катаева // В сборнике: XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019. Сборник трудов XIII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2019. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – 2019. – С. 2304-2309.

44. Колчанов, В.Д. Экономическая эффективность внедрения информационных технологий: учеб. Пособие / В.Д. Колчанов, Л.И. Кобко – Москва, 2006. – 177 с.

45. Кириченко, А.С. Хаймович И. Н. Поиск области компромисса при согласовании интересов конструкторов и технологов в конструкторско-

технологической подготовке производства // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т.14. – № 6. – С. 187-189.

46. Кириченко, А.С. Предотвращение противоречий профессиональных интересов в конструкторско-технологической подготовке производства 109 [Электронный ресурс] / А. С. Кириченко // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – URL:<http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13150> (дата обращения: 06.06.2021г.).

47. Кириченко, А.С. Согласование механизмов управления процессами конструкторско-технологической подготовки производства на уровне сотрудников подразделений / А.С. Кириченко, И.Н. Хаймович // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). – 2011.– №2 (26).– С. 276-281.

48. Китаев, Д.Ф. Информационная система для разработки имитационной модели оценки коллектива / Д.Ф. Китаев, А.А. Макаров, Л.В. Макарова, С.Д. Смольников // Вестник международного института рынка. 2016 № 1. С. 190-198.

49. Китаев, Д.Ф. Анализ имитационной модели оценки эффективности обучения в группе / Д.Ф. Китаев, А.А. Макаров, Л.В. Макарова, С.Д. Смольников// Вестник международного института рынка. – 2016.– № 1. – С. 206-210.

50. Кукова, Ю.А. О существующих подходах к согласованию экономических интересов и необходимости разработки системы управления экономическими интересами в строительстве / Ю.А. Кукова // Вестник университета. –2014. –№8. –С. 56-61.

51. Ларин, С.Н. Математическая модель оценки рисков в процессе выбора исполнителя технологической операции на производстве / С.Н. Ларин, С.А. Карпаев, А.А Федоров // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. –2017. –Т.19. –№4-2. –С. 238- 242.

52. Ларин, С.Н. Формирование моделей послепродажного обслуживания авиационной техники с целью автоматизации процессов технического обслуживания и ремонта авиационной техники / С.А. Зрячев, С.Н. Ларин //

Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2020. – Т.22. – №5 (97). – С. 48-53.

53. Матвеев, А.А. Модели и методы распределения ресурса при управлении портфелями проектов/ А.А. Матвеев // Управление большими системами: сборник трудов. – 2005. – С. 98-106.

54. Матвеев, А.А. Модели и методы управления портфелями проектов. / А.А. Матвеев, Д.А. Новиков, А.В. Цветков – М.: ПМСОФТ, 2005. – 206 с.

55. Махитко, В.П. Имитационное моделирование в мелкосерийном производстве / Махитко В.П., И.Н. Хаймович, А.С. Клентак // Самарского муниципального института управления. – 2019. – №3.– С.17-25.

56. Махитко, В.П. Экономические аспекты имитационного моделирования производственных участков в среде Tecnomatix plant simulation / В.П.Махитко, В.М. Рамзаев, Г.М. Гришанов // Самарского муниципального института управления. – 2019. – №3. – С.7-16.

57. Минцберг, Г., Школы стратегий. / Г. Минцберг, Б. Альстрэнд, Дж. Лэмпел. – СПб: Питер, 2001. –336 с.

58. Модели и методы материального стимулирования (теория и практика) / Под ред. проф. В.Г. Засканова и проф. Д.А. Новикова. – М.: ЛЕНАНД, 2007. – 288 с.

59. Пантя, Ю.М. Механизм согласования интересов собственников и наемных управляющих в корпорациях РФ / Ю.М. Пантя// Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – С. 145-148.

60. Портер, М. Конкурентная стратегия. / М. Портер – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 453 с.

61. Портер, М. Конкурентное преимущество: Как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость / М. Портер — М.: Альпина Бизнес Букс, 2007.— 715 с.

62. Портер, М. Международная конкуренция: Конкурентные преимущества стран. / М. Портер — М.: Международные отношения, 1993. — 896 с.

