

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ульяновский государственный университет»**

На правах рукописи

Ларин Сергей Николаевич

**МЕТОДОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
ПОДГОТОВКОЙ ПРОИЗВОДСТВА В ОРГАНИЗАЦИОННО–
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО
ПОДХОДА**

2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация.

Организация производства

Диссертация

на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант:

Хаймович Ирина Николаевна,

доктор технических наук, профессор

Ульяновск - 2026

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕЛЕЙ И ЗАДАЧ В КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА НА ЭТАПЕ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА	12
1.1 АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	12
1.2. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ПРИНЦИПЫ РАБОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА	29
1.3. АНАЛИЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ В ТПП	75
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1	97
ГЛАВА 2. СИНТЕЗ МЕХАНИЗМОВ СОГЛАСОВАННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА С УЧЕТОМ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА	100
2.1 СТРУКТУРА ГИБКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА	100
2.2 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СОГЛАСОВАННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ГИС ОТС ТПП	103
2.3 СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ГИС ОТС ТПП	109
2.4 РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПО МАРШРУТНОЙ КАРТЕ	113
2.5 МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИС ОТС ТПП НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА.....	118
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2	134
ГЛАВА 3. ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОДДЕРЖКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА	136
3.1 ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА	136
3.2. КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ «ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА»	139
3.3. МЕТОД ВЫБОРА ИСТОЧНИКОВ ЗНАНИЙ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА .	150
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3	161
ГЛАВА 4. МЕТОДОЛОГИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКОЙ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА.....	162
4.1 ИНТЕГРИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ГИБКОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ГИС ОТС ТПП.....	162

4.2. АНАЛИЗ ИНТЕГРИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ГИБКОЙ ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ГИС ОТС ТПП	176
4.3 МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ГИБКОЙ ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ГИС ОТС ТПП.....	186
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4	214
ГЛАВА 5. ФОРМИРОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТПП НА ОСНОВЕ СОГЛАСОВАННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ГИСТПП И ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА.....	216
5.1 СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНСТРУМЕНТАРИЯ В ГИС ОТС ТПП	216
5.2 ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ГИС ОТС ТПП НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА ПОИСКА КОМПЛЕКТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ	220
5.3. ОПТИМИЗАЦИЯ ТПП НА ОСНОВЕ ВЫБОРА КОМПЛЕКТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ 228	
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 5	233
ГЛАВА 6. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДОЛОГИИ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА ДЛЯ САМОЛЕТОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	234
6.1 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТПП НА КОНКРЕТНОМ ПРЕДПРИЯТИИ С ОРГАНИЗАЦИЕЙ ПРОЦЕССА ВНЕДРЕНИЯ СОГЛАСОВАННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ГИС ОТС ТПП НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА	234
6.2. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ МЕТОДОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ В ТПП НА ОСНОВЕ ГИС ОТС ТПП	250
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 6	252
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	257
ПРИЛОЖЕНИЕ А	267
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	324
ПРИЛОЖЕНИЕ В	327
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	331

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Эволюция развития производства изделий авиационной техники представляет собой его развертывание во времени и возрастание по сложности по закону, близкому к экспоненциальному. В настоящее время этот процесс определяется переходом от автоматизации производственных процессов к их интеллектуализации, то есть насыщением новыми производственно-технологическими знаниями, к которым адаптируются средства производства, становясь более совершенными и способными к решению задач, отвечающих требованиям настоящего и ближайшего будущего.

Стандарт ISO:9001 является фундаментом обеспечения постоянных улучшений в системах менеджмента качества, он напрямую формирует запросы на улучшения и обеспечивает интеграцию и наращивание передовых инструментов определяющих текущий уровень научно-технического прогресса при решении задач в области повышения результативности и эффективности организаций.

Одним из магистральных направлений такого развития является формирование среды, в которой сочетание когнитивной обработки информации со стороны человека, цифровизации объектов производства и использования интеллектуальных технологий задает основу создания «умного производства», которое включает в себя производственную деятельность на базе технологий больших данных, интернет-вещей, нейросетей и использования web-пространства как всемирной онтологической базы, в общем, обеспечивает значимое развитие системы управления организацией и, в частности, управление технологической подготовкой производства.

Формирование такой организационно-технической системы (ОТС) позволяет не только обеспечить развитие существующих производственных мощностей на должном уровне и улучшить оперативное решение возникающих проблем в самые короткие сроки, но и создает прямые предпосылки для перехода в цифровое пространство и обеспечивает быструю трансформацию производства.

В первую очередь, создание таких систем управления должно происходить на этапах технологической, конструкторской и организационной подготовки производства.

Способность решения задач по интеллектуализации и информатизации современного производства определяет эффективность действующих процессов технологической подготовки производства (ТПП), при этом необходимо устранить противоречие в ОТС ТПП.

Это противоречие связано с отсутствием методологического инструментария синхронизации процессов формирования требований, относящихся к продукции и

обеспечению предложения на уровнях технологической оптимизации при подготовке производства с учетом вопросов качества и организации производства.

Таким образом, отраслевой научно-технической проблемой является необходимость формирования методологического инструментария, обеспечивающего опережающее развитие инструментов технологической подготовки производства и максимальное сближение и синхронизацию аспектов формирования технического облика продукции на соответствующей ей производственно-технологической базе.

Научная гипотеза состоит в следующем: чтобы устранить данное противоречие необходимо разработать методологию согласованного взаимодействия между подразделениями в ОТС на основе принятия организационно-технических решений (ОТР) с учетом критериев качества технологических процессов. Создание указанной методологии невозможно без совершенствования теории управления организационными системами и внедрения новых информационных систем в организацию производства.

Степень разработанности темы

Значительный вклад в развитие теории управления организационными системами внесли многие отечественные и зарубежные ученые, в том числе Багриновский К.А., Волкович В.Л., Гермейер Ю.Б., Засканов В.Г., Хаймович И.Н., Ириков В.А., Новиков Д.А., Морозов В.М., Гришанов Г.М., К. Arrow, Т. Croves, О. Hart, R. Radner и другие. Несмотря на большое число публикаций, посвященных организационным системам и их функционирования и взаимодействия, на сегодняшний день не сформирована методология согласованного взаимодействия процессов в ТПП при принятии организационно-технических решений на основе баз знаний и показателей качества проектирования технологических процессов.

Вместе с тем, совершенствование организации производства в процессе технологической подготовки невозможно без разработки моделей и методов оптимизации бизнес-процессов на основе онтологической теории формирования знаний.

Проблемам внедрения новых информационных систем в организации производства посвящено значительное количество работ. Среди наиболее известных работ, посвященных организации производства и методам проектирования и оценки информационных систем в этой области, следует отметить работы российских ученых: Куликовой Л.Ф., В.В. Липаева, А.М. Вендрова, С.А. Орлова, Е.З. Зиндера, И.Ю. Тудера, А.Я. Меламеда, Д.Ю. Журавлева и др. Среди зарубежных можно выделить работы таких авторов, как G. Booch, E. Yourdon, I. Jacobson, D. Longstreet, B. Voem, R. Ganter и др. В то же время довольно мало внимания уделяется научно-практическому развитию инженерных инструментов управления, организации производственных систем через разработку баз знаний в области ТПП.

Таким образом, вышеперечисленные проблемы являются актуальными, и их решение имеет особо важное значение для теории и практики организации производства.

Целью исследования является повышение результативности процесса технологической подготовки производства изделий авиационной техники на основе формирования методологии согласованного взаимодействия в организационно-технической системе с учетом улучшения показателей качества технологической документации с использованием онтологического подхода.

Данная цель предполагает решение следующих конкретных **задач исследования**:

- провести анализ и оценку действующих механизмов взаимодействия, сформулировать актуальные проблемы, возникающие в задачах организации процессов технологической подготовки производства, определить направления их совершенствования и выявить роль механизмов согласованного взаимодействия в организационной системе;
- разработать комплекс взаимосвязанных математических моделей принятия решений по выбору оптимизированного технологического процесса конструкторскими, технологическими, производственными и информационными службами;
- выявить и представить в форме математической схемы противоречивые ситуации при организации процессов технологической подготовки производства с учетом показателей качества разработанных технологических процессов;
- сформировать концептуальную модель технологической подготовки производства с детализацией технологических процессов по видам организации производства для разработки базы знаний в данной предметной области, обеспечивающих высокое качество организационно-технических решений;
- разработать методику формирования данных с системой оценивания онтологий для конкретных организационно-технических решений;
- разработать методику выбора источников знаний для оценки экспертов и правил онтологии для согласованного взаимодействия в гибкой информационной системе ОТС ТПП (ГИС ОТС ТПП);
- для анализа и синтеза организационно-технических решений в ОТС ТПП провести систематизацию, формализацию и оптимизацию производственных процессов и их элементов в базе знаний;
- обосновать результативность организации механизмов согласованного взаимодействия и показать практическое их применение к решению задач обеспечения высокой надежности изделия как основной характеристики его качества;

- разработать инновационную методологию, реализующую согласованное взаимодействие между подразделениями в ТПП, основанную на уменьшении энтропии информации.

Область исследования соответствует п. 15 «Научно-практическое развитие инженерных инструментов управления, организации производственных систем, а также баз знаний», п. 18 «Разработка научных, методологических и системотехнических принципов повышения эффективности функционирования и качества организации производственных систем», п. 20 «Анализ и синтез организационно-технических решений. Стандартизация, унификация и типизация производственных процессов и их элементов», и п. 13 «Научные основы цифровых, автоматизированных комплексных систем управления производством и качеством работ на базе технических регламентов и стандартов».

Объектом исследования является организация процессов технологической подготовки производства промышленных предприятий.

Предметом исследования являются механизмы взаимодействия между службами в процессе функционирования организационной системы.

Научная новизна состоит в следующем: разработана методология согласованного взаимодействия подразделений в процессе технологической подготовкой производства, ориентированная на повышение качества технологических процессов.

Новизна включает в себя:

1. определена концептуальная модель технологической подготовки авиационного предприятия, которая отличается от существующих детализацией элементов по типам производства (п. 15 паспорта специальности 2.5.22);
2. сформирован онтологический подход для гибкой информационной организационно-технической системы технологической подготовки производства, отличающийся формированием правил онтологии с использованием критериев качества организационно-технических решений в технологической подготовке производства (п. 20 паспорта специальности 2.5.22);
3. разработана структура организационно-технической системы технологической подготовки производства, включающая в отличие от существующих новую систему показателей качества технологических процессов и создание новых связей через информационный отдел (п. 18 паспорта специальности 2.5.22);
4. разработан комплекс взаимосвязанных математических моделей согласованного взаимодействия в гибкой информационной организационно-технической системе технологической подготовки производства, обеспечивающих повышение качества технологических процессов, отличающийся от существующих выбором между

конструкторскими, технологическими, производственными и информационными службами организационно-технических решений по показателю уменьшения энтропии информации (п. 18 паспорта специальности 2.5.22);

5. разработана методика формирования данных для гибкой информационной организационно-технической системы технологической подготовки производства, которая отличается от существующих наличием оценки онтологий для конкретных организационно-технических решений (п. 15 паспорта специальности 2.5.22);

6. разработана методика выбора источников знаний для гибкой информационной организационно-технической системы технологической подготовки производства, которая отличается от существующих наличием оценки экспертов и получением новой информации к нормативной базе технологической подготовки через обнаружение скрытых данных (п. 15 паспорта специальности 2.5.22);

7. подход к анализу и синтезу организационно-технических решений в гибкой информационной организационно-технической системе технологической подготовки производства с использованием стандартизации, унификации и типизации производственных процессов и их элементов, отличающийся использованием экспертного мнения специалистов всех технологических служб, новым кодификатором технологических элементов, оптимизацией процессов по времени, стоимости и коэффициенту значимости для разных видов производства (п. 13 паспорта специальности 2.5.22).

Теоретическая значимость работы заключается в развитии научно-методологической базы инструментов сквозного управления технологической подготовкой производства на основе синтеза механизмов согласованного взаимодействия участников ОТС и онтологического подхода. Методологическое обеспечение процессов управления организационно-технической системой решает задачу синхронизации развития процессов проектирования, технологической подготовки и производства с инструментами интеллектуальной поддержки принятия решений, что позволяет распространить полученные результаты на широкий класс машиностроительных и самолетостроительных предприятий.

Практическая ценность работы состоит в создании научно-прикладной методологии, направленной на сквозное управление организационно-технической системой технологической подготовки производства посредством разработки и реализации комплексных решений, действующих на этапах конструкторской и технологической подготовки, планирования и серийного производства, и развивающих следующие аспекты: интеллектуализацию проектирования маршрутных карт на основе онтологии и прецедентного анализа; обеспечение согласованного взаимодействия конструкторских подразделений (КП), технологических подразделений (ТП), производственных

подразделений (ПП) и информационного отдела (ИО) посредством системы целевых функций и стимулирующих воздействий; автоматизированный подбор средств производства и поиск релевантных комплектов технологической документации; формирование шаблонной оснастки на основе библиотек прецедентов.

Положения разработанной методологии для внедрения ГИС ОТС ТПП, оформленные в виде моделей и методов, применялись при разработке организационной системы управления проектным производством на УНТЦ ВИАМ – НИЦ «Курчатовский институт». Применение гибкой онтологической платформы привело к следующим результатам: трудоемкость проектирования шаблонной оснастки снизилась в среднем на 20 %, металлоемкость изготовления — на 25 %, в отдельных случаях — на 100 %; коэффициент релевантности поиска по шаблонной оснастке варьируется в пределах от 0,6 до 0,85, что подтверждено актом внедрения. Результаты диссертации нашли применение в учебном процессе по подготовке инженеров-технологов и специалистов в области информационных технологий в Ульяновском государственном университете.

Методы исследования.

Для решения поставленных в диссертационном исследовании задач использовались: методы теории систем и системного анализа, методы сравнительно-сопоставительного анализа, методы математического моделирования, экспертные методы оценки, теория управления, процессное моделирование и логический анализ, а также реальные экспериментальные исследования, проводимые с целью проверки адекватности теоретических положений.

Положения, выносимые на защиту

1. Методология управления технологической подготовкой производства в организационно-технических системах на основе онтологического подхода, ориентированная на уменьшение энтропии информации.
2. Концептуальная модель технологической подготовки производства с детализацией элементов по типам производства.
3. Онтологический подход для ГИС ОТС ТПП на основе новой стандартизации, унификации и типизации производственных процессов.
4. Математические модели согласованного взаимодействия в ГИС ОТС ТПП, обеспечивающие повышение качества технологических процессов через принятие решений руководителем между конструкторскими, технологическими, производственными и информационными службами по показателю уменьшения энтропии информации.

5. Структура гибкой информационной системы ОТС ТПП, включающая новую систему показателей качества технологических процессов и новых связи через информационный отдел.

6. Методика формирования данных для ГИС ОТС ТПП на основе оценки онтологий для конкретных организационно-технических решений.

7. Методика выбора источников знаний для ГИС ОТС ТПП на основе системы оценки экспертов и новой информации к нормативной базе технологической подготовки производства через обнаружение скрытых данных.

8. Подход к анализу и синтезу организационно-технических решений в ГИС ОТС ТПП с использованием стандартизации, унификации и типизации производственных процессов и их элементов с оптимизацией процессов по времени, стоимости и коэффициенту значимости для разных видов производств.

9. Результаты комплексной апробации и внедрения методологии на предприятиях аэрокосмической отрасли.

Достоверность результатов. Обоснованность и достоверность научных положений и результатов диссертационного исследования обеспечивается анализом подходов к цифровизации процессов за счет согласованности теоретических положений с выводами, полученными при практическом внедрении результатов исследования, а также апробацией основных результатов работы в печатных трудах и докладах на российских и международных

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях, в том числе: IX Междунар. науч.-практ. конф. «Новые научные исследования» (г. Пенза, 2022 г.); 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021), Информатика, моделирование, автоматизация проектирования (ИМАП-2010), Самолетостроение России. Проблемы и перспективы: материалы симпозиума с междунар. участием. Самара, 2012, Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности: материалы Междунар. науч.-практ. конф. 2014, Энергосбережение, информационные технологии и устойчивое развитие: сб. материалов Междунар. интернет-конф. 2014, 14-я Междунар. конф. «Авиация и космонавтика – 2015».

Личный вклад автора. Все результаты диссертационного исследования получены автором самостоятельно, либо под его научным руководством.

В работах, опубликованных в соавторстве, автором определены ключевые направления исследований, проведена постановка задач и выбор методов их решения, проанализированы и интерпретированы результаты, а также написаны работы. В

диссертацию включены только те части совместных работ, которые были выполнены автором самостоятельно. Все заимствованные материалы указаны соответствующими ссылками.

Публикации. Основные результаты представлены в 75 научных трудах – 13 публикаций в журналах, рекомендованных ВАК, 4 публикации в иностранных научных изданиях, в том числе цитируемых в системах Scopus, Web of Science, 6 авторское свидетельство на результат интеллектуальной деятельности, 4 монографии и 49 публикаций в других научных изданиях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы.

Работа содержит 333 страниц текста, включая 65 рисунков, 50 таблиц. Список используемой литературы составляет 101 наименование.

Глава 1. Анализ состояния и формирование целей и задач в конструкторско-технологической подготовке производства на этапе подготовки производства

1.1 Анализ организационно-технических систем в машиностроительном производстве

Современное машиностроительное предприятие функционирует в условиях высокой динамики технологических изменений, усиления конкуренции и необходимости постоянного совершенствования производственных процессов. В подобных условиях эффективность деятельности организации во многом определяется качеством построения организационно-технической системы управления, обеспечивающей координацию производственных, информационных и управленческих процессов.

Организационная структура предприятия представляет собой систему взаимосвязанных элементов, определяющих распределение обязанностей, полномочий и ответственности между подразделениями и сотрудниками. Традиционно такая структура отображается в виде иерархической схемы, где каждый элемент выполняет определенный набор функций и подчиняется вышестоящему уровню управления. Подобная модель позволяет формализовать процессы управления и установить четкие связи между подразделениями.

Однако использование исключительно двухмерной иерархической схемы в современных условиях приводит к ряду существенных ограничений. Прежде всего возрастает уровень внутренней конкуренции между подразделениями, что снижает эффективность совместной работы и препятствует достижению общих целей предприятия. Дополнительной проблемой становится сложность объективной оценки результатов деятельности отдельных подразделений, поскольку производственные процессы характеризуются высокой взаимозависимостью.

Еще одним существенным недостатком традиционных структур является их низкая адаптивность к изменениям внешней среды. При усложнении производственных процессов и ускорении темпов технологического развития предприятиям требуется гибкая система управления, способная быстро реагировать на изменение требований рынка, модернизацию оборудования и внедрение цифровых технологий. Жесткие иерархические схемы в подобных условиях становятся фактором, ограничивающим развитие организации.

Следовательно, современная организационно-техническая система должна обеспечивать не только устойчивость производственных процессов, но и возможность их оперативной трансформации. Для достижения данной цели требуется применение гибких

структур управления, ориентированных на интеграцию подразделений, повышение скорости обмена информацией и поддержку коллективного принятия решений.

Иерархические структуры управления

На протяжении длительного времени основу систем управления промышленными предприятиями составляли иерархические модели организации. Их формирование связано с классическими принципами административного управления, ориентированными на строгую регламентацию деятельности, вертикальное распределение полномочий и централизованный контроль.

Для иерархических структур характерны многоуровневая система подчинения, распределение ответственности в зависимости от уровня управления, функциональная специализация подразделений, формализация управленческих процедур, стандартизация процессов принятия решений и регламентированный порядок взаимодействия сотрудников.

Использование подобных структур обеспечивает стабильность функционирования предприятия, упрощает контроль исполнения управленческих решений и позволяет поддерживать единый порядок организации производственной деятельности. Одновременно с этим чрезмерная централизация приводит к росту бюрократизации, снижению скорости принятия решений и ухудшению адаптации организации к изменениям внешней среды.

В условиях современного машиностроительного производства данные недостатки становятся особенно заметными, поскольку внедрение цифровых технологий, интеллектуальных систем и автоматизированных производственных комплексов требует более гибких механизмов взаимодействия между подразделениями.

Наиболее распространенными разновидностями иерархических структур являются линейная, линейно-штабная и дивизионная модели управления.

Линейная структура управления

Линейная организационная структура (рисунок 1.1.) основана на принципе вертикального подчинения, при котором управление осуществляется последовательно от высшего уровня к низшему. Каждое подразделение имеет одного непосредственного руководителя, отвечающего за координацию деятельности подчиненных. Каждое подразделение функционирует в рамках установленной системы целей и задач, а результаты его деятельности оцениваются посредством соответствующих показателей эффективности. На этой основе формируются механизмы стимулирования и мотивации персонала. При подобной организации управления общий результат деятельности предприятия нередко

рассматривается как совокупность результатов отдельных служб, вследствие чего внимание концентрируется преимущественно на локальных показателях подразделений.

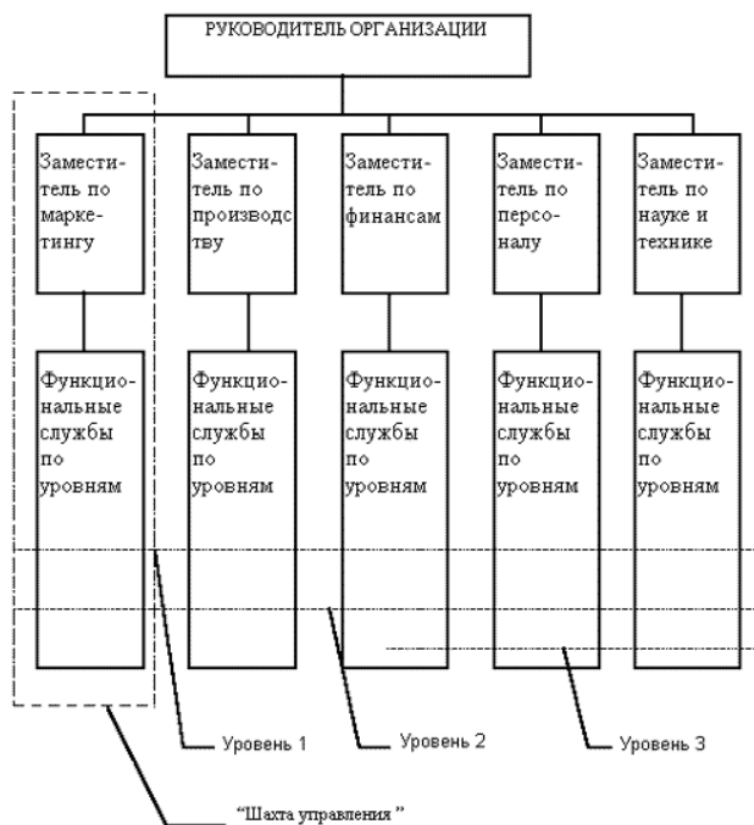


Рисунок 1.1 – Линейная структура управления

Особенностью данной модели является разделение системы управления по функциональным направлениям: производству, маркетингу, финансовому обеспечению, научно-исследовательской деятельности, кадровой политике и другим видам деятельности предприятия. Для каждого направления формируется собственная управленческая вертикаль.

Линейная структура отличается четким распределением обязанностей, единоначалием, централизованным контролем и высокой скоростью передачи управленческих распоряжений. Наличие одного руководителя для каждого уровня подчинения позволяет обеспечить понятную систему ответственности и поддерживать дисциплину исполнения.

Несмотря на перечисленные преимущества, подобная модель управления обладает существенными ограничениями. Основная проблема заключается в недостаточной ориентации на стратегическое развитие предприятия, поскольку руководители значительную часть времени вынуждены уделять текущим оперативным вопросам. Дополнительно снижается эффективность взаимодействия между подразделениями, увеличивается нагрузка на управленческий персонал и возрастает количество согласований при принятии решений.

При изменении производственных условий линейная структура демонстрирует низкую гибкость и высокую зависимость результатов деятельности от профессиональных качеств руководителей. В условиях цифровизации и необходимости оперативного внедрения инновационных технологий такая система управления постепенно теряет эффективность, поскольку не обеспечивает необходимую скорость адаптации производственных процессов.

Линейно - штабная организационная структура

Развитием линейной модели стала линейно-штабная структура управления. Ее появление связано с необходимостью повышения качества стратегического планирования и аналитической поддержки руководителей.

В данной структуре формируются специальные подразделения – штабы, выполняющие консультативные и аналитические функции. Они занимаются подготовкой управленческих решений, проведением исследований, оценкой производственных показателей и разработкой рекомендаций для руководства.

Использование линейно-штабной структуры позволяет повысить качество аналитической проработки управленческих решений, снизить нагрузку на руководителей и обеспечить привлечение специалистов различных направлений к решению стратегических задач. Дополнительным преимуществом становится возможность более глубокого анализа производственных процессов и подготовки рекомендаций по совершенствованию деятельности предприятия. (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Линейно - штабная структура управления

Одновременно с этим в организации сохраняется высокая степень централизации управления, а распределение ответственности между исполнителями и аналитическими

подразделениями остается недостаточно четким. При значительном усложнении производственных процессов данная структура также начинает демонстрировать ограниченную эффективность, особенно при необходимости быстрого межфункционального взаимодействия и оперативного обмена информацией между подразделениями.

Дивизионная структура управления

Рост масштабов промышленных предприятий, диверсификация производства и усложнение технологических процессов обусловили переход к дивизионным структурам управления. Основная особенность данной модели заключается в предоставлении отдельным подразделениям значительной самостоятельности при сохранении централизованного стратегического управления.

В дивизионной структуре система управления формируется с учетом специализации предприятия, которая может определяться выпускаемой продукцией, особенностями потребительских групп, территориальным распределением подразделений или отдельными направлениями деятельности организации. Руководители дивизионов получают полномочия по оперативному управлению производственными процессами, тогда как высшее руководство сосредотачивается преимущественно на вопросах стратегии, инвестиционной политики и инновационного развития предприятия.

Дивизионная структура обеспечивает более высокий уровень гибкости управления, позволяет ускорить реакцию предприятия на изменения внешней среды и усиливает ориентацию производственной системы на потребности конечного потребителя. Передача части полномочий на уровень дивизионов позволяет повысить оперативность принятия решений и создать условия для более эффективного управления отдельными направлениями деятельности.

Вместе с тем использование данной модели сопровождается усложнением организационной структуры, ростом затрат на содержание управленческого аппарата и дублированием отдельных функций между подразделениями. Существенное количество вертикальных связей также может замедлять взаимодействие между различными производственными направлениями.

Несмотря на существующие ограничения, дивизионная структура значительно лучше приспособлена к современным условиям промышленного производства по сравнению с традиционными линейными системами управления (рисунок 1.3).

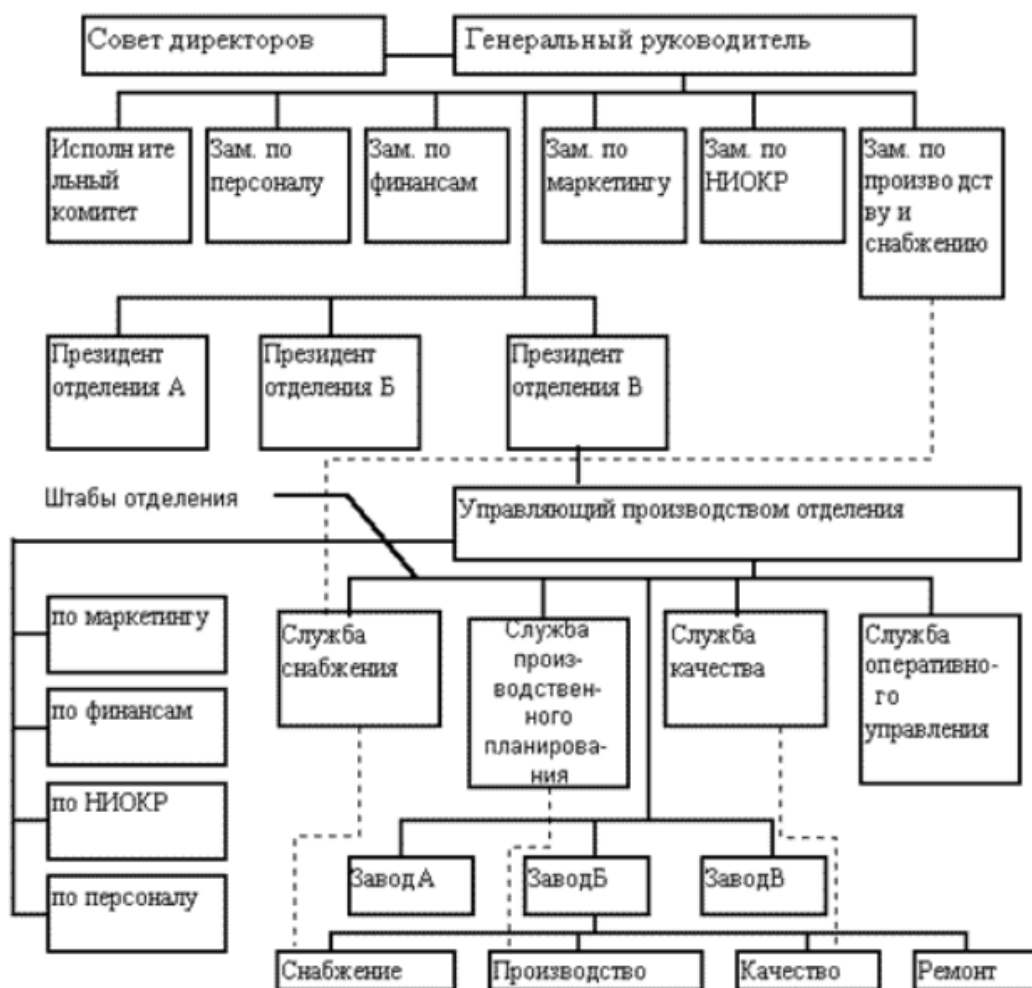


Рисунок 1.3 – Дивизионная структура управления

Органический тип структур управления

Переход к цифровому производству и усиление конкуренции потребовали разработки принципиально новых подходов к организации управления. В результате получили развитие органические структуры, ориентированные на гибкость, адаптивность и межфункциональное взаимодействие.

Главной особенностью органических структур является способность изменять конфигурацию системы управления в зависимости от текущих производственных задач и состояния внешней среды. В отличие от жестких иерархических моделей, подобные структуры обеспечивают более свободное распределение полномочий и расширяют возможности коллективного принятия решений.

К наиболее распространенным разновидностям органических структур относятся проектные, матричные, бригадные и кросс-функциональные модели управления, ориентированные на повышение гибкости организационной системы и усиление

взаимодействия между подразделениями. Внедрение подобных структур требует изменения не только организационной схемы предприятия, но и всей системы управления, включая методы мотивации персонала, планирования деятельности и распределения ресурсов.

Бригадная (кросс - функциональная) структура управления

Бригадная форма организации управления основывается на создании рабочих групп, объединяющих специалистов различных направлений деятельности. Такие группы получают определенную степень самостоятельности и отвечают за выполнение комплекса взаимосвязанных задач.

Бригадная структура управления предполагает автономную деятельность рабочих групп, горизонтальную координацию процессов, совместное принятие решений и интеграцию специалистов различных направлений подготовки в рамках единой производственной задачи. Подобный подход обеспечивает гибкость распределения функций и способствует более эффективному использованию профессиональных компетенций сотрудников.

Применение кросс-функциональных команд способствует сокращению времени согласования решений, повышению качества взаимодействия между подразделениями и ускорению обмена информацией внутри предприятия. Дополнительным преимуществом становится создание условий для профессионального развития персонала и формирования коллективной ответственности за результаты работы.

Одновременно с этим эффективное функционирование бригадных структур требует высокого уровня квалификации сотрудников, развитой системы внутренних коммуникаций и готовности организации к переходу от жестких административных механизмов к более гибким формам управления.

Современное машиностроительное производство характеризуется высокой степенью технологической сложности, необходимостью оперативного внедрения инноваций и постоянной адаптацией к изменяющимся требованиям рынка. В этих условиях эффективность функционирования предприятия напрямую зависит от способности организационно-технической системы обеспечивать быстрое взаимодействие между подразделениями, высокое качество управленческих решений и гибкость производственных процессов.

Проведенный анализ показал, что традиционные иерархические структуры управления обладают рядом преимуществ, связанных со стабильностью функционирования, четким распределением полномочий и возможностью централизованного контроля. Однако

усиление процессов цифровизации и интеллектуализации производства приводит к тому, что недостатки жестких административных моделей становятся все более выраженными.

Линейные структуры демонстрируют низкую адаптивность к изменениям и ограниченные возможности межфункционального взаимодействия. Линейно-штабные модели позволяют повысить качество аналитической поддержки управления, но также сохраняют значительную степень централизации. Более эффективным решением в условиях многопрофильного производства становятся дивизионные структуры, обеспечивающие большую гибкость управления и повышение самостоятельности подразделений.

Наиболее перспективным направлением развития организационно-технических систем является внедрение органических и кросс-функциональных структур управления. Их применение способствует ускорению обмена информацией, повышению эффективности совместной работы подразделений и созданию условий для оперативной адаптации производственных процессов к внешним изменениям (рисунки 1.4 - 1.5).

Таким образом, дальнейшее совершенствование систем технологической подготовки производства должно быть связано с развитием гибких организационных моделей, интеграцией интеллектуальных информационных технологий и формированием механизмов согласованного взаимодействия между всеми участниками производственного процесса.



Рисунок 1.4 – Кросс - функциональная организационная структура

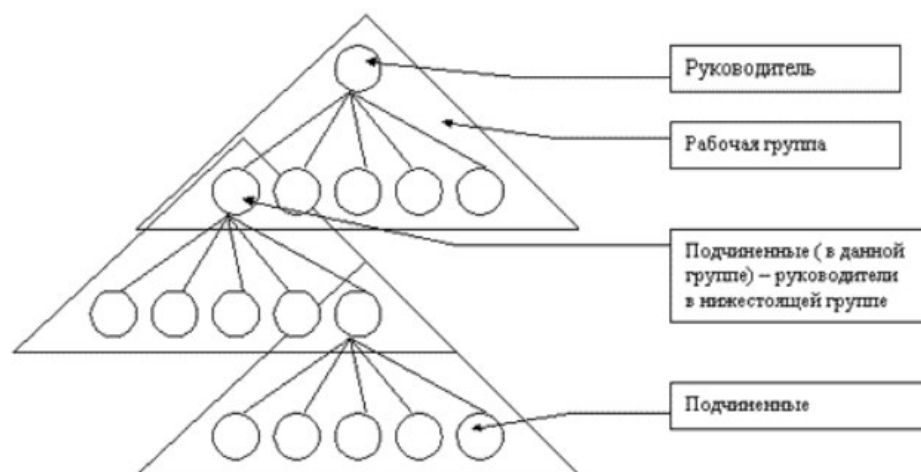


Рисунок 1.5 – Структура организации, состоящей из рабочих групп (бригадная)

Проектная структура управления

Проектная структура управления формируется вокруг концепции проекта как ограниченного по времени и ресурсам комплекса действий, направленного на достижение конкретного результата. В качестве таких результатов могут выступать разработка новой продукции, технологическая модернизация, строительство объектов, цифровая трансформация или внедрение управленческих инноваций. В рамках данной модели деятельность предприятия рассматривается не как непрерывный набор функций, а как совокупность взаимосвязанных проектов, каждый из которых обладает собственным жизненным циклом, целями, ресурсным обеспечением и механизмами координации.

Ключевая особенность проектной структуры заключается в временном характере организационных связей. Под реализацию проекта формируется самостоятельная организационная единица, в распоряжение которой передаются финансовые, материальные, производственные и трудовые ресурсы. Руководитель проекта получает широкие полномочия, охватывающие планирование, распределение задач, контроль сроков, координацию исполнителей и оценку результатов. После завершения работ структура прекращает существование, а ее элементы перераспределяются между новыми проектами либо выводятся из организации в случае контрактной занятости персонала. Таким образом, проектная модель ориентирована не на поддержание устойчивой иерархии, а на достижение конкретного результата в заданный период времени.

С организационной точки зрения проектное управление может принимать различные формы. В одних случаях оно приобретает черты кросс-функциональной структуры, объединяющей специалистов разных направлений в единую рабочую команду, в других – напоминает дивизионную модель, при которой отдельное подразделение создается исключительно на время реализации проекта. Подобная гибкость обеспечивает высокую

адаптивность организации к изменениям внешней среды и позволяет оперативно концентрировать ресурсы на приоритетных направлениях деятельности.

Эффективность проектной структуры наиболее заметна в условиях инновационной экономики, где критическое значение приобретают скорость принятия решений, способность быстро перераспределять ресурсы и минимизировать управленческую инерцию. Сокращение числа промежуточных уровней управления способствует ускорению коммуникаций и снижению административных издержек. Вместе с тем данная модель предъявляет чрезвычайно высокие требования к профессиональным и управленческим компетенциям руководителя проекта. Он должен не только координировать выполнение работ, но и учитывать стратегическое значение проекта в общей системе корпоративного развития, обеспечивая баланс между интересами различных подразделений и ограниченностью ресурсов.

Существенной проблемой проектного подхода становится конкуренция между параллельно реализуемыми проектами за финансирование, персонал и производственные мощности. При увеличении количества проектов возрастает риск фрагментации организационной системы, усложняется межпроектное взаимодействие и снижается целостность корпоративного управления. В результате проектная структура наиболее результативна в организациях с ограниченным числом одновременно реализуемых проектов либо при наличии развитых механизмов координации и стратегического контроля.

Матричная (программно - целевая) структура управления

Матричная структура управления представляет собой одну из наиболее сложных и гибких форм организационного построения, основанную на принципе двойного подчинения сотрудников. В данной системе исполнитель одновременно включен в функциональную вертикаль и проектную горизонталь: с одной стороны, он подчиняется руководителю функционального подразделения, отвечающему за профессиональную подготовку, распределение кадров и методическое сопровождение, с другой – руководителю проекта или программы, координирующему выполнение конкретных задач.

Подобная модель позволяет объединить преимущества функциональной специализации и проектной ориентации. Организация сохраняет профессиональные центры компетенций, но при этом получает возможность оперативно формировать временные команды под реализацию конкретных задач. Руководитель проекта взаимодействует как с постоянными членами проектной группы, так и со специалистами функциональных подразделений, привлекаемыми к работе на ограниченный период времени. Благодаря этому

обеспечивается более рациональное использование кадрового потенциала и специализированных знаний.

Особое распространение матричная структура получила в высокотехнологичных и наукоемких отраслях, где необходима постоянная интеграция различных профессиональных компетенций. Характерным примером является система управления компании Toyota (рисунок 1.6), разработанная под влиянием идей Каору Исикавы в 1970-х годах. В данной модели значительная роль отводится функциональным комитетам, координирующим деятельность подразделений по ключевым направлениям, включая управление качеством. Комитеты формируются из представителей различных служб и обеспечивают согласование вертикальных и горизонтальных связей внутри организации. Их деятельность направлена не на непосредственное выполнение операций, а на создание единой системы взаимодействия между подразделениями, что позволяет поддерживать устойчивость процессов при высокой сложности организационной структуры.

Практика Toyota демонстрирует, что матричная система особенно эффективна в условиях развитой корпоративной культуры и высокой квалификации персонала. Наличие горизонтальных коммуникаций способствует ускорению принятия решений, улучшению контроля над реализацией проектов и повышению ответственности за конечный результат. Каждый проект получает организационно закрепленного координатора, концентрирующего управление всеми связанными процессами, что позволяет сократить время реакции на изменения внешней среды и требования рынка.

Однако двойственное распределение полномочий неизбежно создает управленческие противоречия. Сотрудники оказываются вовлечены одновременно в функциональные и проектные интересы, что усложняет определение ответственности и провоцирует конфликты между руководителями подразделений и проектов. Дополнительные сложности связаны с необходимостью постоянного перераспределения ресурсов и поддержания баланса между текущей деятельностью и реализацией программ развития. В организациях с недостаточным уровнем управленческой культуры матричная структура способна привести к росту дезорганизации, снижению дисциплины и нарушению единых стандартов работы. Именно поэтому внедрение подобных систем требует длительной адаптации, изменения корпоративных механизмов взаимодействия и подготовки персонала к работе в условиях распределенной ответственности.



Рисунок 1.6 – Матричная структура управления на фирме «Тойота»

Многомерная организационная структура

Многомерная организационная структура представляет собой развитие матрического подхода и отражает переход от линейного понимания управления к многоуровневой системе координации, ориентированной одновременно на цели, ресурсы, процессы и потребителей. В основе данной модели лежит представление организации как целеустремленной системы, в которой различные элементы взаимодействуют для преобразования ресурсов в продукты или услуги, обладающие ценностью для внешней среды.

Традиционные организационные структуры преимущественно фиксируют отношения подчинения и распределения ответственности, однако практически не отражают взаимосвязь между затратами, результатами и эффективностью использования ресурсов. Многомерная модель устраняет это ограничение за счет интеграции нескольких измерений управления: программ, операций и обеспечивающих услуг. Программы ориентированы на достижение конечных результатов и удовлетворение потребностей внешних потребителей, операции связаны с непосредственным созданием продукции или услуг, а сервисные функции обеспечивают функционирование всей системы посредством финансового, информационного, кадрового и технического сопровождения.

Такой подход позволяет рассматривать организацию не как жесткую иерархию подразделений, а как совокупность взаимосвязанных потоков деятельности. Каждая программа может детализироваться по типам продукции, категориям потребителей, регионам или иным критериям, а операции – дробиться на более узкие технологические процессы. В результате формируется многослойная структура, способная адаптироваться к изменениям внешней среды без разрушения внутренних связей.

В крупных организациях, где количество программ и видов деятельности существенно возрастает, возникает необходимость в развитии специальных механизмов координации. При этом координация рассматривается не как административное руководство, а как процесс согласования интересов различных подразделений и направлений деятельности. Для выполнения этой функции создаются координационные группы и специализированные центры, обеспечивающие информационную интеграцию и распределение ресурсов между структурными элементами организации

Одним из важнейших преимуществ многомерной модели является возможность учитывать не только внутреннюю структуру предприятия, но и особенности внешней среды. Организация может формировать дополнительные измерения управления, основанные на географическом расположении, отраслевой специфике или социально-экономических характеристиках потребителей. В подобных условиях региональные представители или отраслевые координаторы становятся посредниками между организацией и внешней средой, обеспечивая обратную связь и адаптацию программ к конкретным условиям функционирования.

В отличие от классической матричной структуры многомерная модель устраняет проблему двойного подчинения. Руководители программ взаимодействуют с функциональными подразделениями как с внутренними поставщиками услуг, а не как с административно подчиненными единицами. Это переводит внутренние отношения в плоскость экономического взаимодействия и формирует внутриорганизационный рынок ресурсов и компетенций. Подразделения вынуждены подтверждать собственную эффективность, ориентируясь на потребности внутренних и внешних клиентов, что снижает вероятность бюрократизации и повышает адаптивность системы управления.

На рисунках 1.7 - 1.8 приведены схемы взаимодействия видов деятельности и программ.

Программы / Виды деятельности	P1	P2	...	P _к
Операция Q1				
Операция Q2				
....				
Операция Q _m				
Услуга S1				
Услуга S2				
....				
Услуга S _m				

Рисунок 1.7 – Схема взаимодействия видов деятельности и программ

Подразделения- потребители / подразделения- потребители	Операция Q1	Операция Q2	· · · · ·	Операция Q _m	Услуга S1	S2	· · · · ·	S _n
Операция Q1								
Операция Q2								
Операция Q _m								
Услуга S1								
Услуга S2								
....								
Услуга S _n								

Рисунок 1.8 – Схема взаимодействия видов деятельности

Существенное значение в многомерной структуре приобретает механизм финансирования. В традиционных моделях распределение средств носит преимущественно административный характер и не оказывает существенного влияния на гибкость управления. В многомерной системе финансовые потоки становятся инструментом регулирования эффективности подразделений и стимулирования их конкурентоспособности внутри

организации. Это создает условия для автономной оценки результатов деятельности и способствует повышению прозрачности управленческих процессов.

Несмотря на значительные преимущества, многомерная структура не устраняет полностью все организационные противоречия. Высокая степень автономии подразделений требует развитой культуры взаимодействия, эффективных механизмов оценки результатов и устойчивой системы стратегической координации. Кроме того, сама по себе структура не гарантирует повышения содержательности труда или роста мотивации персонала, хотя и создает благоприятные условия для внедрения инновационных методов управления. Основная ценность многомерного подхода заключается в расширении представлений о возможностях организационного проектирования и формировании предпосылок для дальнейшего развития гибких адаптивных структур управления.

В многомерной организационной структуре особое значение приобретает принцип дифференциации программ и функциональных подразделений в зависимости от особенностей внешней среды и характера потребительского спроса. Структурные элементы организации могут формироваться по различным критериям: видам продукции, категориям клиентов, сегментам рынка, территориальному признаку или специфике оказываемых услуг. Подобная система обеспечивает более высокий уровень адаптивности управления, поскольку позволяет учитывать неоднородность внешнего окружения и специфику взаимодействия с различными группами потребителей (рисунок 1.9).

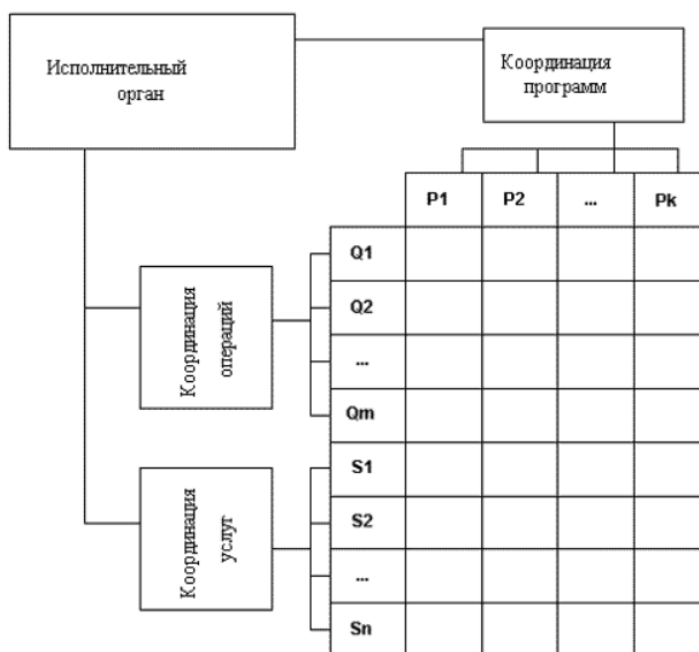


Рисунок 1.9 – Структура координации в крупных организациях

При значительной территориальной рассредоточенности клиентов традиционная линейная система координации оказывается недостаточно эффективной. В этих условиях

географический фактор начинает выступать не только как характеристика рынка, но и как самостоятельное измерение организационной структуры. Возникает необходимость в формировании института региональных представителей, выполняющих функцию посредников между организацией и внешней средой. Их деятельность направлена на анализ региональных особенностей спроса, оценку эффективности программ на локальном уровне и защиту интересов потребителей, испытывающих влияние деятельности организации. Получаемая от региональных представителей информация позволяет руководству сопоставлять результаты функционирования программ в различных территориальных сегментах и принимать более обоснованные решения относительно распределения ресурсов, корректировки стратегий и приоритетов развития (рисунок 1.10).