63. Прахалад, К.К. Будущее конкуренции / К.К. Прахалад, В. Рамасвами – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2006. – 352 с.
64. Разу, М.А. Управление проектами [Текст]/ М.А. Разу — М.: СИНТЕГ, 2007. – 650 С.
65. Рамзаев, В.М. Организационно-экономические модели и механизмы сбалансированного управления конструкторскими и технологическими подразделениями предприятий по новым изделиям / В.М. Рамзаев, И.Н. Хаймович// Вестник Самарского муниципального института управления. – 2018. – №1. – С. 82-89.
66. РАМЗАЕВ М.В. Модели и механизмы управления конкурентоспособностью муниципальных образований на основе инвестиционного развития (на примере малых городов Самарской области): диссертация по спец. 08.00.13 – «Математические и инструментальные методы экономики» -158 с.
67. Рубин, Ю.Б. Дискуссионные вопросы современной теории конкуренции / Ю.Б. Рубин // Современная конкуренция. – 2010. – №3(21). – С. 38-67.
68. Скобелев, П.О. Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания Самарской научной школы мультиагентных систем / П.О.Скобелев // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – №12.– С. 33-46.
69. Траут, Д. Маркетинговые войны. / Д. Траут, Э. Райс - СПб.: Питер, 2009. – 304 с.
70. Фатхутдинов, Р.А. Сущность конкурентоспособности / Р.А. Фатхутдинов // Современная конкуренция. – 2009.– № 3. – С. 99-129.
71. Фатхутдинов, Р.А. Уровни и объекты конкурентоспособности / Р.А. Фатхутдинов // Современная конкуренция. – 2009. – № 4. – С. 123-143.
72. Хаймович, И.Н. Анализ характеристик стабильности и размерности промышленной предметной области при автоматизации систем документооборота / И.Н. Хаймович // Вестник Самарского государственного университета имени

академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). – Самара. – 2008. – №1. – С. 243-247.

73. Хаймович, И.Н. Информационные системы в конструкторско-технологической подготовке производства промышленного предприятия / И.Н. Хаймович, Е.Г. Демьяненко // СГАУ. – Самара. – 2014. – 140 с.

74. Хаймович, И.Н. Информационные технологии управления: на основе моделирования и оптимизации задач инвестиционного, производственного и стратегического менеджмента / И.Н. Хаймович, Е.А. Матвеева, С.Г. Симагина // Издательство «Юнити-Дана» – Москва. – 2014. – 150 с.

75. Хаймович, И.Н. Методологические аспекты создания единого информационного пространства предприятия с использованием PDM – системы производства / И.Н. Хаймович // Известия Самарского научного центра РАН. – Самара. – 2008. – №1. – С. 10-15.

76. Хаймович, И.Н. Методология организации согласованных механизмов управления процессом конструкторско-технологической подготовки производства на основе информационно-технологических моделей: автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.02.22 / И. Н. Хаймович; Сам. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева. – Самара, 2009. – 35 с.

77. Хаймович, И.Н. Модели и методы, используемые при внедрении информационных систем конструкторско-технологической подготовки производства, при ограничении на ресурсы / И.Н. Хаймович // Вестник Самарского государственного технического университета. Выпуск 21. Серия Технические науки. – Самара. – 2008. – С. 114-117.

78. Хаймович, И.Н. Обеспечение целостности программных проектов при реинжиниринге машиностроительных предприятий / И.Н. Хаймович // Вестник Международного института рынка. – Самара. – 2007. – №1. – С. 219-227.

79. Хаймович, И.Н. Предотвращение противоречий при принятии технологического решения в конструкторско-технологической подготовке производства / И.Н. Хаймович, М.А. Фролов, Н.О. Куралесова, // Вестник Волжского университета имени В.Н. Татищева. – 2015. – №1 (23). – С. 47-51.

80. Хаймович И.Н. Применение методологии SADT при моделировании бизнес-процессов технологической подготовки производства машиностроительного предприятия / И.Н. Хаймович // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2008. – №3. – С. 933-939.

81. Хаймович, И.Н. Принципы построения бизнес-процессов моделей конструкторско-технологической подготовки производства машиностроительного предприятия / И.Н. Хаймович // Вестник Международного института рынка. – Самара. – 2007. – №1. – С. 223-231.

82. Хаймович, И.Н. Процедурные правила разработки и согласования бизнес-процессов кузнечно–штамповочного производства / И.Н. Хаймович, А.И. Хаймович // Вестник Самарского государственного университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). – Самара. – 2008. – №1. – С. 248-252.

83. Хаймович, И.Н. Разработка модели технологического решения при автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства на предприятии «Волгабурмаш» / И.Н. Хаймович, М.А. Фролов // Успехи современного естествознания. – 2014. – Т.8 (ч.2). – С. 16-22.