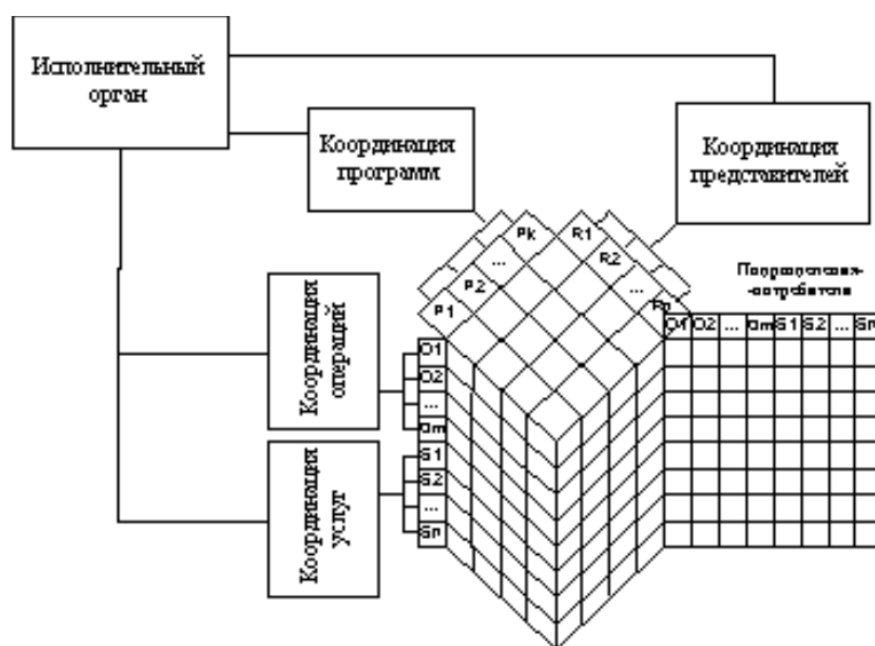


Рисунок 1.10 – Трехмерная организационная структура

При этом территориальный принцип не является универсальным. В ряде случаев более эффективной оказывается организация внешнего взаимодействия по отраслевому или социально-экономическому признаку. Так, предприятия, ориентированные на обслуживание различных отраслей промышленности, могут формировать систему представителей в зависимости от специфики отраслевых рынков, поскольку потребности авиационно-космического комплекса существенно отличаются от запросов автомобильной или машиностроительной промышленности. Аналогичным образом организации коммунального сектора способны выстраивать систему координации с учетом уровня доходов, структуры потребления и социального положения пользователей услуг. Следовательно, многомерная

структура ориентирована не на универсальную схему управления, а на гибкое сочетание критериев, наиболее полно отражающих особенности внешней среды.

Существенным отличием многомерной модели от традиционной матричной структуры является иной подход к распределению ответственности и полномочий. В классической матричной системе сотрудник одновременно подчиняется нескольким руководителям, что нередко становится причиной управленческих конфликтов, размывания ответственности и снижения организационной устойчивости. Многомерная структура стремится устранить данный недостаток посредством экономизации внутренних отношений. Руководитель программы взаимодействует с функциональными подразделениями не как с административно зависимыми единицами, а как с внутренними поставщиками услуг и ресурсов. Персонал остается подотчетным исключительно своему функциональному руководителю, тогда как программа выступает в роли внутреннего заказчика, оценивающего качество и результативность выполняемых работ (рис 1.10).

Подобный механизм создает более прозрачную систему ответственности и снижает вероятность конфликтов, характерных для двойного подчинения. Руководители функциональных подразделений сохраняют контроль над персоналом, однако при оценке эффективности деятельности сотрудников вынуждены учитывать результаты их участия в реализации программ. Тем самым внутри организации формируется система внутренних контрактных отношений, в которой подразделения заинтересованы в поддержании высокого уровня качества собственных услуг и сохранении конкурентоспособности в рамках корпоративной среды.

Особое значение в многомерной организационной структуре приобретает система финансирования. В традиционных моделях финансирование программ преимущественно сводится к распределению сметных расходов между подразделениями и практически не связано с реальной эффективностью использования ресурсов. Такая схема обеспечивает выполнение утвержденных программ, но не стимулирует подразделения к повышению производительности, оптимизации затрат и развитию внутренней конкуренции. В многомерной структуре финансовые механизмы интегрируются в систему организационного управления и становятся инструментом регулирования экономической эффективности.

Функциональные подразделения в подобных условиях фактически получают возможность выступать в качестве автономных центров ответственности, заинтересованных в предоставлении востребованных услуг и рациональном использовании ресурсов. Это формирует внутриорганизационный рынок, в рамках которого программы и подразделения взаимодействуют на основе принципов эффективности и результативности. Подобный подход способствует повышению гибкости организации, поскольку отдельные структурные

элементы могут оперативно трансформироваться, расширяться, сокращаться или реорганизовываться без разрушения всей системы управления.

Высокая степень автономии подразделений одновременно снижает уровень бюрократизации организационной среды. В традиционных иерархических структурах обслуживающие подразделения нередко начинают ориентироваться не на достижение целей организации, а на поддержание собственных процедур и административных механизмов. В многомерной системе подобная тенденция ограничивается тем, что внутренние потребители получают возможность оценивать качество предоставляемых услуг, а поставщики ресурсов вынуждены учитывать реальные потребности программ и внешних клиентов. В результате организация становится ориентированной преимущественно на достижение конечных результатов, а не на формальное соблюдение процедур.

Тем не менее многомерная организационная структура не устраняет полностью всех управленческих проблем. Несмотря на высокий уровень адаптивности, она требует развитой системы координации, зрелой организационной культуры и значительных аналитических возможностей со стороны руководства. Повышение автономии подразделений может привести к усложнению стратегического управления и росту требований к информационному обеспечению процессов принятия решений. Кроме того, сама по себе структура не гарантирует повышения мотивации персонала или содержательности труда, хотя и создает условия для внедрения более современных методов управления и организационного развития.

Таким образом, многомерная организационная структура представляет собой одну из наиболее перспективных моделей управления в условиях высокой изменчивости внешней среды. Ее значение заключается не только в повышении гибкости и эффективности функционирования организации, но и в трансформации самого подхода к управлению, при котором структура рассматривается как динамическая система взаимодействия целей, ресурсов, процессов и интересов различных групп потребителей.

1.2. Методологический анализ и принципы работ технологической подготовки производства

Этап технологической подготовки производства представляет собой ключевую стадию жизненного цикла изделия, обеспечивающую переход от конструкторской разработки к промышленному выпуску продукции. Его основное назначение заключается в формировании технологической готовности предприятия к изготовлению изделия в соответствии с установленными требованиями к качеству, объемам производства, срокам выполнения работ и экономической эффективности. На данном этапе определяется не только способ

изготовления продукции, но и создается организационно-технологическая основа функционирования производственной системы в целом.

Технологическая подготовка производства охватывает широкий круг взаимосвязанных задач, связанных с обеспечением технологичности конструкции изделия, разработкой технологических процессов, проектированием специального оборудования и организацией управления производственными процессами. Существенное значение имеет обеспечение технологичности изделия, поскольку именно на этой стадии оценивается степень соответствия конструкции возможностям конкретного производства. Технологичность рассматривается не только применительно к процессу изготовления продукции, но и с учетом условий ее дальнейшей эксплуатации, обслуживания и ремонта. Следовательно, технологическая подготовка ориентирована на достижение баланса между инженерными решениями и производственными возможностями предприятия.

Разработка технологических процессов является центральным направлением ТПП, поскольку именно она определяет последовательность и содержание операций, необходимых для изготовления изделия. Проектирование процессов механообработки, сборки, штамповки, термообработки, литья и других видов производственной деятельности формирует основу производственного цикла и оказывает непосредственное влияние на себестоимость, производительность и качество продукции. Одновременно с этим возникает необходимость в создании специализированного технологического оснащения: приспособлений, штампов, пресс-форм, режущего и измерительного инструмента, а также нестандартного оборудования, адаптированного к особенностям конкретного изделия.

Особенность технологической подготовки производства заключается в том, что проект технологического процесса формируется в условиях постоянного поиска компромисса между требованиями конструкции и реальными ресурсными возможностями предприятия. Именно поэтому анализ технологичности изделия начинается еще на ранних стадиях проектирования. Игнорирование производственных ограничений способно привести к существенному увеличению затрат, снижению надежности производственного процесса и возникновению проблем при освоении серийного выпуска продукции. Таким образом, ТПП выступает не как изолированная производственная функция, а как интегрированный механизм согласования конструкторских, технологических и экономических решений.

Современные производственные условия характеризуются высокой динамичностью технологической среды. Технологическое оборудование, методы обработки материалов и способы организации производственных процессов постоянно совершенствуются, что требует от системы ТПП способности учитывать перспективные изменения еще на стадии проектирования. Технологические решения должны не только соответствовать текущему

состоянию производства, но и предусматривать возможность дальнейшей модернизации оборудования, внедрения новых методов обработки и перехода к более гибким производственным системам.

Особую роль в развитии ТПП играет автоматизация производственных процессов на основе программно-управляемого оборудования. Использование станков с числовым программным управлением, роботизированных комплексов и автоматизированных производственных линий существенно изменило содержание технологического проектирования. Помимо разработки самого технологического процесса, возникает необходимость создания управляющих программ, обеспечивающих функционирование оборудования в автоматическом режиме. В результате технологическая подготовка производства приобретает выраженный информационный характер, а качество проектных решений напрямую зависит от уровня цифровизации производственной среды.

Высокая трудоемкость и значительная продолжительность технологического проектирования обуславливают необходимость его автоматизации. Автоматизированные системы технологической подготовки производства позволяют существенно сократить сроки разработки документации, уменьшить вероятность ошибок и повысить эффективность использования производственных ресурсов. Методологической основой создания подобных систем выступает комплекс государственных стандартов единой системы технологической подготовки производства (ЕС ТПП), регламентирующий организацию научно-технических разработок, порядок подготовки документации и принципы внедрения технологических решений в производство.

Функционирование автоматизированной системы технологической подготовки производства связано с непрерывным накоплением, обработкой и управлением информацией об изделии на протяжении всего его жизненного цикла. В рамках АСТПП формируется единое информационное пространство, объединяющее сведения о деталях и сборочных единицах изделия, технологических процессах, средствах технологического оснащения, нормативно-справочных данных и планово-учетной информации. Интеграция этих данных в единую информационную модель обеспечивает согласованность работы всех участников технологической подготовки и позволяет организовать эффективное взаимодействие между различными подразделениями предприятия.

Создание единого информационного пространства имеет принципиальное значение для современной производственной системы. Оно обеспечивает хранение электронных моделей изделий, оперативный доступ к документации, контроль текущего состояния ТПП и автоматизированный обмен информацией между пользователями системы. Благодаря этому

повышается согласованность проектных решений, сокращается время передачи информации и создаются условия для интеграции ТПП с автоматизированными системами управления производством.

Эффективность автоматизации технологической подготовки во многом определяется использованием специализированных программных комплексов промышленного уровня. Практика показывает, что разработка собственных программных решений далеко не всегда является рациональной, поскольку требует значительных затрат времени и ресурсов. В связи с этим предприятия ориентируются преимущественно на внедрение готовых базовых систем, уже доказавших свою надежность в промышленной эксплуатации. Наиболее широкое распространение получили системы классов CAD/CAM, обеспечивающие автоматизацию проектирования и технологической подготовки производства, системы CAE, предназначенные для инженерного анализа, а также системы PDM, реализующие функции управления данными об изделии.

Важной особенностью таких программных комплексов является их универсальность и модульный принцип построения. Базовые системы способны адаптироваться к условиям конкретного предприятия посредством настройки баз данных, конфигурации документов, разработки специализированных алгоритмов проектирования и интеграции с существующей производственной инфраструктурой. Это позволяет сохранить единые методологические подходы к автоматизации при одновременном учете отраслевой специфики и особенностей технологических процессов.

Создание АСТПП начинается с проведения предпроектного обследования предприятия, в ходе которого анализируются существующие производственные процессы, уровень автоматизации, структура информационных потоков и потребности пользователей. На основе результатов обследования формируется техническое задание, определяющее функциональные возможности системы, требования к ее техническим характеристикам, этапы внедрения и перечень программных средств, подлежащих интеграции в общую информационную среду предприятия.

Методологическая значимость ЕС ТПП заключается в возможности адаптации общегосударственных стандартов к условиям конкретных отраслей и предприятий. На их основе формируются локальные нормативные документы, регламентирующие особенности технологической подготовки применительно к специфике производственной деятельности организации. Это обеспечивает сочетание унификации технологических процессов с необходимой гибкостью управления производством (рисунок 1.11).



Рисунок 1.11 – Укрупненная схема функционирования задач ТПП

Таким образом, технологическая подготовка производства представляет собой сложную многоуровневую систему организационных, инженерных и информационных процессов, направленных на обеспечение эффективного промышленного освоения продукции. В современных условиях ее значение существенно возрастает, поскольку именно уровень развития ТПП определяет способность предприятия оперативно внедрять инновации, поддерживать конкурентоспособность продукции и обеспечивать устойчивость производственной системы в условиях технологических изменений.

Исходной базой для осуществления технологической подготовки производства выступает совокупность конструкторских, производственных и нормативных данных, определяющих как характеристики создаваемого изделия, так и возможности предприятия по его освоению. К числу таких данных относятся технические требования, заложенные в техническом задании на систему автоматизированного проектирования, сведения о производственной программе, характеристиках изделий, применяемых технологиях обработки, направлениях механизации и автоматизации производства, а также информация о составе производственных подразделений, используемом оборудовании и нормативных расходах материалов. Существенную роль играют результаты изготовления опытных образцов и накопленные типовые технологические решения, позволяющие сократить объем проектных работ за счет использования апробированных подходов.

Технологическое проектирование носит многоэтапный характер и осуществляется последовательно, начиная с предварительной оценки производственных возможностей и заканчивая разработкой детализированной операционной документации. На стадии предварительного технологического проектирования формируется общая производственно-технологическая концепция изготовления изделия. В этот период осуществляется

структурирование объекта производства, определяется состав деталей, узлов, агрегатов, полуфабрикатов и покупных компонентов, необходимых для выпуска продукции. Одновременно рассчитываются ориентировочные нормы расхода материалов, определяется предварительная трудоемкость изготовления, оценивается загрузка производственных подразделений и потребность в дополнительных мощностях.

Особое значение данного этапа связано с формированием межцеховой логики производственного процесса. Итоговым документом становится конструкторско-технологическая спецификация, отражающая маршруты движения деталей и узлов между подразделениями предприятия, длительность производственных циклов, размеры партий запуска и нормативы материальных затрат. Таким образом, уже на ранней стадии ТПП создается основа для дальнейшего производственного планирования и оценки эффективности организации технологического процесса.

Следующий этап – укрупненное технологическое проектирование – связан с переходом от общих схем к более детализированному описанию производственных процессов. На этой стадии разрабатываются маршрутные технологии, определяющие последовательность выполнения основных операций, проектируются заготовки и схемы сборки изделий, уточняются параметры технологического оснащения и характеристики оборудования. Одновременно производится более точное нормирование производственных операций, корректируются расчеты загрузки оборудования и расхода материалов, а также проектируются конструкции специальной оснастки и технологии ее изготовления.

Результатом укрупненного проектирования становится формирование комплекса документов, обеспечивающих организационную и техническую подготовку производства. К ним относятся маршрутные технологические карты, схемы сборки изделий, расчеты производственных площадей, чертежи технологического оснащения и документация по изготовлению специализированной измерительной аппаратуры. На данном этапе существенно возрастает степень детализации технологической информации, что позволяет перейти к непосредственной разработке рабочих технологических решений.

Стадия рабочего технологического проектирования представляет собой наиболее детализированный уровень ТПП, ориентированный на разработку конкретных производственных операций. Здесь осуществляется проектирование операционных технологий, рассчитываются режимы обработки, устанавливаются нормативы времени и расценки, а также внедряются групповые методы обработки, направленные на повышение производительности и унификацию технологических процессов. Именно на этом этапе формируются окончательные параметры производственного цикла и определяется практическая реализуемость всех ранее принятых решений.

Итогом рабочего проектирования становится комплект технологической документации, непосредственно используемой в производстве. Он включает операционные карты с эскизами, технологические инструкции, карты контроля качества, технические условия на приемку операций и средства измерения. Подобная документация обеспечивает стандартизацию производственных процессов и создает основу для устойчивого управления качеством продукции.

В целом технологическая подготовка производства представляет собой комплекс взаимосвязанных мероприятий, направленных на обеспечение эффективного промышленного освоения изделия. Она включает технологическую отработку конструкции, разработку и внедрение технологических процессов изготовления и сборки, проектирование средств механизации и автоматизации, создание прогрессивных режимов обработки и внедрение современных методов организации производства. При этом ТПП постепенно трансформируется из совокупности инженерных процедур в интегрированную информационно-управляющую систему, тесно связанную с цифровыми технологиями управления производством.

Современные условия промышленного развития делают автоматизацию технологического проектирования не просто инструментом повышения эффективности, а обязательным условием функционирования автоматизированных производственных комплексов и гибких производственных систем. Без использования вычислительной техники становится невозможным оперативное проектирование и управление сложными технологическими процессами, характеризующимися высокой степенью вариативности и значительными объемами обрабатываемой информации. Именно применение математических методов, моделей и вычислительных средств создало предпосылки для перехода к системам автоматизированного проектирования технологических процессов.

Особенностью проектирования современных автоматизированных производственных комплексов является интеграция двух взаимосвязанных направлений: разработки технологических процессов и создания автоматизированных систем управления технологическими процессами. Такая интеграция требует формирования единой методологической основы проектирования, учитывающей как параметры обработки изделий, так и принципы управления производственными потоками, информационными связями и процессами принятия решений.

Особенно ярко данные особенности проявляются в радиоэлектронной промышленности, где технологические процессы имеют дискретный характер. Производственные операции здесь четко разделены во времени и пространстве, а большинство параметров могут быть измерены лишь после завершения конкретной стадии

обработки. Вследствие этого проектирование автоматизированных комплексов приобретает выраженную иерархическую структуру, предполагающую распределение функций управления между различными уровнями системы.

Создание подобных систем требует решения сложного комплекса задач, связанных с выбором рациональной схемы управления, определением количества уровней иерархии, организацией информационных потоков и формированием контуров принятия решений. Количество уровней управления непосредственно зависит от способности каждого уровня перерабатывать поступающую информацию и обеспечивать необходимую степень детализации моделей производственных процессов. Чем сложнее объект проектирования и выше требования к точности управления, тем более разветвленной становится структура автоматизированной системы (рисунок 1.12).

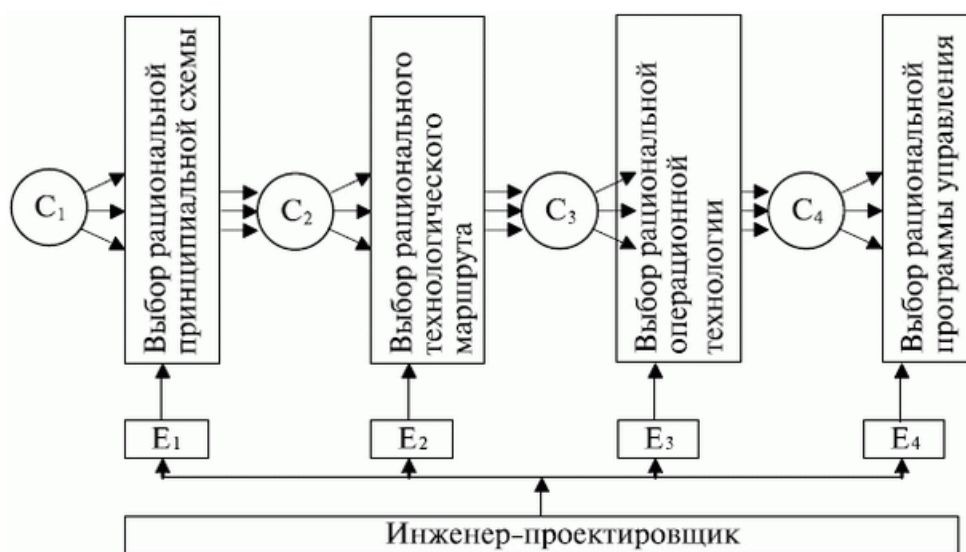


Рисунок 1.12 – Модель многоуровневого процесса проектирования

Проектирование технологических процессов представляет собой многоуровневую систему инженерного и информационного моделирования, направленную на формирование рационального способа изготовления изделия в заданных производственных условиях. Структура технологического проектирования включает несколько взаимосвязанных уровней, каждый из которых отличается степенью детализации и глубиной проработки производственных решений.

На верхнем уровне формируется принципиальная схема технологического процесса, определяющая состав и последовательность технологических этапов, методы изготовления изделий радиоэлектронной аппаратуры и общую логику производственного цикла. Именно здесь закладываются ключевые технологические решения, влияющие на эффективность последующих стадий проектирования. Выбор вариантов осуществляется посредством

последовательного отбора наиболее рациональных решений с учетом параметров качества, производительности, технологичности и экономической целесообразности.

Следующий уровень связан с разработкой технологического маршрута, описывающего состав и последовательность операций внутри отдельных этапов производства. На данной стадии определяется тип используемого оборудования, способы установки изделий, структура переходов и характеристики технологической системы. Технологический маршрут формирует организационную основу производственного процесса и обеспечивает согласование отдельных операций в единую систему изготовления продукции.

Наиболее детализированным уровнем выступает операционная технология, ориентированная на проектирование конкретных операций и переходов. Здесь уточняются параметры технологической системы, режимы обработки, характеристики оборудования и структура отдельных технологических действий. Именно этот уровень непосредственно определяет параметры производственного цикла, производительность оборудования и качество выпускаемой продукции.

Процесс разработки технологической документации также носит стадийный характер. На первом этапе создается предварительный проект технологического процесса, предназначенный для анализа и проверки технологичности конструкции изделия еще на стадиях эскизного и технического проектирования. Его основная задача заключается в выявлении потенциальных производственных ограничений и подготовке исходных данных для последующей разработки рабочей документации. Второй этап связан с формированием полного комплекта рабочей технологической документации, необходимой для изготовления опытных образцов, установочных партий и серийной продукции. На данной стадии создаются документы, содержащие детализированные сведения о технологических операциях, режимах обработки, средствах контроля и нормативных параметрах производства.

Современная система технологического проектирования предполагает существование различных видов технологических процессов, отличающихся по назначению, степени стандартизации и области применения. Проектные технологические процессы разрабатываются на стадии предварительного проектирования и используются преимущественно для оценки реализуемости технологических решений. Рабочие процессы ориентированы на непосредственное промышленное производство и опираются на утвержденную конструкторскую и технологическую документацию.

Существенное значение в промышленной практике имеют типовые и групповые технологические процессы. Их использование позволяет существенно сократить объем

проектных работ за счет унификации операций и повторного применения ранее разработанных решений. Типовой технологический процесс формируется для группы изделий, обладающих общими конструктивно-технологическими признаками, и характеризуется единством последовательности операций и методов обработки. Групповой процесс ориентирован на обработку деталей, сходных по технологическим характеристикам, что обеспечивает повышение производительности и снижение затрат на подготовку производства.

Важным направлением развития технологического проектирования является стандартизация производственных решений. Стандартные технологические процессы закрепляются нормативными документами и обеспечивают единообразие методов обработки и организации производства. Одновременно в промышленной практике применяются временные технологические процессы, используемые в переходных условиях, например при отсутствии необходимого оборудования или в период модернизации производства. Перспективные технологические процессы, напротив, ориентированы на внедрение современных достижений науки и техники и зачастую предполагают необходимость дальнейшего освоения предприятием новых производственных технологий.

Проектирование технологических процессов включает широкий спектр инженерных задач: выбор заготовок, определение технологических баз, разработку последовательности операций, подбор технологического оснащения, расчет режимов обработки, нормирование операций и внедрение средств механизации и автоматизации. Решение этих задач осуществляется на основе классификаторов технологических операций, типовых процессов, отраслевых стандартов и требований Единой системы технологической документации (ЕСТД). Использование нормативной базы обеспечивает унификацию проектных решений и повышает совместимость технологической документации в рамках единого производственного пространства.

Особую роль играет типизация технологических процессов, направленная на снижение трудоемкости проектирования и повышение эффективности производства. При разработке типовых процессов в качестве базового объекта выбирается изделие, характеризующееся наибольшим количеством операций, общих для всей группы изделий. Это позволяет сформировать универсальную технологическую основу, пригодную для адаптации к различным вариантам продукции. Экономическая целесообразность типизации определяется масштабами производства и частотой применения конкретных изделий или операций.

Результаты технологического проектирования оформляются в виде комплекса технологических документов, регламентированных стандартами ЕСТД. Центральное место среди них занимает маршрутная карта, содержащая последовательное описание

технологического процесса, сведения об оборудовании, оснастке и нормативных параметрах производства. Существенное значение имеют карты технологического процесса, операционные карты, карты эскизов, технологические инструкции, ведомости материалов и оснастки, а также документы, связанные с организацией контроля качества.

Каждый вид документа выполняет специализированную функцию в системе управления производством. Например, операционные карты содержат подробное описание операций, переходов и режимов обработки, а карты эскизов обеспечивают графическое сопровождение технологических процессов. Ведомости материалов и оснастки позволяют организовать ресурсное обеспечение производства, а ведомости операций контроля формируют основу системы обеспечения качества продукции.

В автоматизированных системах технологической подготовки производства основными документами выступают маршрутные карты, карты технологического процесса и ведомости типовых сборочных единиц. Именно они формируют информационный каркас АСТПП и обеспечивают однозначное описание технологического процесса на всех этапах жизненного цикла изделия. При этом ЕСТД регламентирует не только содержание документов, но и требования к их графическому и текстовому оформлению, включая способы кодирования технологических операций, правила записи наименований процессов и стандарты представления информации.

Современное технологическое проектирование все в большей степени приобретает характер математического моделирования. Разработка технологического процесса начинается с анализа технического задания, включающего конструкторскую документацию, требования к качеству продукции и параметры производственной программы. Далее осуществляется синтез структуры технологического процесса, в рамках которого формируются возможные варианты организации производства. Каждый вариант оценивается с позиций работоспособности, производительности, качества и экономической эффективности.

Для проведения подобного анализа создаются математические модели технологических процессов, позволяющие исследовать взаимосвязи между параметрами оборудования, режимами обработки и характеристиками готового изделия. Проверка моделей сопровождается параметрической оптимизацией, направленной на достижение максимальной производительности при соблюдении требований к качеству продукции. Если разработанный вариант обеспечивает выполнение заданных условий, процесс синтеза считается завершенным, а результаты проектирования оформляются в виде технологической документации и технических заданий для последующих уровней проектирования.

Таким образом, современное проектирование технологических процессов представляет собой интегрированную систему инженерного анализа, стандартизации, математического моделирования и информационного управления. Его развитие отражает общую тенденцию перехода промышленности к цифровым интеллектуализированным производственным системам, в которых эффективность предприятия определяется не только техническим уровнем оборудования, но и качеством организации технологической информации, степенью автоматизации проектных процедур и способностью системы быстро адаптироваться к изменяющимся условиям производства. Если условия работоспособности не выполняются, то управляемые параметры снова изменяют, и математическая модель анализируется при новых их значениях. В случае повторного невыполнения условий работоспособности переходят к генерации нового варианта структуры или к пересмотру ТЗ.

Если в процессе анализа устанавливается, что условия работоспособности системы не выполняются, производится изменение управляемых параметров с последующим повторным исследованием математической модели при новых значениях переменных. В случае повторного несоответствия заданным ограничениям осуществляется переход либо к генерации новой структуры технологического процесса, либо к корректировке исходного технического задания. Подобный механизм отражает итерационный характер автоматизированного проектирования, при котором достижение требуемых характеристик обеспечивается последовательной оптимизацией структуры и параметров технологической системы.

Функциональная структура принципиальной схемы технологического процесса описывается как последовательность преобразований объекта производства из исходного состояния на заготовительном этапе в состояния $C_1, C_2, \dots, C_n$, соответствующие промежуточным и завершающим стадиям обработки. Данное преобразование реализуется по уровням иерархии проектирования, каждый из которых характеризуется собственной степенью детализации технологических решений.

Процесс проектирования на каждом уровне представляет собой многовариантную процедуру синтеза. На основе одного проектного решения $R_i^{(K-1)}$ уровня $(K - 1)$ формируется множество более детализированных вариантов следующего уровня: $\{R_{iq}^K\}$.

Таким образом, каждый вариант предыдущего уровня порождает совокупность альтернативных решений более высокой степени детализации, что обеспечивает возможность выбора наиболее рациональной структуры технологического процесса.

В результате последовательного проектирования на всех уровнях формируется дерево допустимых вариантов технологического процесса, удовлетворяющих заданным техническим ограничениям. Вершины данного дерева соответствуют операциям синтеза проектных решений, тогда как дуги отражают сформированные варианты этих решений. Дуги

последнего уровня характеризуют проектные варианты с требуемой степенью детализации, пригодные для практической реализации в производственной системе (рисунок 1.13).

Особенностью многоуровневой оптимизации является то, что на каждом i -м уровне проектирования формируется не единственное оптимальное решение, а совокупность вариантов, параметры которых близки к оптимальным значениям. Из этой группы на уровне $(i + 1)$ выбирается решение, наиболее полно удовлетворяющее критериям эффективности, производительности и качества продукции. Такой подход позволяет учитывать сложный характер технологических процессов и обеспечивает адаптацию проектных решений к изменяющимся производственным условиям.

Следовательно, автоматизированное проектирование технологических процессов представляет собой иерархическую систему структурного и параметрического синтеза, основанную на использовании математических моделей, многовариантного анализа и последовательной оптимизации проектных решений.

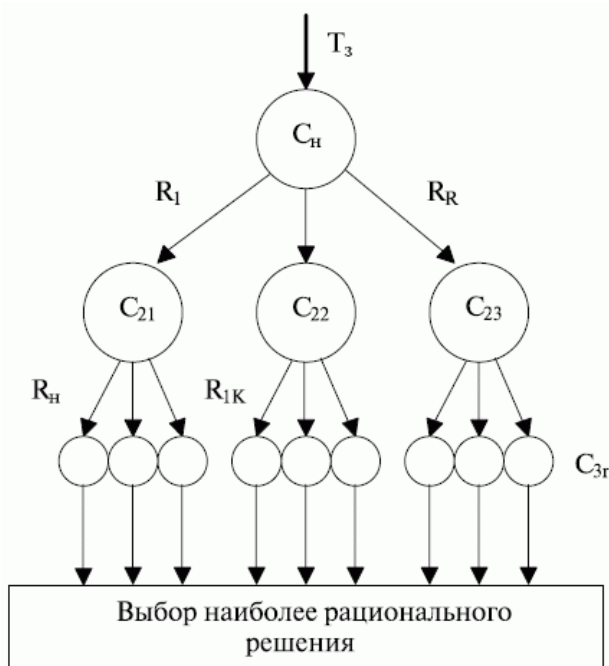


Рисунок 1.13 – Модель многоуровневого процесса проектирования с выбором наиболее рационального решения на последнем уровне: ТЗ - техническое задание; C_i - операции синтеза проектных решений; R_{qk} - проектные варианты

При генерации структуры технологического процесса используются различные методы: проектирование на основе типизации и групповой технологии; преобразование процессов-аналогов; многоуровневый итерационный метод; аксиоматический метод и др. (рисунок 1.14).



Рисунок 1.14 – Классификация методов автоматизированного проектирования технологических процессов

Проектирование конкретных технологических процессов на основе параметрической адаптации типового процесса представляет собой один из наиболее распространенных подходов автоматизированного технологического проектирования. Данный метод ориентирован на использование ранее разработанных и апробированных технологических решений с их последующей настройкой применительно к характеристикам конкретного изделия. Его применение особенно эффективно в условиях серийного и массового производства типовых изделий, где значительная часть технологических операций обладает высокой степенью повторяемости.

Процесс параметрической настройки включает две взаимосвязанные группы проектных процедур. Первая группа связана с поиском в технологическом банке данных типового процесса, наиболее близкого по конструктивно-технологическим признакам к проектируемому изделию. Вторая группа ориентирована на расчет и уточнение параметров отдельных операций, включая определение норм времени, материальных затрат, трудовых нормативов и других характеристик производственного процесса. Таким образом,

проектирование сводится не к созданию технологического процесса «с нуля», а к рациональной трансформации уже существующего процесса-аналога.

Особенность данного подхода заключается в том, что алгоритмы преобразования процесса-аналога не содержат заранее заданных логических условий выбора операций и переходов. Формирование этих условий осуществляется в результате анализа характеристик конкретного изделия и сопоставления их с параметрами технологического аналога. Иначе говоря, система автоматизированного проектирования не использует жестко фиксированные схемы принятия решений, а реализует адаптивный механизм синтеза структуры технологического процесса на основе анализа информационной модели изделия.

$$W: \{C_K (И, ТН)_{ан}\} \rightarrow T$$

где W – операции преобразования процесса-аналога, а T – формируемый технологический процесс изготовления изделия.

С теоретической точки зрения данная схема отражает переход от информационной модели изделия к конкретной структуре технологического процесса посредством применения набора преобразующих операций. В результате обеспечивается адаптация типового технологического решения к условиям производства конкретного изделия с учетом его конструктивных, технологических и организационных особенностей.

Использование параметрической настройки типовых процессов позволяет существенно сократить трудоемкость технологического проектирования, уменьшить объем вновь разрабатываемой документации и повысить степень унификации производственных решений. Одновременно обеспечивается накопление и повторное использование технологических знаний предприятия, что особенно важно в условиях автоматизированного и гибкого производства. Такой подход способствует повышению стабильности качества продукции, ускорению подготовки производства и снижению затрат на разработку технологической документации.

Метод исключения структурных элементов основывается на преобразовании графа $S_a(C, A)$, описывающего структуру процесса-аналога, путем удаления отдельных путей или дуг $\{C_{q-1}A_qC_q\}$ соответствующих операциям и переходам обработки, которые не требуются при изготовлении конкретного изделия либо связаны с обработкой поверхностей более высокой точности, отсутствующих в рассматриваемой конструкции. В данном случае процесс-аналог выступает в качестве избыточной модели, из которой исключаются элементы, не соответствующие технологическим характеристикам проектируемого объекта.

Структура конкретного технологического процесса формируется посредством применения операции разности графов:

$$S_K(C_1, A_1) = \frac{S_a(C, A)}{\{C_{q-1}A_q\}}$$

где

$$C_1 = \frac{C}{\{C_q\}}$$

представляет собой множество промежуточных состояний, необходимых для изготовления конкретного изделия, а

$$A_1 = \frac{A}{\{A_q\}}$$

определяет совокупность технологических операций, сохраняемых в маршруте обработки.

Применение данного метода приводит к упрощению структуры технологического процесса по сравнению с исходным аналогом. Преобразование осуществляется путем установления соответствия между состояниями изделия-аналога и параметрами конкретного изделия. Для этого в графе функциональной структуры процесса-аналога выделяются вершины, соответствующие конечным состояниям групп обрабатываемых поверхностей. Если выполняется условие

$$\{C_{r-1}A_rC_r\}$$

то операция A включается в маршрут обработки конкретного изделия; в противном случае она исключается из структуры процесса-аналога. Таким образом, механизм исключения обеспечивает адаптацию типового технологического решения к особенностям конкретной конструкции без необходимости полного синтеза нового процесса.

В противоположность методу исключения, метод дополнения структурных элементов основан на расширении графа процесса-аналога за счет присоединения новых дуг

$$S_K(C_1, A_1) = S_a(C, A) \cup C_{r-1}A_r$$

где

$$C_1 = C \cup \{C_r\},$$

На практике проектирование технологических процессов редко ограничивается использованием только одного метода преобразования. В большинстве случаев адаптация процесса-аналога осуществляется комбинированным способом, при котором одновременно выполняются операции исключения и дополнения структурных элементов. В результате структура конкретного технологического процесса может быть представлена выражением:

$$S_K(C_1, A_1) = \frac{S_a(C, A)}{\{C_{q-1}A_q\} \cup \{C_{r-1}A_r\}}$$

Подобный подход обеспечивает высокую гибкость технологического проектирования, поскольку позволяет не только удалять избыточные операции, но и вводить новые элементы, необходимые для реализации специфических требований конкретного изделия. При этом задача преобразования процесса-аналога сводится к определению рационального состава и количества вводимых либо исключаемых операций, а также к выбору оптимального места их расположения в структуре технологического маршрута.

Одним из наиболее эффективных способов преодоления начальной неопределенности при решении задач технологического проектирования является применение многоуровневого итерационного метода. Его сущность заключается в последовательном уточнении структуры процесса на различных уровнях проектирования с учетом совокупности ограничений, критериев качества и производственных условий. Такой подход обеспечивает возможность постепенной детализации проектных решений и формирования технологического процесса, наиболее полно соответствующего требованиям современного автоматизированного производства.

Проектирование дискретных технологических процессов и сложных производственных объектов реализуется как многоуровневая система взаимосвязанных этапов, характеризующихся последовательным снижением степени абстракции проектных решений при переходе от верхних уровней к нижним. Такой подход основан на принципе многоуровневой декомпозиции, позволяющем поэтапно уточнять структуру технологического процесса и параметры его реализации.

В рамках данной концепции проектирование технологического процесса изготовления изделия целесообразно разделять на четыре взаимосвязанных уровня: формирование принципиальной схемы процесса, разработку маршрутной технологии, проектирование операционной технологии и создание управляющих программ. Каждый последующий уровень характеризуется более высокой степенью детализации решений и опирается на результаты предыдущего этапа проектирования. Если на верхних уровнях определяются общая структура процесса и ключевые технологические принципы, то на нижних осуществляется конкретизация параметров операций, режимов обработки и алгоритмов управления оборудованием.

Многоуровневое проектирование предполагает рекурсивный характер процесса синтеза решений. Система общих принципиальных моделей на каждом уровне преобразуется в совокупность более детализированных структур следующего уровня. Так, сведения о принципиальной схеме технологического процесса служат исходной основой для разработки маршрутной технологии, а результаты маршрутного проектирования используются при

формировании операционных технологических решений. Аналогично, данные об операционной технологии становятся информационной базой для разработки управляющих программ автоматизированного оборудования. Подобная последовательность обеспечивает логическую преемственность проектных решений и согласованность технологической структуры на всех стадиях проектирования.

Для каждого уровня характерна собственная система критериев оценки эффективности проектных решений. По мере перехода от более общих уровней к более детализированным число критериев возрастает, а их содержание приобретает более конкретный и количественно определенный характер. Данное свойство может быть выражено соотношением:

$$E_1^i \leq E_2^i \leq E_3^i$$

где множества критериев последующих уровней включают критерии предыдущих этапов и дополняются новыми параметрами, отражающими особенности более глубокой детализации технологического процесса.

На первом уровне проектирования невозможно сформулировать полный набор критериев, обеспечивающих выбор единственного оптимального варианта принципиальной схемы технологического процесса. Это обусловлено высокой степенью неопределенности исходных данных и концептуальным характером принимаемых решений. В связи с этим на начальных и промежуточных этапах проектирования вместо одного оптимального варианта формируется группа рациональных решений

$$\{R_i^{(K-1)}\}$$

каждое из которых удовлетворяет установленным ограничениям и критериям эффективности. Окончательный выбор производится на последующих уровнях проектирования после получения дополнительной информации и уточнения параметров технологической системы.

Процесс проектирования на каждом уровне представляет собой совокупность процедур анализа, синтеза и оптимизации проектных решений. Он включает поиск процесса-аналога, преобразование структуры процесса-аналога, синтез и оптимизацию маршрутных и операционных решений, моделирование технологических процессов и оценку результатов моделирования. В общем виде эффективность проектируемого процесса определяется функционалом E , характеризующим качество проектного решения, а задача оптимизации сводится к выбору наиболее рационального варианта W из множества допустимых решений. Подобная схема позволяет обеспечить адаптивный характер проектирования и учитывать как технологические ограничения, так и требования к производительности, качеству продукции и экономической эффективности производства (рисунок 1.15).

Таким образом, многоуровневый подход к проектированию технологических процессов обеспечивает последовательное уточнение структуры и параметров производственной системы, формирование согласованных проектных решений и эффективную интеграцию этапов технологической подготовки производства в условиях автоматизированного и гибкого производства.

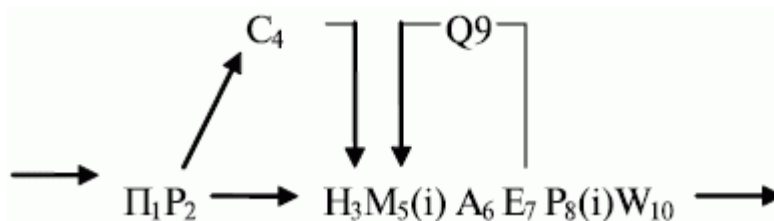


Рисунок 1.15 – Итерационный алгоритм процесса проектирования

Процесс проектирования технологических процессов начинается с поиска изделий и технологических процессов-аналогов в базе технологических данных. Наличие процесса-аналога позволяет перейти к процедурам его преобразования и адаптации к параметрам конкретного изделия. Если подходящий аналог отсутствует, осуществляется этап синтеза новой структуры технологического процесса. На данной стадии формируется совокупность возможных вариантов технологических решений, удовлетворяющих установленным техническим требованиям, ограничениям и условиям производства.

Сформированные варианты подвергаются процедурам имитационного моделирования, целью которых является прогнозирование поведения технологической системы и выявление возможных отклонений параметров качества и технико-экономических характеристик. Анализ результатов моделирования позволяет установить причины возникновения локальных несоответствий и определить факторы, оказывающие наибольшее влияние на эффективность технологического процесса. Исследование проводится по совокупности производственных, экономических и качественных показателей, что обеспечивает комплексную оценку проектных решений.

На этапе оценки определяется степень соответствия каждого варианта установленным техническим требованиям. Для этого производится сопоставление локальных критериев качества с интегральными показателями эффективности процесса. Если выявляется необходимость улучшения отдельных характеристик, выполняется процедура оптимизации, направленная на изменение параметров проектного решения в соответствии с заданными критериями. В результате последовательного выполнения операций моделирования, анализа, оценки и оптимизации формируется итерационный цикл проектирования, представленный на рисунке 1.16, в рамках которого осуществляется постепенное совершенствование структуры технологического процесса.

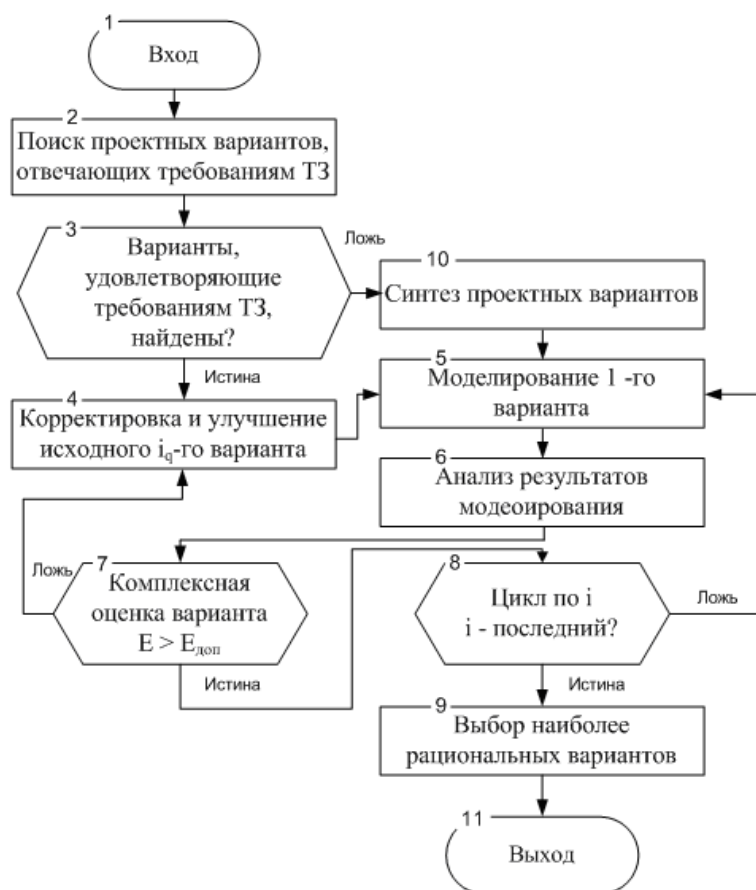


Рисунок 1.16 – Итерационный алгоритм процесса проектирования на каждом уровне

Каждая последующая итерация обеспечивает повышение качества проектного решения. Процесс продолжается до тех пор, пока вариант технологического процесса не начнет удовлетворять заданным требованиям по основным технико-экономическим показателям, а дальнейшее совершенствование не перестанет оказывать существенное влияние на значение интегрального критерия эффективности. Таким образом, проектирование рассматривается как процедура последовательного приближения к рациональному решению в пространстве допустимых технологических вариантов.

В представленной модели совокупность проектных операций и управляющих блоков определяет два взаимосвязанных метода проектирования: преобразование объектов-аналогов и синтез новых решений. Первый метод основан на адаптации существующих технологических структур, второй – на целенаправленном формировании новых вариантов процессов. Остальные этапы итерационного цикла, включая моделирование, анализ, оценку и оптимизацию, являются общими для обоих подходов. Блок-схема взаимодействия данных процедур приведена на рисунке 1.16. Практика автоматизации технологического проектирования показывает, что данные методы не противостоят друг другу, а функционируют как взаимодополняющие элементы единой системы проектирования.

Использование методов типизации позволяет существенно сократить временные затраты на разработку технологических процессов. По сравнению с полностью итерационным методом трудоемкость проектирования может снижаться на 30–40 %, что делает целесообразным применение типовых процессов для изделий с высокой степенью конструктивного сходства. В случаях, когда объект обладает уникальными характеристиками, более эффективным оказывается использование методов преобразования процессов-аналогов и многоуровневого итерационного синтеза.

Технологический процесс изготовления изделия рассматривается как последовательность взаимосвязанных операций, каждая из которых характеризуется совокупностью входных и выходных параметров. Например, при производстве полупроводниковых приборов такими операциями могут выступать диффузия, окисление, формирование базовых структур и создание эмиттерных областей. Каждая операция описывается системой технологических параметров, являющихся исходными данными для математического моделирования и расчета режимов обработки.

В автоматизированных системах проектирования управление технологическими операциями реализуется посредством вычислительных моделей, позволяющих определять оптимальные параметры процесса. Так, при выполнении операций диффузии вычисляются режимы работы печей, длительность технологического цикла и характеристики обработки пластин. Измеряемые параметры поступают в систему управления, где сравниваются с заданными значениями, после чего осуществляется корректировка управляющих воздействий. В качестве регулируемых параметров могут выступать температура обработки, продолжительность цикла или толщина оксидного слоя SiO_2 .

Укрупненная схема технологического процесса может быть представлена как система пространств состояний, формируемых на каждой контрольной операции (рисунок 1.17). Пусть значения конструктивных параметров готового изделия L_i , удовлетворяющие техническим требованиям, рассматриваются как целевые параметры, а их координаты обозначаются через R . Тогда задача проектирования алгоритмов управления технологическим процессом сводится к нахождению такой траектории управления объектом, при которой последовательность состояний изделия изменяется от исходного состояния K_0 к требуемому конечному состоянию. Управляющие воздействия

$$q_i (i = 1, \dots, N)$$

определяют режимы выполнения технологических операций таким образом, чтобы выходные параметры изделия не выходили за пределы допустимых отклонений.