84. Хаймович, И.Н. Разработка принципов построения бизнес-процессов КТПП на основе информационно-технологических моделей / И.Н. Хаймович // Фундаментальные исследования. – 2014. – №9. – С. 1709-1714.

85. Хаймович, И.Н. Разработка информационных систем управления конструкторско-технологической подготовкой производства как интегрированной базы информационных и функциональных структур / Ф.В. Гречников, И.Н. Хаймович // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2008. – №6. – С. 42-46.

86. Хаймович, И.Н. Рационализация организации производства машиностроительного предприятия на основе реинжиниринга / И.Н. Хаймович, А. И. Хаймович // Вестник Самарского государственного университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). – Самара. – 2006. – №3. – С. 53-58.

87. Хаймович, И.Н. Реинжиниринг процессов управления конструкторско-технологической подготовкой производства на основе изменения бизнес-процессов / И.Н. Хаймович // Вестник СГТУ. – 2012. – №4. – С. 67-74.

88. Хаймович, И.Н. Согласование внутренних интересов в процессе производственного развития региональных промышленных кластеров на основе информационного управления / И.Н. Хаймович, Е.А. Кукольников, В.М. Рамзаев // Вестник СГЭУ. – 2014. – №12 (122). – С. 32-40.

89. Хаймович, И.Н. Создание единого информационного пространства предприятия с использованием UML моделирования для обучения специалистов в вузах / И.Н. Хаймович // Тезисы докладов второй Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы современного социально-экономического развития» – Самара. – 2006. – С. 132.

90. Хаймович, И.Н. Устранение противоречий при осуществлении технологических решений в рамках КТПП / И.Н. Хаймович, М.А. Фролов // Прогрессивные методы и технологическое оснащение процессов обработки металлов давлением: сборник материалов научно-технической конференции. – Санкт-Петербург. – 2014. – С. 310-315.

91. Хаймович, И.Н. Формирование бизнес-процессов управления конструкторско-технологической подготовкой производства / И.Н. Хаймович // Сборник материалов шестой Всероссийской научно-практической конференции «Компьютерные технологии в науке, практике и образовании». – Самара. – 2008. – Т.1. – С. 100-108.

92. Чурилин, С.В. Выявление и предотвращение конфликтов интересов при внедрении информационных технологий на предприятии/ С.В. Чурилин // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2021). – 2021. – С. 314-317.

93. Чурилин, С.В. Механизм выявления конфликтов интересов при внедрении информационных технологий в процессы конструкторско-технологической подготовки производства / С.В. Чурилин // Наука и бизнес: пути развития. – 2021. – №9(123). – С. 58-60.

94. Чурилин, С.В. Базовая концептуальная модель данных конструкторско-технологической подготовки производства в едином информационном пространстве предприятия / С.В. Чурилин, И. Н. Хаймович // Известия Самарского научного центра Российской академии наук.– 2020.– Т.22.– №4(96).– С. 57-63.

95. Чурилин, С.В. Конфликт интересов при внедрении информационных технологий в конструкторско-технологическую подготовку производства / С.В. Чурилин, И.Н. Хаймович // Известия Самарского научного центра Российской академии наук.– 2020.– Т.22.– №4(96).– С. 57-63.

96. Чурилин, С.В. Управление качеством конструкторско-технологической подготовки производства с использованием базовой концептуальной модели данных / О.И. Антипова, И.Н. Хаймович, А.Н. Чекмарев, // Вестник Самарского муниципального института управления.– 2020. – №1. – С. 7-19.

97. Шинкевич, А.И. Логико-информационная модель управления процессами умного производства / Р.К. Нургалиев, А.И. Шинкевич // Известия Самарского научного центра Российской академии наук.– 2021. – Т.23.– №2(100). – С. 29-36.

98. Шинкевич, А.И. Особенности управления нефтехимическим производством в индустрии 4.0 / А.И. Шинкевич, Р.К. Нургалиев // Современные наукоемкие технологии.– 2021.– №3.– С. 119-124.

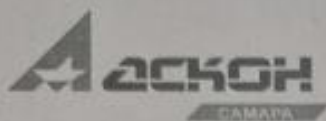
99. Шинкевич, А.И. Пути повышения эффективности организации производственных процессов на нефтехимических предприятиях за счет применения систем автоматизации /Н.В. Барсегян, А.И. Шинкевич // Русский инженер.– 2019.– №4 (65). – С. 48-51.