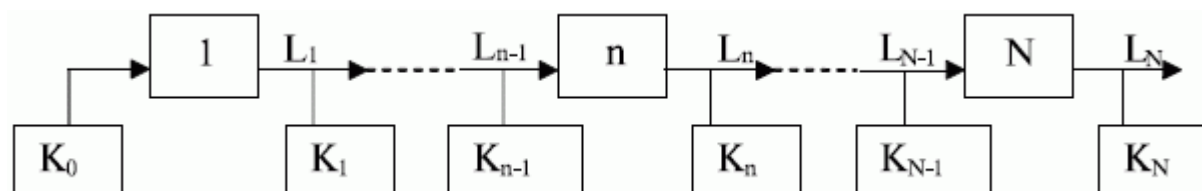


Рисунок 1.17 – Укрупненная блок-схема технологического процесса

Траектории изменения характеристик изделия при различных способах изготовления представлены на рисунке 1.18. Анализ данных траекторий показывает, что различные комбинации управляющих воздействий могут приводить к достижению требуемых параметров изделия, однако эффективность технологического процесса определяется не только достижением конечного результата, но и минимизацией отклонений, затрат времени и производственных ресурсов на промежуточных этапах обработки.

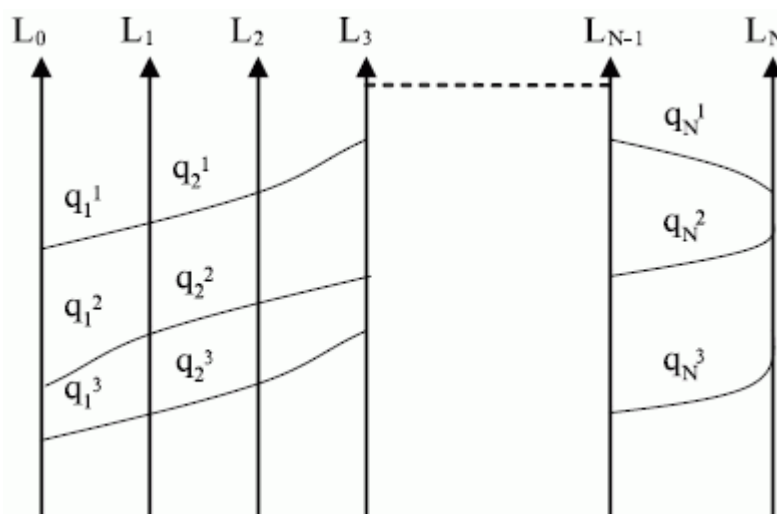


Рис. 1.18. Траектории как характеристики различных способов изготовления изделия.

Следовательно, проектирование технологических процессов в условиях автоматизированного производства представляет собой сложную многоуровневую систему анализа, моделирования и оптимизации, основанную на сочетании методов типизации, преобразования процессов-аналогов и математического моделирования. Эффективность данной системы определяется способностью обеспечивать устойчивое достижение требуемых характеристик изделия при минимальных затратах ресурсов и высокой адаптивности к изменяющимся условиям производства.

В общем виде функциональная структура принципиальной схемы технологического процесса характеризуется последовательностью взаимосвязанных преобразований, обеспечивающих переход изделия из исходного состояния в требуемое конечное состояние.

Формирование такой структуры осуществляется посредством многоэтапного алгоритма синтеза технологических решений, схема которого представлена на рисунке 1.18.

Начальный этап алгоритма связан с формированием исходных данных, необходимых для функционирования системы проектирования. Предполагается, что математические модели, предназначенные для расчета управляющих воздействий и обеспечения требуемых выходных параметров на каждой технологической операции, заранее реализованы в памяти ЭВМ в виде специализированных программных модулей. На данном этапе задаются исходные параметры и ограничения, которым должно удовлетворять проектируемое изделие.

После ввода исходной информации данные передаются в рабочий массив M , предназначенный для хранения параметров как конечных, так и промежуточных состояний проектируемого объекта. Формирование подобного информационного массива обеспечивает возможность многократного обращения к результатам промежуточных расчетов и их последующей корректировки в ходе проектирования.

Следующий этап алгоритма предусматривает выделение очередного состояния изделия L_i , соответствующего определенному этапу технологического процесса. Для данного состояния выполняются расчеты по выбранной математической модели технологической операции. В результате вычислений определяются управляющие воздействия, обеспечивающие достижение необходимых выходных параметров. Одновременно фиксируются номера этапов, на которых были получены соответствующие результаты, что позволяет отслеживать структуру проектируемого технологического процесса и анализировать взаимосвязи между его элементами.

После вычисления параметров производится оценка точности и достоверности полученных результатов. Анализируются возможные погрешности математических моделей, а также отклонения, обусловленные влиянием неконтролируемых факторов производственной среды. Такой подход позволяет выявить потенциальные источники нестабильности технологического процесса и своевременно скорректировать проектные решения.

Далее логический оператор алгоритма проверяет условие завершения построения графа $G(L, U)$, описывающего структуру технологического процесса. Если номер текущего этапа не превышает максимально допустимого значения, процесс проектирования считается завершенным, а управление передается завершающему оператору алгоритма. В противном случае осуществляется возврат к предыдущим этапам, выполняется коррекция параметров промежуточного состояния L_{i-1} , после чего цикл проектирования продолжается на основе обновленных исходных данных. В результате выполнения итерационных процедур

формируется граф допустимых вариантов технологического процесса, удовлетворяющих установленным ограничениям.

Алгоритм формирования принципиальной схемы технологического процесса, представленный на рисунке 1.19, позволяет реализовать многовариантный подход к проектированию. Однако количество допустимых вариантов может быть весьма значительным, что существенно усложняет процедуру выбора рационального решения. В связи с этим на ранних этапах проектирования целесообразно проводить предварительный технико-экономический анализ и математическое моделирование вариантов технологических процессов. Это позволяет сократить число рассматриваемых решений и исключить заведомо неэффективные маршруты обработки.

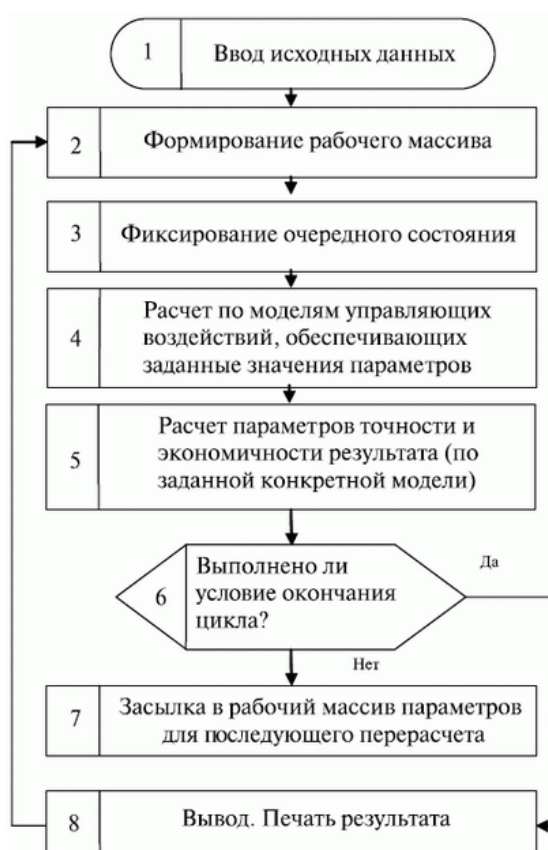


Рисунок 1.19 – Алгоритм формирования принципиальной схемы ТП

При проектировании технологических маршрутов исходными данными являются рабочие чертежи изделия, а также совокупность производственных ограничений и характеристик предприятия. Дополнительным источником информации выступают результаты предыдущего уровня проектирования – несколько наиболее рациональных вариантов принципиальных схем технологического процесса. Для обеспечения автоматизированной обработки информация кодируется и структурируется в памяти ЭВМ.

Система кодирования включает обозначения технологических операций, логических условий и параметров оборудования, что обеспечивает формализованное описание маршрута изготовления изделия.

В качестве технологических ограничений рассматриваются характеристики оборудования, технологической оснастки, используемых материалов и технические параметры изделия. Основная задача проектирования заключается в выборе оптимального варианта технологического маршрута, определении состава и последовательности операций, а также подборе технологических баз, оборудования и приспособлений для выполнения каждой операции.

Формирование структуры технологического маршрута зависит от большого числа факторов, включая технологические возможности оборудования и оснастки, размеры производственных партий, тип и конструктивные особенности изделия. Вследствие этого синтез технологического маршрута представляет собой совокупность взаимосвязанных задач, различающихся по уровню детализации и набору учитываемых параметров. Такой подход обеспечивает возможность адаптации проектируемого технологического процесса к конкретным условиям производства и позволяет повысить эффективность технологической подготовки предприятия.

Исследование множества переходов на отдельных этапах технологического маршрута позволяет рассматривать процесс проектирования технологии как задачу формирования взаимосвязанных производственных решений. Для каждого этапа определяется совокупность допустимых переходов, характеризующих возможные способы обработки изделия в зависимости от выбранного метода изготовления, особенностей оборудования и производственных ограничений. Формально данное множество может быть представлено в виде

$$\Xi_i = \{\mu_i(P_i)\}$$

где Ξ_i определяет совокупность переходов на i -м этапе технологического процесса, а P_i соответствует способу изготовления изделия на рассматриваемом этапе.

С целью повышения эффективности проектирования множество переходов разделяется на непересекающиеся подмножества, объединяющие технологически однородные операции. Такое укрупнение позволяет перейти от анализа отдельных элементарных переходов к рассмотрению интегрированных производственных действий, отражающих реальные возможности оборудования и специфику организации производства на предприятии. Процесс преобразования исходных операций в укрупненные структуры может быть описан следующим образом:

$$W : \{\mu_1(P_1), \mu_2(P_2), \dots\} \rightarrow M_i,$$

где W представляет алгоритм логического разнесения и объединения операций, а M_i соответствует множеству вариантов укрупненных операций, сформированных после выполнения процедуры структуризации.

В результате применения данного подхода возникает несколько альтернативных вариантов укрупненных операций, различающихся степенью детализации и последовательностью выполнения переходов. Формирование таких вариантов обусловлено стремлением обеспечить максимально возможную адаптацию технологического процесса к условиям конкретного производства. При этом укрупнение операций способствует сокращению количества элементарных переходов, снижению сложности технологической документации и повышению устойчивости производственного процесса к изменениям производственной среды.

Для определенного класса изделий формируется обобщенный технологический маршрут, включающий операции, характерные для всей группы изделий. Такой маршрут представляет собой упорядоченную совокупность операций, присутствующих в индивидуальных технологических схемах. Если множество индивидуальных маршрутов обозначить как $M_1, M_2, \dots, M_n$

$$M_y^* = \bigcup_{i=1}^n M_i$$

где объединение отражает совокупность операций, входящих в различные варианты технологической реализации.

Процедура формирования обобщенного маршрута основывается на выявлении пересечений между индивидуальными маршрутами. Наличие общих операций свидетельствует о технологической близости рассматриваемых процессов и создает предпосылки для их унификации. На рисунке 1.20 представлена схема объединения технологических маршрутов в обобщенную структуру. В данном случае ключевым условием включения маршрута в состав обобщенной схемы является существование непустого пересечения множеств операций: $M_i \cap M_j \neq 0$

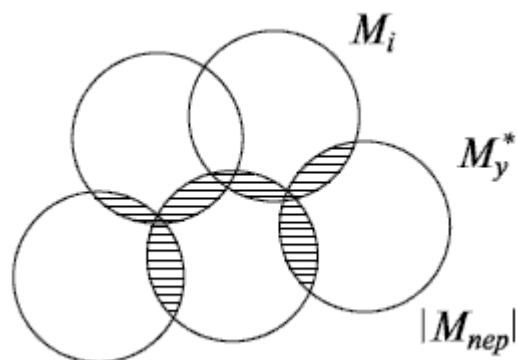


Рисунок 1.20 – Схема объединения технологических маршрутов M подкласса (группы) изделий в обобщенный маршрут M^*_y

Чем больше количество совпадающих операций, тем выше степень унификации маршрутов и тем эффективнее использование производственных ресурсов. В связи с этим критерием эффективности формирования обобщенного маршрута выступает мощность пересечения множеств операций индивидуальных маршрутов:

$$|M_{\text{пер}}| = \bigcap_{i=1}^n M_i$$

где $M_{\text{пер}}$ определяет множество операций, общих для рассматриваемых маршрутов независимо от порядка их выполнения.

На рисунке 1.21 показана схема пересечения технологических маршрутов, демонстрирующая механизм формирования обобщенной структуры. При этом эффективность обобщения определяется стремлением к максимизации области пересечения маршрутов, поскольку увеличение числа общих операций обеспечивает более высокий уровень стандартизации технологического процесса. Одновременно мощность объединенного маршрута $M^*_y = \bigcup_{i=1}^n M_i$ должна стремиться к минимуму, так как сокращение количества уникальных операций способствует уменьшению производственных затрат, упрощению управления технологическим процессом и повышению адаптивности производственной системы.

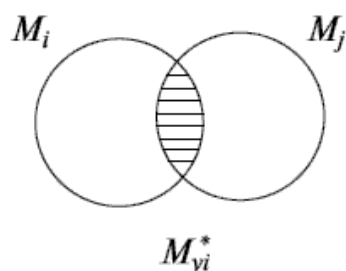


Рисунок 1.21 – Схема пересечения технологических маршрутов M_i и M_j с образованием области пересечения операций с мощностью ($M_{\text{пер}i}$)

Следовательно, обобщенный технологический маршрут следует рассматривать как систему пересекающихся индивидуальных маршрутов, объединенных наличием общих операций. В процессе объединения двух или нескольких маршрутов в состав пересечения включаются эквивалентные операции, характеризующиеся одинаковым функциональным назначением, единым кодом и совпадающими условиями применения. На рисунке 1.20 представлена схема пересечения технологических маршрутов M_i и M_j с образованием области общих операций, мощность которой определяется величиной $|M_{\text{пер}}|$.

Параметры $|M_{\text{пер}}|$ и $|M_y^*|$ могут использоваться как критерии оценки уровня типизации технологических процессов. Увеличение количества совпадающих операций в маршрутах изготовления изделий одной группы свидетельствует о возможности повышения степени унификации производства и сокращения числа индивидуальных технологических решений. Тем самым обеспечиваются предпосылки для повышения эффективности технологической подготовки производства и снижения трудоемкости проектных работ.

При формировании технологического маршрута изготовления изделия осуществляется выбор необходимых операций из заранее подготовленных справочников типовых технологических решений. Отбор операций производится с учетом требований к качеству изделия, конструктивных особенностей детали и условий функционирования производственной системы. Для каждой операции определяются условия ее включения в маршрут, а также место расположения в общей последовательности технологического процесса.

В условиях автоматизированного проектирования особое значение приобретает анализ совместимости конструктивно-технологических условий для различных классов изделий. Рост уровня типизации технологических процессов приводит к сокращению количества возможных сочетаний операций, что упрощает процедуру проектирования с использованием вычислительных средств и повышает эффективность алгоритмов автоматизированного синтеза маршрутов. В результате формируется возможность построения индивидуальных маршрутов с фиксированным порядком следования операций и минимальным количеством избыточных переходов.

На процесс проектирования существенное влияние оказывают производственные ограничения, связанные с уровнем загрузки оборудования, наличием инструмента и особенностями организации производства. Если подобные ограничения являются устойчивыми для конкретного предприятия, то они должны учитываться как неотъемлемая часть технологической среды. В этом случае проектируемый технологический процесс становится не только реализуемым в условиях производства, но и оптимизированным с точки зрения достижения целевых показателей эффективности.

Поэтому задача автоматизированного проектирования маршрутов должна решаться с учетом адаптации алгоритмов к конкретным производственным условиям. Обобщенный маршрут в данном случае представляет собой упорядоченное множество индивидуальных маршрутов, объединенных общими технологическими признаками. Такая структура позволяет формировать для различных изделий индивидуальные последовательности операций, сохраняя при этом единые принципы организации обработки внутри рассматриваемого класса изделий.

Выбор конкретной операции в составе индивидуального маршрута может быть формализован с использованием элементарной логической функции

$$f_k = \bigvee_{j=1}^{n_2} (\bigwedge_{i=1}^{n_1} A_i),$$

где A_i представляет логическое условие, определяющее возможность включения операции в маршрут обработки; n_1 соответствует числу условий, объединенных конъюнкцией, а n_2 – количеству сочетаний, связанных дизъюнкцией.

Такая форма представления отражает совокупность наборов условий, объединенных логической суммой. Каждый набор условий описывает допустимость выполнения конкретной операции при определенном сочетании технологических факторов. В простейшем случае элементарная логическая функция может быть записана в виде

$$(\bigwedge_{i=1}^{n_1} A_i)$$

Использование логических функций позволяет однозначно определить возможность включения операции в индивидуальный маршрут и установить ее положение в технологической последовательности. При этом каждая операция сопоставляется с определенным набором условий, характеризующих необходимость ее выполнения. Некоторые операции могут входить во все индивидуальные маршруты независимо от особенностей изделия, если

$$f_k = \{k\} = 0$$

К подобным операциям относятся контрольные, клеймительные и консервационные переходы, обязательные для большинства технологических процессов независимо от специфики конкретного изделия.

Величины n_1, n_2, n_3 строго определены на каждом шаге решения задачи, но могут изменяться по мере изменения множеств условий или операторов на этапе построения

обобщенного маршрута. Каждое условие элементарной логической функции является элементом множества условий A , т.е. A_k

Тогда логическая модель, описывающая структуру обобщенного маршрута, может быть представлена выражением

$$\Phi = \bigvee_{k=1}^{n_3} (\bigvee_{j=1}^{n_2} (\bigwedge_{i=1}^{n_1} A_i))$$

где функция Φ отражает совокупность условий включения операций в структуру технологического маршрута. Такое представление позволяет формализовать взаимосвязь между отдельными маршрутами и определить (возможность присутствия либо исключения определенных операций в зависимости от набора логических признаков изделия.

Формирование обобщенного маршрута начинается с выбора базового маршрута M_b относительно которого выполняется последовательное расширение структуры за счет операций присоединяемых маршрутов. При этом в качестве критерия включения рассматривается наличие операций, отсутствующих в базовой последовательности, но необходимых для реализации других индивидуальных маршрутов. Для обеспечения структурной согласованности проводится сопоставление операций по их функциональному назначению и кодовому описанию. Если операция присоединяемого маршрута эквивалентна одной из операций базового маршрута, ее повторное добавление не выполняется. В противном случае операция интегрируется в маршрут с сохранением технологической последовательности обработки.

Схема формирования обобщенного маршрута приведена на рисунке 1.21. В процессе объединения возникает древовидная структура операций, каждая вершина которой соответствует определенному технологическому переходу и содержит логическое условие его использования. Такой подход обеспечивает возможность описания вариативности технологической подготовки изделий в рамках единой модели.

Схема формирования обобщенного маршрута приведена на рисунке 1.22. В процессе объединения возникает древовидная структура операций, каждая вершина которой соответствует определенному технологическому переходу и содержит логическое условие его использования. Такой подход обеспечивает возможность описания вариативности технологической подготовки изделий в рамках единой модели.

Для двух операций C_{imi} и C_{jmi} , принадлежащих маршрутам M_i и M_j

$$C_{imi} = C_{jmi}$$

При выполнении данного условия операция сохраняется в обобщенном маршруте в единственном экземпляре, а ее использование определяется объединенным логическим условием. Тем самым достигается сокращение избыточности структуры маршрута и устраняется дублирование одинаковых технологических переходов. Условие включения операции в обобщенный маршрут может быть записано в виде

$$\forall C_{imi} C_{jmi} \in (C_{imi} = C_{jmi}) [M_y^* \ni C_{imi} \vee C_{jmi}] \rightarrow$$

где операция рассматривается как общая для нескольких маршрутов и наследует совокупность условий их применения.

При построении обобщенного маршрута сохраняется строгая последовательность выполнения операций, что обеспечивает корректность технологического процесса независимо от варианта изделия. Если в маршруте M_i

C_p операция предшествует операции C_q , то данное отношение сохраняется и в результирующей структуре:

$$\forall C_p C_q \in (M_i \cap M_j) [(C_p < C_q; C_p, C_q \in M_i) \rightarrow ((C_p < C_q); C_p)]$$

формализованную модель, учитывающую структурные связи, условия применения и порядок выполнения технологических переходов. Это позволяет использовать единый маршрут в качестве основы для автоматизированного синтеза индивидуальных технологических процессов.

Построение индивидуальных технологических маршрутов осуществляется посредством выделения из структуры обобщенного маршрута только тех операций, которые соответствуют требованиям конкретного изделия. Схема такого формирования представлена на рисунке 1.22.

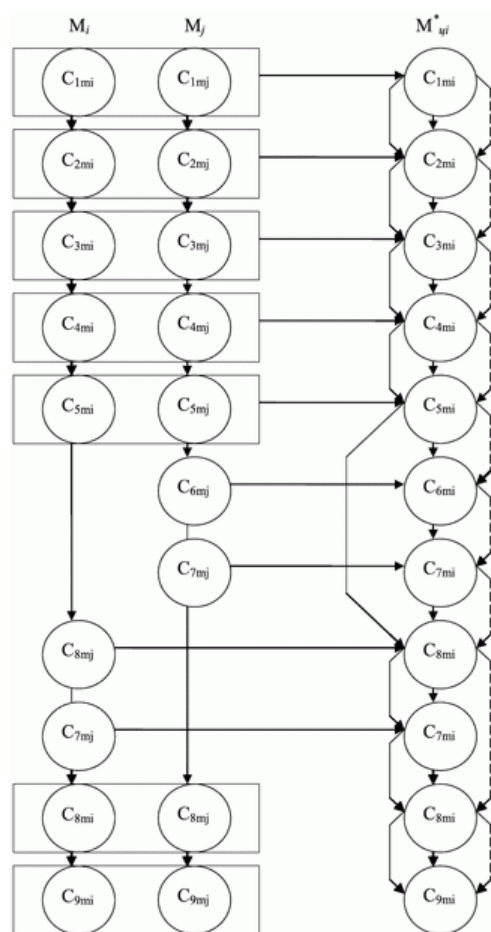


Рисунок 1.22 – Схема построения обобщенного маршрута

Для операций, общих для группы изделий или поверхностей обработки, логическая функция может отсутствовать, что соответствует условию

$$f_k = 0$$

В этом случае операция рассматривается как обязательная и автоматически включается в индивидуальный маршрут. Для остальных операций производится сопоставление набора логических признаков изделия с условиями, определяющими область применимости соответствующей операции. Набор признаков изделия задается выражением $(\bigwedge_{i=1}^{n_1} A_i)$ после чего для каждой операции C_k принадлежащей индивидуальному маршруту M_i , проверяется выполнение условия

$$L_j = (\bigwedge_{i=1}^{n_1} A_i)$$

где L_j представляет собой совокупность логических требований, определяющих возможность включения операции в маршрут изготовления изделия.

Проверка принадлежности операции выполняется путем анализа отношений между наборами логических условий. Если множество признаков изделия удовлетворяет условиям применимости операции, то операция включается в индивидуальный маршрут. Формально это условие может быть представлено следующим образом:

$$\forall C_k \in M_i [\exists L_j (L_j \leq L_i)]$$

где L_j соответствует набору условий, характеризующих конкретную операцию технологического процесса.

В дальнейшем алгоритм осуществляет последовательный просмотр операций обобщенного маршрута и анализирует наличие соответствующих логических функций. При выполнении условия $L_{jk} = L_j^D$ операция признается релевантной текущему изделию и добавляется в формируемый маршрут. Если совпадение условий отсутствует, осуществляется переход к следующей операции. Таким образом обеспечивается автоматизированный синтез индивидуального технологического маршрута без нарушения общей структуры технологического процесса.

После завершения анализа всех операций формируется окончательная последовательность технологических переходов, соответствующая параметрам конкретного изделия. Полученный индивидуальный маршрут может использоваться как исходная информационная модель для дальнейших расчетов технологических параметров, определения состава оборудования и инструмента, нормирования времени обработки, а также оценки производственной себестоимости. Блок-схема алгоритма проектирования индивидуального маршрута приведена на рисунке 1.23.

Исходные данные, используемые при проектировании технологических операций, формируют основу последующего построения операционной технологии и определяют структуру принимаемых проектных решений. На данном этапе осуществляется детализация параметров технологической системы, предварительно сформированных при разработке маршрута обработки, а также уточняется состав операций и характеристики каждого технологического перехода. В отличие от маршрутного проектирования, ориентированного преимущественно на определение общей последовательности обработки, операционный уровень предполагает более глубокое описание процесса изготовления изделия с учетом особенностей оборудования, технологической оснастки, инструмента и параметров обработки.

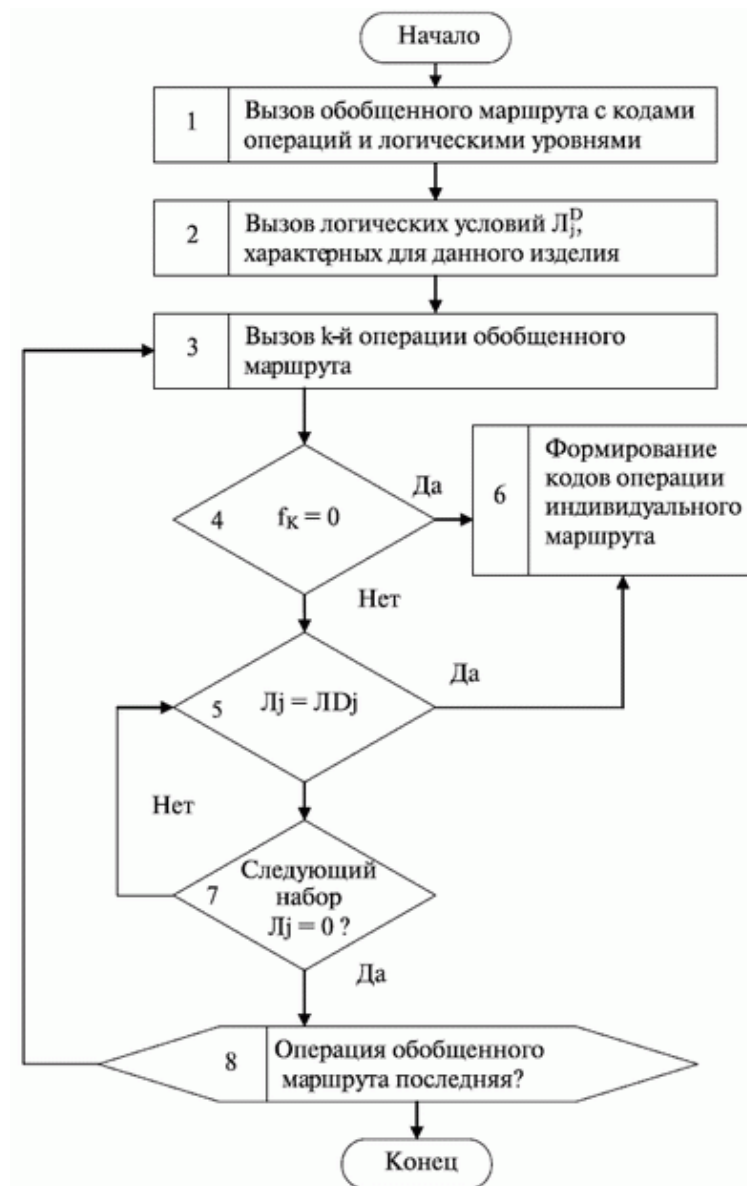


Рисунок 1.23 – Блок-схема алгоритма проектирования индивидуального маршрута

Проектирование операций относится к числу многовариантных задач, поскольку каждая операция может быть реализована различными способами в зависимости от условий производства и требуемых эксплуатационных характеристик изделия. Формирование структуры операции невозможно без информации о последовательности прохождения заготовки по маршруту обработки, схемах базирования и закрепления, а также о состоянии поверхностей после выполнения предшествующих операций. Существенное значение имеет точность обработки, достигнутая на предыдущих стадиях, поскольку именно она определяет возможность реализации последующих переходов и допустимые значения технологических параметров. В результате автоматизированного проектирования формируется описание операции, включающее содержание переходов, модель используемого оборудования, характеристики приспособлений и режущего инструмента.

Структура проектируемой операции определяется совокупным воздействием конструктивных, технологических и организационно-производственных факторов. Ключевое влияние оказывают геометрические параметры изделия, его масса и конфигурация, поскольку они определяют способы базирования, схемы закрепления и условия обработки. Не менее важными являются требования к точности размеров и взаимному расположению поверхностей, так как именно они задают ограничения на выбор оборудования, инструментальных систем и последовательность переходов. Дополнительное влияние оказывают вид заготовки, объем выпуска продукции, уровень автоматизации оборудования и конструктивные особенности технологической оснастки. В совокупности данные факторы формируют область допустимых проектных решений, внутри которой осуществляется поиск наиболее рационального варианта построения операции.

Технологическая операция представляет собой сложную иерархическую структуру, включающую совокупность взаимосвязанных технологических переходов. Между элементами такой структуры возникают временные, пространственные, логические и расчетные зависимости, определяющие порядок и условия выполнения обработки. В процессе оптимизации состава переходов устанавливаются их количество и последовательность, рассчитываются режимы обработки, величины припусков и промежуточных размеров, уточняются технологические допуски и нормы времени. Одновременно определяются параметры наладки оборудования, настроечные размеры и характеристики промежуточных состояний изделия. Таким образом, задача формирования операции сводится не только к выбору отдельных переходов, но и к построению согласованной системы их взаимодействия.

Особое значение при проектировании операций имеет задача структурирования множества переходов. Общая совокупность технологических действий должна быть упорядочена и разделена на отдельные группы с учетом минимизации числа установок заготовки, сокращения холостых перемещений инструмента и необходимости выполнения термической либо комбинированной обработки. Такое структурирование позволяет повысить производительность обработки, уменьшить вспомогательное время и обеспечить устойчивость технологического процесса. На данном этапе также выполняется уточнение выбора оборудования, приспособлений и инструментальных систем, а расчет норм времени приобретает окончательный характер, поскольку осуществляется уже применительно к конкретной структуре операции.

Информационная база проектирования включает совокупность справочно-нормативных сведений, параметров оборудования, характеристик инструментов и технико-экономических показателей производства. Использование этих данных обеспечивает

возможность количественной оценки различных вариантов операций и позволяет выполнять сопоставление альтернативных решений по критериям производительности, точности и себестоимости обработки. В результате проектирование приобретает характер оптимизационной задачи, в которой необходимо определить наилучшее решение среди множества допустимых вариантов.

Многовариантность особенно проявляется при формировании многопереходных маршрутов обработки. Каждое допустимое сочетание оборудования, параметров резания и последовательности переходов образует отдельный вариант технологической реализации процесса. Совокупность таких вариантов формирует пространство допустимых решений, внутри которого осуществляется поиск оптимального маршрута с учетом точности изделия, возможностей оборудования и характеристик инструментальной системы. При этом выбор параметров обработки носит зависимый характер: каждый предыдущий переход оказывает непосредственное влияние на последующий, прежде всего через изменение точности, шероховатости и состояния обработанной поверхности. По этой причине параметры очередного перехода могут быть определены только после окончательного выбора характеристик предшествующего этапа обработки. Такая взаимосвязанность обуславливает необходимость последовательного анализа проектных решений и усложняет задачу автоматизированного синтеза операций.

Исходная информация для проектирования включает сведения о конструкции изделия, характеристиках заготовки, параметрах оборудования и свойствах используемого инструмента. На основе этих данных осуществляется выбор технологических методов обработки и формируется рациональная структура процесса изготовления. Следует учитывать, что современные технологические процессы могут базироваться на механической, термической, механотермической и химической обработке, каждая из которых обладает собственными особенностями автоматизации и управления. В связи с этим при разработке автоматизированных систем технологической подготовки производства особое внимание уделяется интеграции различных методов обработки в рамках единой системы управления.

Значительная роль в современных производственных системах отводится операциям формообразования первичных элементов конструкции. Их получение может осуществляться различными способами, включая литье, штамповку, прессование, механическую обработку и комбинированные методы. Выбор конкретного способа определяется не только требуемой точностью и качеством поверхности, но и технико-экономическими характеристиками производства. Предпочтение отдается тем технологическим решениям, которые обеспечивают более высокую производительность, снижение себестоимости изготовления и

возможность комплексной механизации либо автоматизации процесса. Таким образом, проектирование операций представляет собой задачу согласования технологических, конструктивных и экономических факторов в рамках единой модели производства.

Характерной особенностью технологий формообразования является возможность получения одного и того же элемента конструкции различными структурными вариантами технологического процесса. Эти варианты отличаются составом оборудования, степенью автоматизации, трудоемкостью и технико-экономической эффективностью. Вследствие этого выбор окончательной структуры операции должен базироваться не только на обеспечении заданных параметров качества, но и на комплексной оценке производственных условий, позволяющей определить наиболее рациональный способ технологической реализации процесса изготовления изделия.

Формирование структуры многопереходной операции связано с необходимостью распределения технологических переходов по позициям оборудования с учетом ограничений, определяемых конструкцией станка, последовательностью обработки и условиями совмещения переходов. Пусть число технологических переходов равно p , а количество позиций оборудования – m . Для выполнения i -го перехода, где $i = 1, 2, \dots, p$ требуется время t_i тогда как время обработки на j -й позиции определяется величиной t_j , где $j = 1, 2, \dots, m$

При проектировании операции необходимо учитывать технологическую преемственность переходов. Выполнение каждого последующего перехода возможно только после завершения определенного множества предшествующих операций $I(i)$, обеспечивающих достижение требуемой точности, состояния поверхности и геометрической базы. Для описания распределения переходов вводится бинарная переменная

$$x = \begin{cases} 1, & \text{если } i - \text{й переход выполняется на } j - \text{й позиции,} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Тогда условие существования перехода в структуре операции может быть представлено соотношением

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} = 1$$

которое отражает требование обязательного назначения каждого перехода на одну из позиций оборудования. Тем самым обеспечивается полнота построения технологической операции и исключается возможность пропуска отдельных переходов.

Одновременно при распределении переходов учитываются ограничения, связанные с загрузкой позиций станка и возможностью совмещения обработки. Количество переходов, выполняемых на одной позиции, не должно превышать допустимого значения,

определяемого конструктивными и эксплуатационными характеристиками оборудования. Соответствующее условие может быть выражено следующим образом:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \leq k,$$

где параметр k определяет максимально допустимое число совмещаемых переходов на одной позиции.

Распределение переходов по позициям выполняется не только на основе формальных ограничений, но и с учетом технологических правил, накопленного производственного опыта и особенностей эксплуатации оборудования. Существенное влияние оказывает необходимость соблюдения установленной последовательности обработки, поскольку нарушение порядка выполнения переходов может привести к снижению точности изготовления или невозможности дальнейшей обработки. Вследствие этого формируется группа ограничений, описывающих отношения предшествования между переходами:

$$X_{ij} \leq \sum_{u=1}^{j-1} X_{iu}, i \in I(i),$$

что обеспечивает выполнение очередного перехода только после завершения операций, формирующих необходимые технологические базы и промежуточные параметры детали.

Дополнительная группа ограничений связана с возможностью совмещения нескольких переходов в пределах одной операции. В этом случае распределение переходов должно учитывать как конструктивные возможности оборудования, так и ограничения по времени обработки. Для описания подобных условий используется зависимость характеризующая совокупность переходов, выполняемых на конкретной позиции оборудования. При этом допустимость совмещения определяется условием $j = 1, 2, \dots, m; 0 < k < P$, где P соответствует общему числу переходов, а k является целочисленным параметром, задающим предел допустимого совмещения.

Существенным фактором оптимизации является ограничение суммарного времени обработки на каждой позиции с учетом рабочих и холостых перемещений инструмента. Временная загрузка оборудования не должна превышать регламентированного значения, что описывается выражением

$$\sum t_i X_{ij} \leq R,$$

где R представляет собой нормативное время обработки для соответствующей позиции оборудования. Такое ограничение обеспечивает согласованность структуры операции с производственными возможностями станка и предотвращает возникновение перегрузок отдельных позиций.

Совокупность ограничений, определяющих структуру многопереходной операции, может быть представлена в обобщенной форме:

$$\sum a_i X_{ij} = 1$$

$$\sum_i \sum_j b_{ijd} X_{ij} \leq d_q, i = 1, 2, \dots, n; j \in Q(i),$$

где $Q(i)$ представляет множество позиций, на которых допускается выполнение i -го перехода. Данные соотношения формируют математическую модель структурного синтеза операции и позволяют учитывать как технологические, так и организационные ограничения производственной системы.

Оптимальная последовательность выполнения переходов определяется на предшествующих этапах проектирования, однако окончательное формирование операции требует согласования этих переходов с параметрами оборудования и условиями совмещения обработки. В процессе синтеза операции осуществляется объединение переходов, связанных с обработкой различных поверхностей детали, в единую структуру с последующим распределением по позициям оборудования. Такая постановка задачи во многом аналогична задаче распределения переходов в многопозиционных станочных системах, где требуется обеспечить минимизацию времени обработки при соблюдении всех технологических ограничений.

Выбор окончательного варианта операции осуществляется методом последовательного анализа альтернативных решений. Сравнение вариантов производится по совокупности технологических и экономических критериев, после чего устанавливаются доминирующие решения, обеспечивающие более высокую производительность, снижение трудоемкости и повышение стабильности обработки. Последовательное исключение менее эффективных вариантов позволяет сократить область допустимых решений и сформировать структуру операции, наиболее полно соответствующую условиям конкретного производства и требованиям к качеству изделия.

Для проектирования оптимальной операции применяется метод последовательного анализа вариантов, основанный на поэтапном сравнении допустимых решений и исключении менее эффективных комбинаций переходов. Такой подход позволяет учитывать технологические ограничения уже на ранних этапах синтеза операции и существенно сокращает область поиска рационального варианта. В результате формируется последовательность проектных решений, ориентированная на достижение минимальной трудоемкости обработки при обеспечении требуемой точности и производительности технологического процесса

На начальной стадии проектирования анализируются все допустимые варианты распределения переходов с учетом ограничений, накладываемых последовательностью обработки, конструкцией оборудования и минимально допустимым количеством переходов. Формирование структуры операции начинается с объединения максимально возможного числа переходов, что позволяет сократить объем вычислительного анализа и уменьшить число рассматриваемых комбинаций. Такой принцип особенно эффективен при автоматизированном синтезе многопереходных операций, где количество потенциальных решений возрастает пропорционально числу технологических переходов и вариантов их совмещения.

Для уменьшения размерности пространства допустимых решений используется система критериев отбора, позволяющая исключать варианты, заведомо не удовлетворяющие технологическим или экономическим требованиям. В результате уже на раннем этапе проектирования устраняются комбинации переходов, не обеспечивающие необходимой последовательности обработки, допустимого уровня загрузки оборудования или минимального числа технологических установок. Подобный механизм отсекающего позволяет сосредоточить вычислительный анализ только на рациональных вариантах структуры операции.

Процесс формирования операции начинается с разбиения общей совокупности переходов U на подмножества, соответствующие отдельным операциям обработки поверхности изделия. Каждое подмножество представляет собой совокупность технологически совместимых переходов, объединенных общими условиями выполнения и параметрами оборудования. Если для некоторого перехода отсутствует технологическая связь с другими элементами структуры, он рассматривается как самостоятельная составляющая операции.

Для описания структуры множества переходов используется декомпозиция общей совокупности U на подмножества Q . Каждое множество Q включает переходы, расположенные в определенной фиксированной последовательности, отражающей технологическую логику обработки изделия. Элементы множества обозначаются индексами $1, 2, \dots, k, \dots, t, \dots, m, \dots, P$, где P соответствует общему количеству переходов в структуре обработки. Такое представление позволяет формализовать задачу синтеза операций и обеспечить математическое описание взаимосвязей между переходами.

Распределение переходов по операциям осуществляется таким образом, чтобы значение целевой функции принимало минимальное значение (таблица 1.1). В качестве целевой функции могут использоваться показатели трудоемкости, технологической

себестоимости или времени обработки. В частности, минимизация себестоимости выполнения операции может быть представлена условием $C_t \rightarrow \min$.

Таблица 1.1 - Распределение переходов по операциям

№ Обрабатываемой поверхности изделия						№ Обрабатываемой поверхности изделия					
$1_{\{1\}}$	$1_{\{1\}}$	$1_{\{1\}}$	$1_{\{1\}}$	$1_{\{1\}}$	$1_{\{1\}}$	$1_{\{1\}}$	2	$1_{\{1\}}$	2	$1_{\{1\}}$	2
11	11	11	11	11	11	11	12	11	12	11	12
21	21	21	21	21	21	21	22	21	22	21	22
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
k1	k1	k1	k1	k1	k1	k1	k2	k1	k2	k1	k2

Следовательно, задача формирования структуры операции сводится к поиску такого сочетания переходов и параметров оборудования, при котором обеспечивается наилучшее значение выбранного критерия эффективности.

В процессе проектирования анализ вариантов осуществляется последовательно. На каждом этапе оцениваются возможные комбинации переходов с учетом ограничений, связанных с точностью обработки, шероховатостью поверхности, производительностью оборудования и допустимыми режимами обработки. После формирования структуры операции для конкретной модели оборудования выполняется проверка возможности обеспечения требуемых параметров качества изделия. Если сформированный вариант удовлетворяет всем ограничениям, вычисляется значение целевой функции, после чего производится переход к следующему этапу анализа.

Расчет продолжается до тех пор, пока все переходы не будут распределены по операциям и не будет получено значение целевой функции для каждого допустимого варианта. Далее осуществляется сравнительный анализ результатов, позволяющий определить наиболее рациональное решение. Если в процессе сравнения выявляется вариант, превосходящий предыдущие решения по установленным критериям, дальнейший анализ менее эффективных комбинаций прекращается в соответствии с принципом доминирования вариантов.

При отсутствии улучшения целевой функции вычислительный процесс продолжается до получения оптимального решения. В этом случае последовательно анализируются новые варианты распределения переходов по операциям. Следует учитывать, что чрезмерное сокращение числа переходов в составе операции не всегда приводит к повышению эффективности обработки. Уменьшение количества переходов может сопровождаться

увеличением числа операций, ростом вспомогательного времени и повышением технологической себестоимости. По этой причине оценка вариантов выполняется комплексно, с учетом не только структуры маршрута, но и состава оборудования, условий базирования, количества установок и параметров обработки.

Существенным преимуществом рассматриваемой методики является возможность корректировки структуры операции уже на этапе проектирования. При изменении условий обработки или характеристик оборудования допускается уточнение состава переходов и перераспределение их между операциями без полного пересмотра технологического маршрута. Это обеспечивает гибкость автоматизированного проектирования и позволяет адаптировать структуру операции к условиям конкретного производства.

Общий алгоритм проектирования операционной технологии представляет собой последовательность взаимосвязанных этапов структурного и параметрического синтеза. В соответствии с характером решаемых задач процесс оптимального проектирования операций может быть разделен на несколько функционально связанных частей. На начальном этапе определяются размеры изделия, поступающего на операцию, припуски на обработку и допуски, характеризующие исходное состояние поверхности, то есть состояние C_{q-1} .

Последующие этапы связаны с выбором методов обработки, распределением переходов по операциям, назначением оборудования и определением режимов обработки, обеспечивающих достижение требуемых показателей качества и эффективности. На рисунке 1.24 приведен общий алгоритм проектирования операционной технологии.

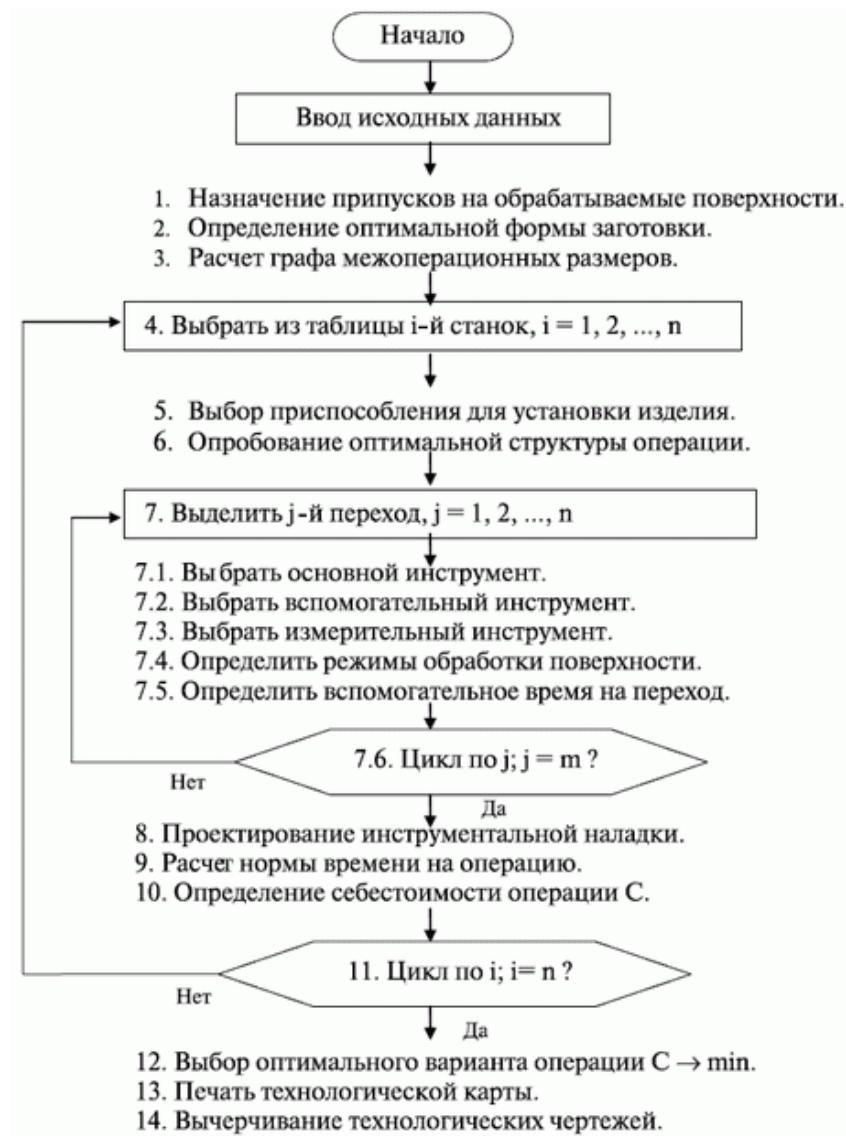


Рисунок 1.24 – Общий алгоритм проектирования операционной технологии

Вторая часть алгоритмов проектирования ориентирована на выбор элементов технологической системы, обеспечивающих реализацию обработки поверхности изделия. На данном этапе определяется состав оборудования, технологической оснастки, а также основного, вспомогательного и измерительного инструмента. Одновременно решается задача пространственной компоновки инструментальной наладки, включающая размещение режущих и измерительных средств относительно рабочих органов оборудования. Такая постановка задачи обусловлена необходимостью обеспечения не только технологической реализуемости операции, но и устойчивости процесса обработки, точности позиционирования инструмента и минимизации вспомогательных перемещений. В результате формируется структура технологической системы, соответствующая условиям конкретного производства и требованиям к качеству изделия.

Третья группа алгоритмов связана с синтезом временной структуры операции. В отличие от этапов, ориентированных преимущественно на выбор оборудования и состава переходов, здесь основное внимание уделяется уточнению последовательности выполнения технологических действий и определению характера их совмещения во времени. На этой стадии устанавливается порядок реализации переходов, анализируется возможность их параллельного либо последовательного выполнения, а также оценивается влияние выбранной структуры на длительность производственного цикла. Формирование временной структуры операции имеет принципиальное значение для многопозиционной и автоматизированной обработки, поскольку именно здесь определяется согласованность работы оборудования, инструментальных систем и транспортных механизмов.