100. Шинкевич, А.И., Развитие инновационных промышленных кластеров в условиях цифровизации экономики / А.Н. Дырдонова, А.И. Шинкевич, Л.А. Горбач // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. – 2021.– №1. – С. 20-22.

101. Шинкевич, А.И. Тенденции бизнес-решений в развитии интеллектуального производства /А.И. Шинкевич, С.С. Кудрявцева, М.В. Шинкевич // Вестник университета. 2020.– №8.– С. 41-47.

102. Юданов, А.Ю. Вторая половинка модернизации / А.Ю. Юданов // Эксперт. – 2011. – №20 (754) – С.46-52.
103. Юданов, А.Ю. Гении национального бизнеса. / А.Ю. Юданов // Эксперт. – М., 2007. – № 16. – С. 32–41.
104. Юданов, А.Ю. Типы конкурентной стратегии: «биологический» подход к классификации компаний / А.Ю. Юданов // Мировая экономика и международные отношения. – 1990. – № 10. – С. 51.
105. Юданов, А.Ю. Что такое инновационная фирма? / А.Ю. Юданов // Вопросы экономики. – 2012. – №7 – С.30-46.
106. Carr N. G. Is Google Making Us Stupid? What the Internet is doing to our brains. / N. G. Carr. // Atlantic magazine. – 2008. – July/August. – P. 30-38.
107. Hirsch-Kreinsen H. «Low-Tech» Innovations / H. Hirsch-Kreinsen // Industry & Innovation. – 2008. – №15, February. – P. 19-43.
108. Kumar D., Crocker J., Knezevic J., El-Haram M. Reliability, Maintenance and Logistic Support: – A Life Cycle Approach. – Springer US, 2000. – 490 p.
109. Porter, M. E. Strategy and Society the Link Between Competitive Advantage and Corporate Social Responsibility. / M.E. Porter, M.R. Kramer // Harvard business review. – 2006. – December. – P. 10–26.
110. Perez, C. Innovation systems and policy: not only for the rich? / C. Perez // Working Papers in Technology Governance and Economic Dynamics no. 42, The other canon foundation, Norway. – Tallinn: Tallinn University of Technology, 2012. – 44 p.

Приложение А



ООО АСКОН-Самара
443035, г. Самара, ул. Нагорная, д. 143, офис 1, тел./факс: (846) 331-00-05
ИНН/ОГРН 6312084381 / 631201001, ОГРН 1086312005845,
р/с 407026103000000048271, Банк ГПБ (АО) г. Москва
к/с 30101810200000000823, БИК 044525823, ОКВЭД 62.09

АКТ

о внедрении результатов диссертационных исследований
Кузнецова Владислава Андреевича

Настоящим актом подтверждается внедрение результатов работы В. А. Кузнецова, связанной с совершенствованием методического обеспечения управления качеством организационно-информационных процессов конструкторско-технологической подготовки производства, выполненной в рамках диссертационного исследования на соискание ученой степени кандидата технических наук. Основное направление исследования связано с повышением эффективности процессов конструкторско-технологической подготовки производства за счет автоматизации производственных процессов с использованием функциональных и информационных системных моделей.

Применение результатов работы при решении задач конструкторско-технологической подготовки производства на предприятиях нефтегазового машиностроения, связанных с проектированием и изготовлением машиностроительных изделий, позволило повысить эффективность управления процессами КТПП, обеспечить формализацию организационно-технологических процессов, разработать структуру информационной системы КТПП. В результате внедрения разработанного инструментария обеспечено повышение качества подготовки конструкторско-технологической документации, сокращение сроков выполнения работ и повышение эффективности использования информационных ресурсов.

Предложенная методика внедрения информационной системы конструкторско-технологической подготовки производства позволяет отказаться от стратегии «тотальной автоматизации» всех бизнес-процессов и перейти к целенаправленной, приоритетной автоматизации, ориентированной на поэтапное тиражирование отработанных методик автоматизации с учетом разработанных показателей качества организационно-информационных процессов конструкторско-технологической подготовки производства при внедрении PDM - систем. Экономический смысл данного подхода заключается в том, что при вложении ресурсов лишь в 25,6% процессов предприятие получает возможность целенаправленно получить эффект 1,8 млн. рублей за счет сокращения сроков внедрения ИС в 3 раза (с трех лет до одного года).

Генеральный директор
ООО «АСКОН-Самара», к.т.н.