Четвертая часть алгоритмов предназначена для определения параметров операции и ее технико-экономических характеристик. На данном этапе рассчитываются режимы обработки, нормы времени, производительность оборудования, показатели загрузки рабочих позиций и технологическая себестоимость. Полученные параметры позволяют оценить эффективность сформированной структуры операции и сопоставить различные варианты проектных решений по критериям производительности, точности и экономичности. Тем самым завершается цикл параметрического синтеза технологической операции.

Следует учитывать, что состав алгоритмов проектирования определяется сложностью и структурой конкретной операции. Для простых операций отдельные этапы синтеза могут отсутствовать. Например, в однопереходной операции отсутствует необходимость определения последовательности выполнения переходов, поскольку структура обработки уже является однозначной. Аналогично в ряде случаев не требуется формирование сложных инструментальных наладок или распределение переходов по позициям оборудования. Вследствие этого структура алгоритмов проектирования носит адаптивный характер и изменяется в зависимости от назначения операции, параметров оборудования и целей проектирования. Управляющий алгоритм системы обеспечивает включение либо исключение отдельных этапов синтеза, формируя рациональную последовательность проектных процедур применительно к конкретной задаче.

Результатом автоматизированного проектирования является индивидуальный технологический процесс, представленный в форме маршрутной карты. В ее составе содержатся сведения о последовательности выполнения операций и переходов, используемом оборудовании, технологической оснастке, режимах обработки и других параметрах, необходимых для организации изготовления радиоэлектронной аппаратуры. Таким образом, итогом проектирования становится формализованная информационная модель

производственного процесса, пригодная как для непосредственного использования в производстве, так и для последующей автоматизированной корректировки.

Рассмотренная структура автоматизированного проектирования технологических процессов включает три взаимосвязанных уровня: проектирование принципиальной схемы, построение технологического маршрута и разработку операционной технологии (рисунок 1.25). Переход между уровнями осуществляется последовательно, однако сам процесс проектирования носит итерационный характер. На каждом этапе выполняются уточнение, корректировка и накопление информации, что позволяет постепенно повышать качество проектных решений. Такая организация проектирования обеспечивает возможность адаптации структуры технологического процесса к изменяющимся условиям производства и требованиям к изделию.

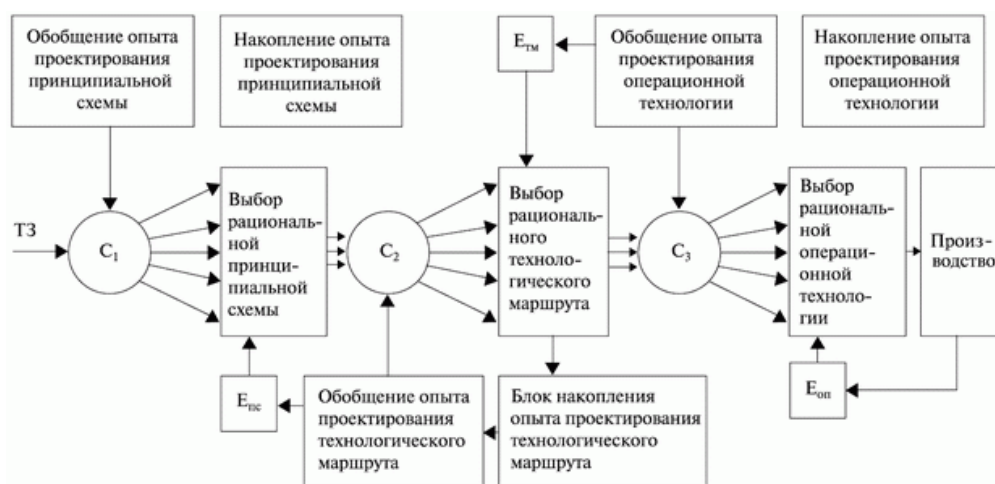


Рисунок 1.25 - Модель автоматизированной системы проектирования с накопителем и обобщением опыта проектирования на каждом уровне

Результаты, полученные на различных уровнях проектирования, используются для формирования типовых и групповых проектных решений, а также для создания технологических процессов-аналогов. Обобщение накопленного опыта позволяет выделять устойчивые проектные закономерности, совершенствовать эвристические критерии выбора решений и повышать эффективность алгоритмов синтеза, анализа и оптимизации. В отличие от традиционного проектирования, основанного на полном переборе вариантов, автоматизированная система использует накопленный опыт для целенаправленного формирования наиболее перспективных решений.

Процесс обобщения проектного опыта осуществляется в режиме человеко-машинного взаимодействия с оперативным отображением процессов-аналогов и промежуточных результатов проектирования. Такой подход обеспечивает возможность совместного участия

специалиста и вычислительной системы в формировании рациональных технологических решений. При этом накопленные сведения о ранее разработанных процессах преобразуются в типовые алгоритмы и проектные шаблоны, пригодные для повторного использования в сходных производственных условиях.

Важной особенностью рассматриваемой системы является наличие механизма обучения и самообучения. По мере накопления информации о результатах проектирования совершенствуются алгоритмы синтеза проектных решений и эвристические критерии промежуточного отбора вариантов. Благодаря этому система постепенно сокращает количество генерируемых решений и концентрирует вычислительные ресурсы на наиболее перспективных направлениях поиска. Вместо анализа полного множества возможных комбинаций выполняется целенаправленный синтез ограниченного числа рациональных вариантов, сформированных с учетом положительного опыта предыдущих разработок.

Улучшение эвристических критериев приводит к тому, что на каждой промежуточной стадии проектирования для дальнейшего анализа отбирается все меньшее количество вариантов, обладающих наибольшей вероятностью удовлетворения заданным требованиям. В результате существенно сокращаются затраты машинного времени и повышается качество принимаемых проектных решений. Таким образом, контур самообучения, основанный на использовании накопленного опыта проектирования, становится одним из ключевых элементов интеллектуализации автоматизированных систем технологической подготовки производства.

Следует отметить, что даже при целенаправленном синтезе наиболее перспективных решений сформированные варианты могут содержать отдельные недостатки, выявляемые в ходе анализа и оценки. Их устранение осуществляется алгоритмами оптимизации, обеспечивающими последовательное совершенствование структуры технологического процесса. Аналогичный принцип применяется и при автоматизированном проектировании технологических процессов-аналогов, где выбор проектных решений также основывается на последовательном уточнении и адаптации исходного варианта.

В результате проектирование приобретает форму итерационной модели, ключевой особенностью которой является последовательное улучшение первоначального решения до достижения требуемого уровня совершенства. Каждая итерация сопровождается уточнением параметров процесса, корректировкой структуры операций и обновлением критериев оценки эффективности. Такой подход обеспечивает гибкость автоматизированного проектирования и позволяет учитывать как накопленный производственный опыт, так и изменения условий функционирования технологической системы.

На основе анализа конструкторско-технологической документации в процессе разработки алгоритмов создается специализированный фонд информации, предназначенный для автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления элементов радиоэлектронных средств. Данный информационный фонд включает сведения о конструктивных параметрах изделий, типовых операциях, характеристиках оборудования, режимах обработки и результатах ранее выполненных проектных решений. Его использование обеспечивает повышение эффективности автоматизированного проектирования и создает основу для дальнейшего развития интеллектуальных систем технологической подготовки производства.

1.3. Анализ систем автоматизации в ТПП

CAPP (Computer-Aided Process Planning) - автоматизированная система технологической подготовки производства. Это программные продукты, помогающие автоматизировать процесс подготовки производства, а именно проектирование технологических процессов.

Система автоматизированного проектирования технологических процессов «Вертикаль» (рисунок 1.26) широко известна, и поэтому описывать все ее возможности нет никакого смысла, остановимся лишь на некоторых моментах.

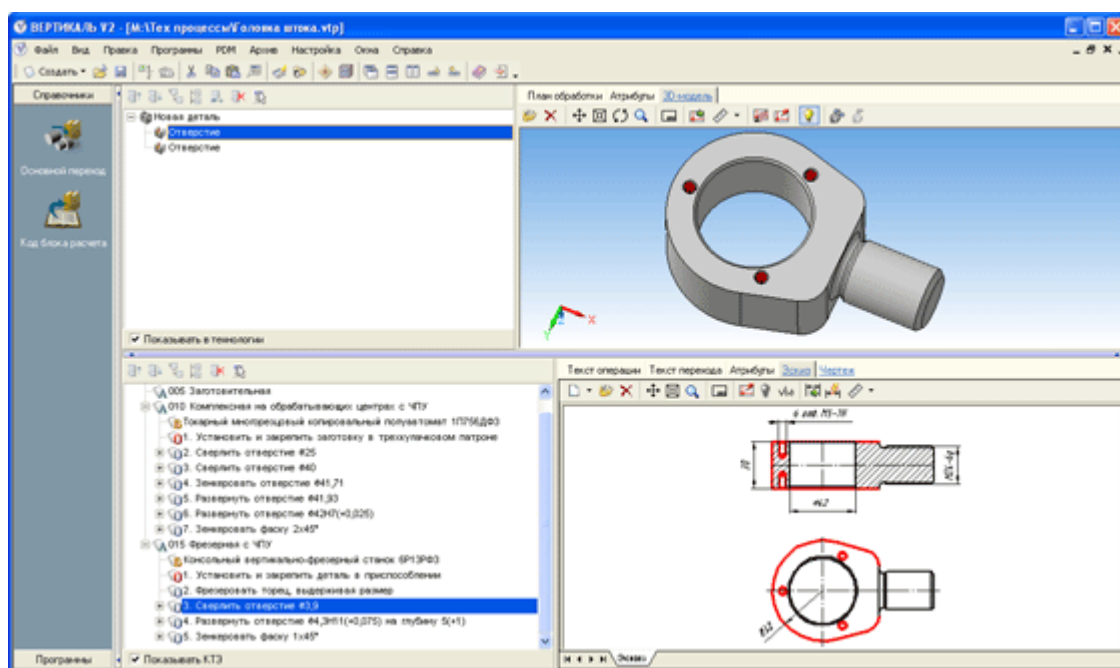


Рисунок 1.26 – Интерфейс система Вертикаль

Интерфейс системы выглядит очень солидно и намного веселее многих своих конкурентов. В основе системы лежит дерево конструктивно-технологических элементов (КТЭ) детали и дерево самого технологического процесса. В рабочем пространстве также присутствуют окна для вывода 3D-модели и 2D-чертежа детали, что дает ряд преимуществ для технолога. Например, при наложении связей между переходами технологического процесса и поверхностями 3D-модели, 2D-чертежа детали можно с легкостью осуществлять навигацию по техпроцессу, то есть если встать курсором на любой переход, то на модели и чертеже подсветятся те поверхности, к которым он относится (наложение связей делается вручную).

Использование конструктивно-технологических элементов (КТЭ) детали вариативно, для нескольких элементов она уже наработана, остальные можно набирать самостоятельно, для этого потребуются знания Visual Basic. После задания параметров КТЭ и нажатия кнопки «Получить план обработки» система предложит несколько вариантов его обработки, после выбора подходящего плана, он активизируется в специальном окне. Для каждого перехода может быть автоматически подобран режущий, вспомогательный и измерительный инструменты, все зависит от заложенной логики проектирования плана обработки (рисунок 1.27).

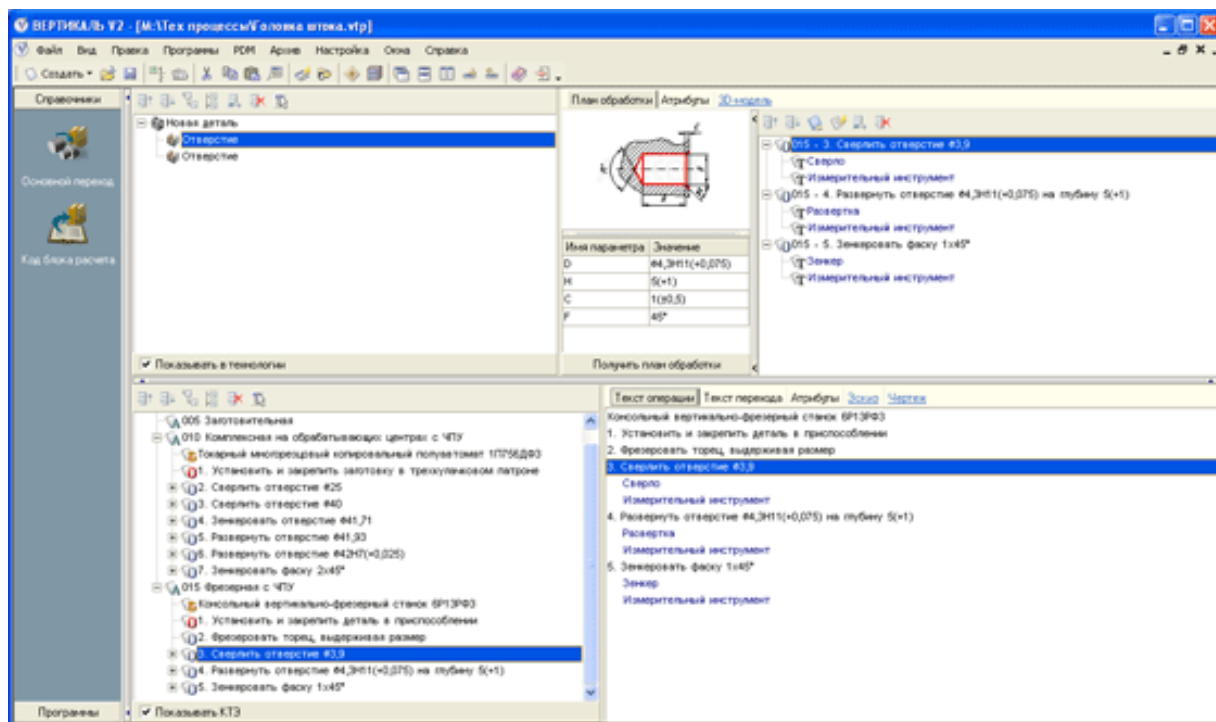


Рисунок 1.27 – Интерфейс система Вертикаль. Использование конструктивно-технологических элементов

Далее созданный фрагмент технологического процесса можно легко перенести непосредственно в дерево технологического процесса. Переносы любых элементов технологического процесса (переходы, инструменты и т.д.) делаются очень просто drag and drop – путем перетаскивания мышью.

Теперь, когда вставляем курсором на любой переход в дереве техпроцесса, то в дереве КТЭ будет показан элемент, к которому он относится с указанием всех параметров элемента, а на 3D-модели будут подсвечены обрабатываемые поверхности. Таким образом на экране мы увидим не только все данные об элементе, но и его расположение на детали. Причем стоит отметить, что связь двусторонняя - если выбрать поверхность на 3D-модели, то будет отображен КТЭ и указан технологический переход в дереве техпроцесса.

КТЭ содержат в себе конструкторскую и технологическую информацию об элементах, из которых состоит деталь. Проектирование технологического процесса на основе КТЭ осуществляет автоматический переход от геометрии детали к технологии ее изготовления. Имеется механизм автоподбора инструментов и оснастки путем фильтрации данных Универсального технологического справочника (рисунок 1.28).

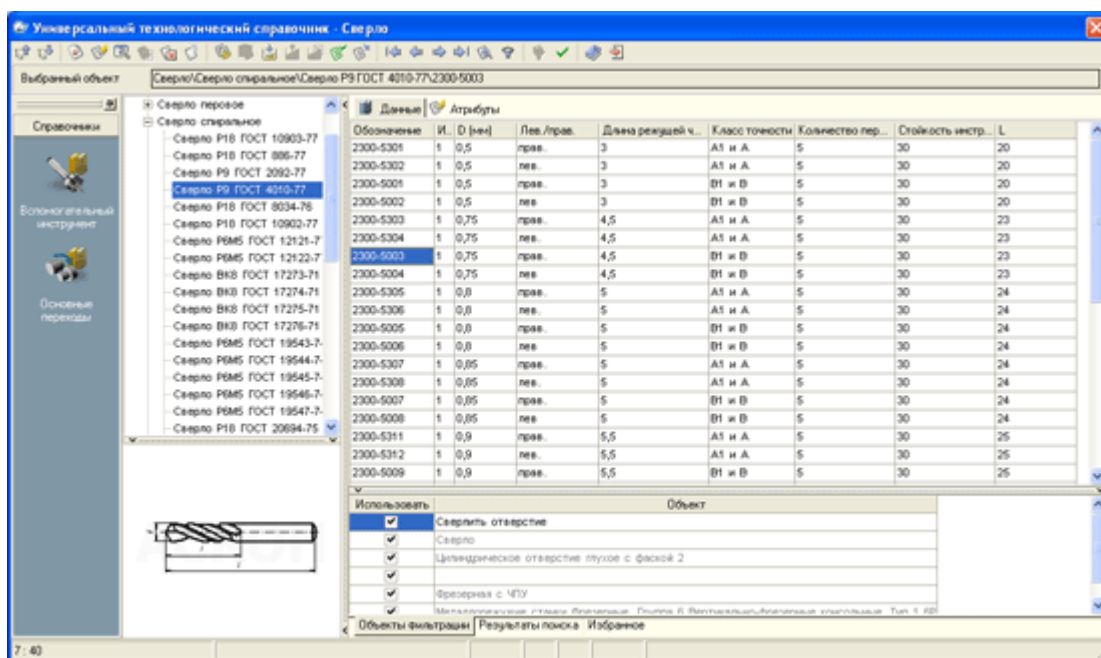


Рисунок 1.28 – Интерфейс система Вертикаль. Механизм автоподбора инструментов и оснастки

Существует возможность многокритериального поиска нужного элемента технологического процесса (рисунок 1.29), можно создать любые условия поиска, а также сохранять их, и при следующем поиске не нужно будет создавать критерии вновь. По сути, таким образом реализован автоподбор элементов техпроцесса.

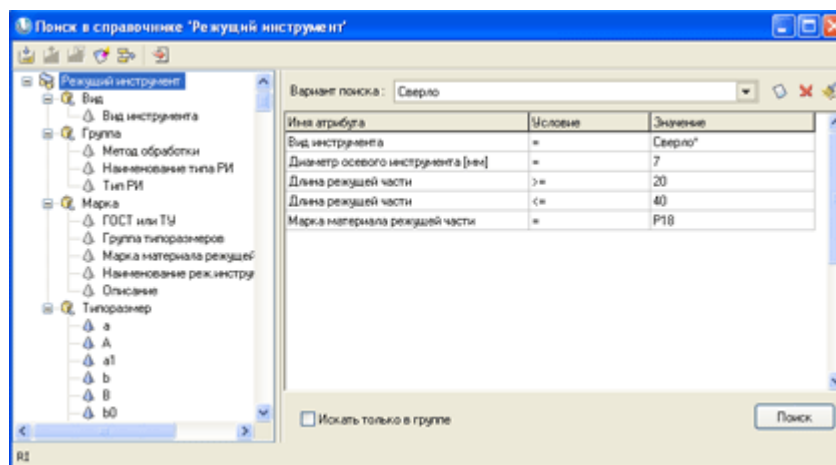


Рисунок 1.29 – Интерфейс система Вертикаль; многокритериальный поиск

Для создания эскизов можно использовать любые CAD-системы, различные картинки, или путем выделения нужного участка на экране (картинка прямо с экрана). Прикрепление их к технологическому процессу осуществляется через OLE-технологию.

Максимальный эффект от системы Вертикаль будет получен при использовании CAD-системы «Компас-3D» компании «АСКОН». То есть считывание данных с модели или чертежа детали и вставка их в технологический процесс автоматически будет производиться только при использовании документов «Компас-3D».

Реализован механизм коллективной работы над проектированием технологического процесса. Технолог механической обработки детали может отправить задание на проектирование, например, сварочной операции технологу по сварке, тот в свою очередь после ее проектирования возвращает в техпроцесс. Все это может быть реализовано через начальников подразделений, которые будут назначать исполнителей с постановкой сроков и приоритетов проектирования.

При проектировании технологического процесса технолог может просмотреть как отражается его информация на бланке в специальном окне «предпросмотр карт».

Формирование карт реализовано через приложение Вертикаль-отчеты (рисунок 1.30). Данное приложение может быть использовано без системы Вертикаль, и не требует лицензии на ее использование. Сохранить комплект документации можно в различных форматах (*.pdf, *.xls, *.tif, *.emf).

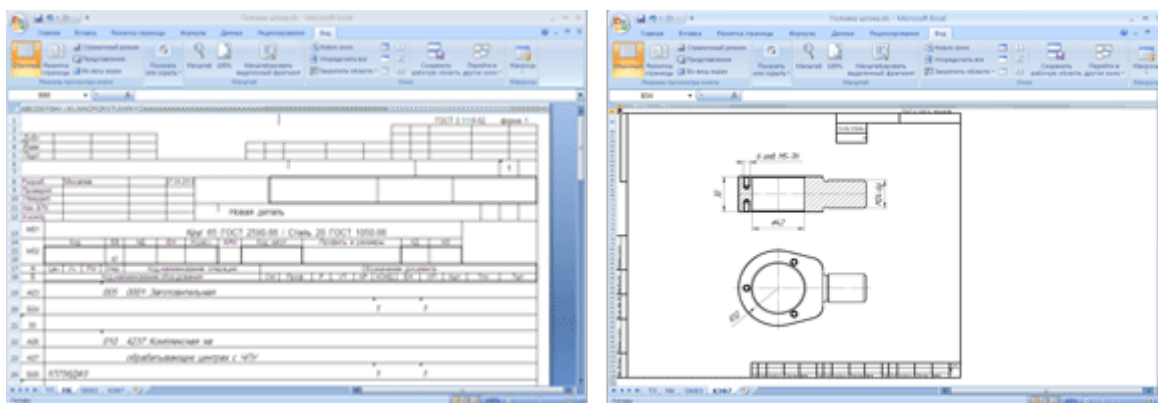


Рисунок 1.30 – Интерфейс система Вертикаль. Вертикаль-отчеты.

Может работать в составе любой PDM-системы, но рекомендуется система «ЛОЦМАН» компании «АСКОН».

Имеет много полезных модулей:

- Корпоративный справочник Материалы и Сортаменты
- Корпоративный справочник Стандартные изделия
- Справочник Единицы измерения
- Система трудового нормирования
- Система нормирования материалов
- Система расчета режимов резания
- Многие другие модули

Что еще полезного в системе Вертикаль:

Легкое создание типовых технологических процессов. Копирование оснастки, переходов, операций и т.д. осуществляется на подобие копирования файлов в Total Commander. Слева находится один техпроцесс, справа новый.

Хорошо реализован механизм изменения техпроцесса. После того как техпроцесс будет согласован и сдан в архив, изменить его можно будет только путем выпуска извещения. До этого техпроцесс не будет доступен для его корректировки.

Блокнот технолога. В него можно поместить частоиспользуемые элементы технологического процесса (оснастка, переходы, операции и т.д.), чтобы не искать их в базе данных и не создавать вновь, когда они потребуются при новом проектировании.

Простановка маркеров размеров на технологическом эскизе осуществляется автоматически, также возможно импортировать их в технологические переходы.

Поддержка данных для операций на оборудовании с ЧПУ (создание инструментальных сборок для использования их в САМ-системах; редактор управляющих программ и т.д.)

Модуль для расчета операционных припусков.

Реализован механизм выдачи заказов на разработку специального технологического оснащения.

Система Timeline достаточно новая, однако за ее новизной стоят огромный опыт разработчиков, создавших не одну систему для автоматизации технологической подготовки производства, а также некоторый инновационный подход, создающий основные преимущества данной системы.

Главным назначением системы Timeline является проектирование технологических процессов, ориентированных на различные виды производств, и соответственно формирование комплекта технологической документации в формате PDF в соответствии с ЕСТД. На рисунке 1.31 приведено изображение «Интерфейс система Вертикаль. Стартовая страница Timeline».

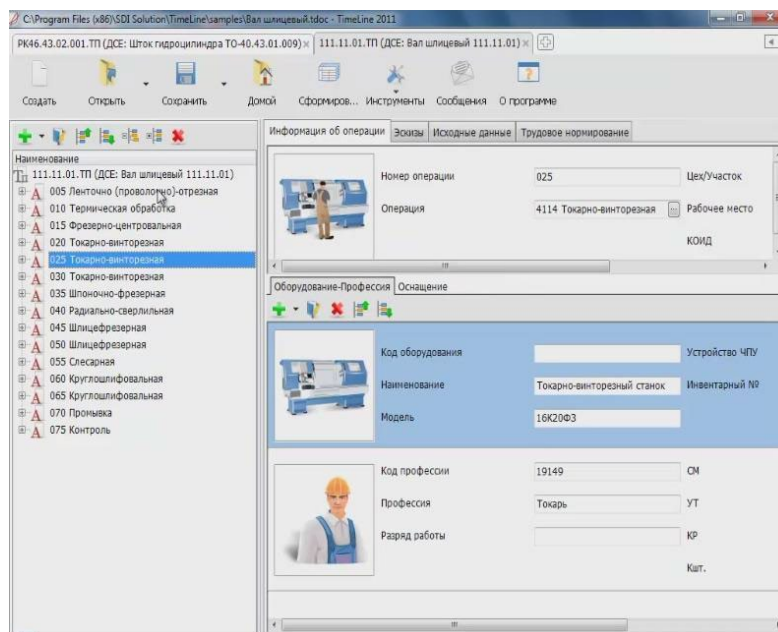


Рисунок 1.31 – Интерфейс система Вертикаль. Стартовая страница Timeline.

Стартовая страница Timeline является рабочим столом технолога. Она позволяет оперативно открывать ранее созданные технологии, которые отображаются в виде графических миниатюр чертежа или 3D-моделей. Подобные решения сделали интерфейс системы простым и интуитивно понятным.

Как сообщают разработчики, основной идеей является перенос логики взаимосвязи технологических объектов из модели ТП в семантическую модель справочных данных. Это

позволяет, с одной стороны, упростить настройку и конфигурирование объектной модели технологии, с другой, расширяет возможности системы управления НСИ за счет консолидации знаний о поведении и взаимодействии технологических объектов.

Система интегрирована в технологический комплекс CAD/CAM/CAPP/PDM на базе известных продуктов - AutoCAD, Inventor и PDM Vault Professional. Связующим звеном данного комплекса является корпоративная система управления нормативно-справочной информацией Semantic. Ее задача обеспечивать централизованное хранение и предоставление справочной информации в стандартизированном виде всем компонентам нового технологического комплекса. Semantic - это первая система класса Master Data Management, адаптированная к условиям отечественного машиностроения и интегрированная с продуктами компании Autodesk.

Под брендом T-Flex представлено целое семейство автоматизированных систем Российской компании «Топ Системы», в число которых входит и система для технологической подготовки производства «T-Flex Технология» (рисунок 1.32).

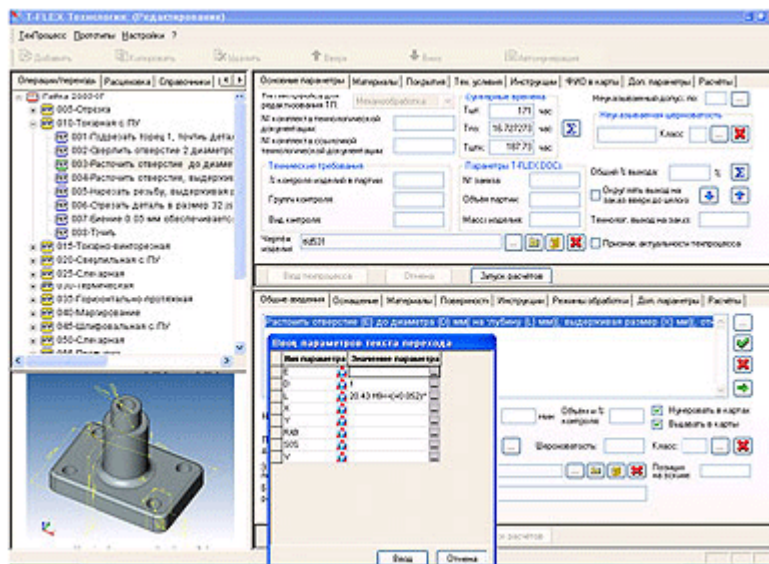


Рисунок 1.32 – Интерфейс система Вертикаль. T-Flex Технология.

Система обладает довольно серьезными функциональными возможностями. Позволяет разрабатывать технологические процессы различных видов производств (обработка резанием, испытания, сварка, покрытие и т.д.). Проектирование осуществляется различными методами (диалоговое, на основе техпроцесса, заимствование решений из других технологий, автоматическое). Поддерживается режим сквозного параллельного проектирования технологических процессов. При формировании текстов переходов технолог

имеет возможность считывать сведения о размерах, допусках, шероховатостях и другие параметры с электронной модели T-FLEX CAD.

Система имеет удобный многостраничный интерфейс, позволяющий технологу оперировать с большим количеством информации в пределах одного окна. В специальном окне можно вывести трехмерную модель детали или операционный эскиз. Технологический процесс, операционный маршрут представлены в виде дерева. Проработан механизм подписи операций ответственными сотрудниками.

Вся информация, необходимая для проектирования технологических процессов структурирована и хранится в справочниках T-Flex Технология. Реализована и система расширенного подбора необходимой информации, настроен механизм связи элементов справочников, задающий правило вывода информации.

Система позволяет расширение своих возможностей путем создания и использования собственных диалогов, создаваемых при помощи редактора макросов, таким образом, возможно создание целых мини-САПР.

Вся технологическая документация формируется в соответствии с ЕСТД, также возможно создание собственных шаблонов технической документации под различные запросы предприятия. Доступна генерация различных ведомостей и отчетов.

Система обладает значительной степенью автоматизации, в ней реализована возможность автоматического проектирования ТП путем использования библиотеки технологических решений, которая автоматически добавляет операции, переходы и другие элементы маршрута. Расчетно-логический модуль системы самостоятельно принимает большое количество решений на основании характеристик конструктивно-технологических элементов (КТЭ) детали и также других параметров. Данные элементы связаны с чертежом или моделью изделия.

САПР ТП TechCard, разработанная компанией НПП «Интермех», представляет собой интегрированную систему автоматизированного проектирования технологических процессов, получившую широкое распространение на промышленных предприятиях России и стран СНГ (рисунок 1.33).

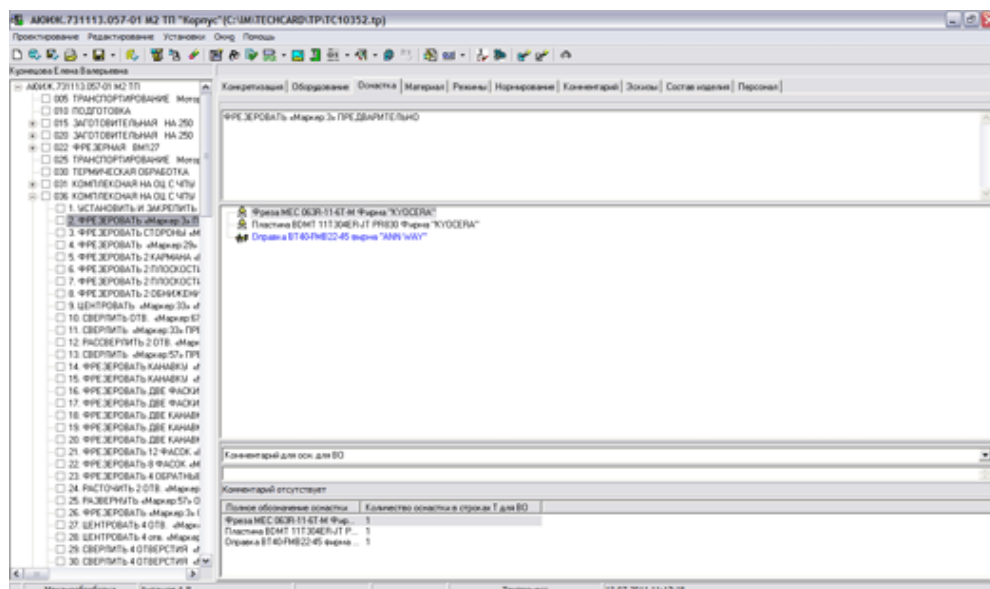


Рисунок 1.33 – Интерфейс САПР ТП TechCard.

Архитектура комплекса ориентирована на поддержку полного цикла технологической подготовки производства и обеспечивает взаимосвязь между конструкторской, технологической и нормативно-справочной информацией. Существенным преимуществом системы является интуитивно организованный интерфейс, в котором структура технологического процесса отображается в форме иерархического дерева операций и переходов, что обеспечивает удобство навигации и повышает наглядность проектирования.

Функционирование TechCard осуществляется в тесной интеграции с системой SEARCH, предназначенной для ведения архива конструкторской и технологической документации, а также управления данными об изделиях. Использование данного модуля позволяет централизованно организовать хранение информации и обеспечить оперативный доступ к документам различного типа. В процессе работы реализуется механизм быстрого поиска и визуального контроля состояния документации, благодаря чему пользователь может определить стадию разработки документа, наличие редактирования со стороны конкретного специалиста и текущее состояние согласования. Дополнительно система обеспечивает автоматизированное формирование выборок и отчетной документации, что существенно сокращает временные затраты на сопровождение производственных данных (рисунок 1.34).

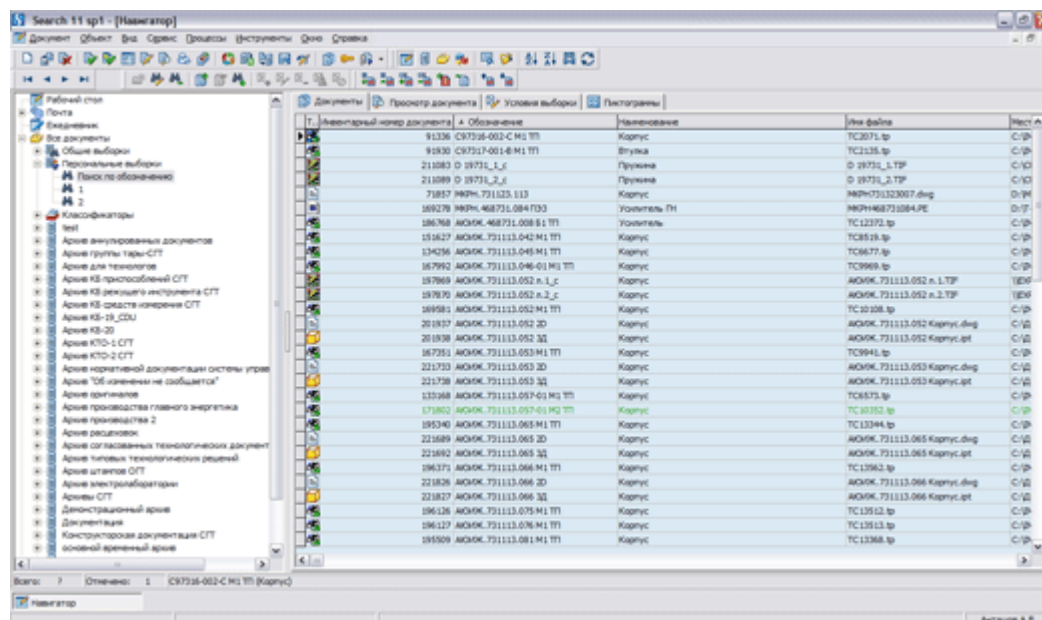


Рисунок 1.34 – Интерфейс САПР ТП TechCard. Система SEARCH.

Информационная поддержка проектирования технологических процессов реализована посредством модуля IMBASE, представляющего собой расширенную справочно-информационную базу данных. В структуре базы содержатся сведения о материалах, оборудовании, инструментах, оснастке, нормативных параметрах и типовых технологических переходах. Значительная глубина описания объектов позволяет задавать детализированные характеристики режущего и вспомогательного инструмента, технологической оснастки и заготовок, а наличие графических иллюстраций обеспечивает дополнительную наглядность при выборе технологических средств. В состав базы также входят нормативы времени, параметры режимов резания, паспортные данные оборудования и специализированные технологические таблицы, используемые при расчетах и нормировании операций (рисунок 1.35).

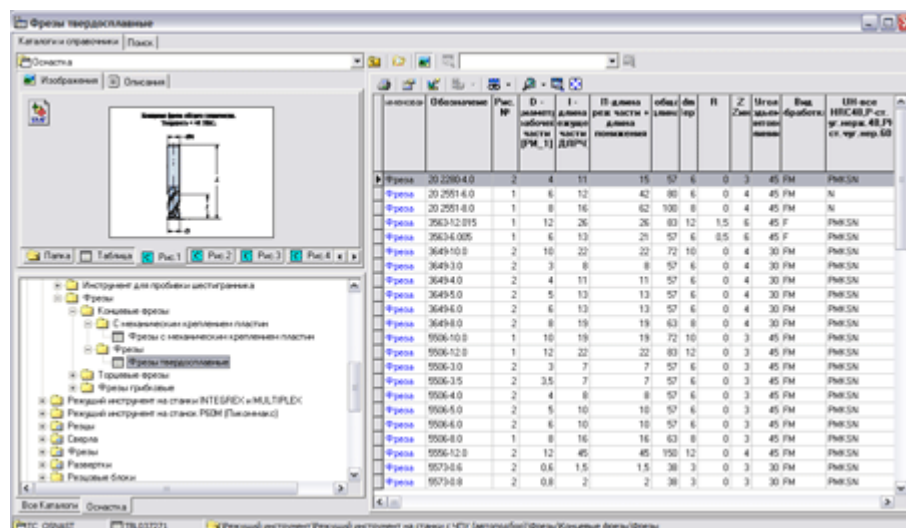


Рисунок 1.35 – Интерфейс САПР ТП TechCard. Модуль IMBASE.

Графическая составляющая технологической подготовки производства реализуется посредством системы CADMECH-T, функционирующей в среде AutoCAD и предназначенной для автоматизированного создания операционных эскизов и других графических материалов, включаемых в технологическую документацию. При этом система поддерживает интеграцию с рядом распространенных CAD/CAM-платформ, включая SolidWorks, Autodesk Inventor, Solid Edge и PTC Creo. После формирования технологического эскиза он автоматически связывается с соответствующей операцией технологического процесса и становится доступным для последующего формирования документации, что обеспечивает целостность представления информации и упрощает контроль полноты графического сопровождения операций. Система также позволяет использовать альтернативные способы формирования иллюстративных материалов, включая подключение графических файлов внешних форматов, однако интеграция CADMECH-T обеспечивает наиболее высокий уровень автоматизации и согласованности данных.

Важной особенностью TechCard является поддержка многовариантного экспорта технологической документации. Сформированные технологические процессы могут сохраняться как во внутреннем формате системы, так и в универсальных форматах обмена данными, включая таблицы Excel и метафайлы. Дополнительное удобство обеспечивает наличие свободно распространяемого средства просмотра технологических процессов, не требующего приобретения лицензии, что упрощает обмен документацией между подразделениями предприятия.

Система содержит встроенную подсистему инженерных расчетов, ориентированную на автоматизацию вычислений технологических параметров. Пользователь получает возможность формировать собственные сценарии расчетов на основе встроенной экспертной

системы, технологических таблиц, формул и базы знаний. Такой подход обеспечивает адаптацию системы к особенностям конкретного производства и позволяет автоматизировать расчеты режимов обработки, норм времени и других параметров технологического процесса. При проектировании технолог может использовать данные непосредственно из чертежа детали, что повышает точность проектирования и сокращает вероятность возникновения ошибок при переносе информации (рисунок 1.36).

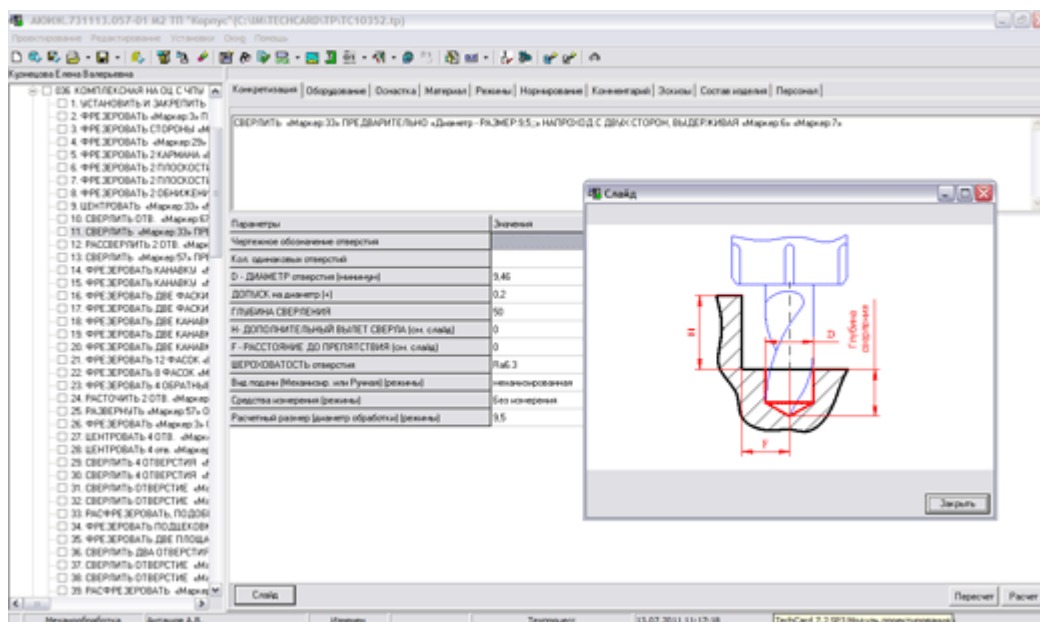


Рисунок 1.36 – Иллюстрация встроенных в систему инженерных расчетов TechCard

Система содержит встроенную подсистему инженерных расчетов, ориентированную на автоматизацию вычислений технологических параметров. Пользователь получает возможность формировать собственные сценарии расчетов на основе встроенной экспертной системы, технологических таблиц, формул и базы знаний. Такой подход обеспечивает адаптацию системы к особенностям конкретного производства и позволяет автоматизировать расчеты режимов обработки, норм времени и других параметров технологического процесса. При проектировании технолог может использовать данные непосредственно из чертежа детали, что повышает точность проектирования и сокращает вероятность возникновения ошибок при переносе информации.

Более высокий уровень автоматизации проектирования в системе TechCard достигается за счет применения универсальных конструкторско-технологических элементов (УКТЭ), представляющих собой типизированные элементы конструкции, такие как отверстия, пазы, канавки и другие повторяющиеся геометрические объекты. Информация о подобных элементах хранится в базе данных IMBASE, где для каждого объекта задаются геометрические параметры, технологические характеристики и связанные типовые решения

обработки. На этапе разработки конструкторской документации данные элементы используются конструкторами при формировании чертежей в системах CADMECH или PARAMECH, что обеспечивает унификацию проектных решений и формирование единого информационного пространства между конструкторской и технологической подготовкой производства.

При последующем проектировании технологического процесса система предоставляет возможность автоматического считывания параметров УКТЭ непосредственно из чертежной документации. На основании распознанных характеристик система способна применять заранее подготовленные типовые технологические процессы обработки соответствующих элементов. Такой подход обеспечивает автоматизированное формирование технологических переходов и существенно сокращает трудоемкость разработки технологической документации. Одновременно реализуется механизм накопления и повторного использования технологических знаний предприятия, благодаря чему в базе данных постепенно аккумулируются наиболее эффективные решения, отражающие практический опыт специалистов и особенности конкретного производства.

Важным элементом организации коллективной работы является реализованный в TechCard механизм согласования технологических операций. Каждая операция может быть утверждена ответственным специалистом посредством электронной подписи в рамках его должностных полномочий. При внесении изменений в содержание операции ранее установленное подтверждение автоматически аннулируется, что обеспечивает актуальность процедуры согласования и повышает достоверность технологической документации. Такой механизм позволяет организовать контроль изменений и поддерживать требуемый уровень дисциплины при совместной разработке технологических процессов.

С выходом версии V7 система получила возможность подключения внешних программных модулей, что значительно расширило потенциал адаптации комплекса под требования конкретного предприятия. Благодаря открытой архитектуре в структуру технологического процесса стало возможно автоматически интегрировать специализированную информацию, отсутствующую в стандартных CAPP-системах, но необходимую для решения отраслевых или производственно-специфических задач. Подобный подход обеспечивает гибкость внедрения и позволяет использовать TechCard как платформу для формирования индивидуализированной цифровой среды технологической подготовки производства.

Разработчики компании НПП «Интермех» ориентируют развитие программного комплекса на интеграцию с ERP-системами и другими средствами управления производственными ресурсами предприятия. В результате создается единое информационное

пространство, обеспечивающее взаимосвязь между этапами проектирования, технологической подготовки, планирования и управления производством. Подобная интеграция способствует повышению согласованности данных, сокращению дублирования информации и ускорению процессов принятия производственных решений.

Дополнительное расширение функциональности комплекса обеспечивается использованием специализированных автоматизированных рабочих мест, взаимодействующих с системой SEARCH. Такие АРМ предназначены для автоматизации отдельных направлений деятельности предприятия, включая разработку расцеховочных маршрутов, выполнение материального и трудового нормирования, а также сопровождение переводов технологической документации. Использование специализированных рабочих мест позволяет распределить функции между различными категориями специалистов и повысить эффективность выполнения профильных задач.

Несмотря на широкий набор функциональных возможностей, система TechCard имеет ряд ограничений, связанных прежде всего с недостаточной интеграцией трехмерного моделирования в процесс технологической подготовки производства. В системе отсутствует полнофункциональное окно визуализации 3D-модели детали, что существенно ограничивает использование геометрических данных изделия при проектировании технологических процессов. Следствием данного ограничения является невозможность полноценного автоматического формирования технологических переходов на основе параметров, считываемых непосредственно с трехмерной модели или чертежа детали, а также отсутствие средств навигации по технологическому процессу посредством взаимодействия с элементами модели.

Разработка технологических эскизов в значительной степени сохраняет признаки традиционного ручного проектирования, поскольку формирование графических материалов в CADMECH, функционирующем на платформе AutoCAD, требует существенного участия пользователя. Частичное решение данной проблемы достигается за счет использования модулей CADMECH для SolidWorks, Autodesk Inventor, Solid Edge и PTC Creo, позволяющих формировать эскизы на основе трехмерной модели изделия. Однако уровень автоматизации графической подготовки все еще уступает современным PLM- и CAD/CAPP-интегрированным решениям, ориентированным на ассоциативную связь между моделью изделия и технологическим процессом.

В целом TechCard представляет собой комплексную интегрированную систему, ориентированную на формирование единой информационной среды технологической подготовки производства. Наличие развитых средств управления документацией, нормативно-справочной информации, механизмов автоматизации проектирования и

интеграции с корпоративными системами управления обеспечивает возможность эффективного применения комплекса на предприятиях различных отраслей промышленности. Одновременно существующие ограничения в области работы с трехмерными моделями определяют направления дальнейшего развития системы в условиях перехода промышленности к концепциям цифрового производства и сквозной интеграции инженерных данных. TechnologiCS – это единая система, предназначенная для автоматизации работы конструкторских, технологических, плановых и производственных служб на промышленном предприятии, и обеспечивающая информационную поддержку жизненного цикла изделия на стадиях технической подготовки и производства.

Система создает единое информационное пространство, в котором над одним и тем же проектом могут одновременно работать несколько специалистов, формируя свою часть проекта (технологического процесса).

Система предоставляет централизованное хранение и управление электронной документацией, а также комплексное проектирование технологических процессов с выпуском технологической документации.

Принцип организации системы: к заложенной конструкторами структуре изделия создается описание технологии изготовления всех узлов и деталей, а также описание ресурсов, необходимых для их производства. На основе этих данных плановые и производственные службы также с помощью TechnologiCS решают свои задачи – определение трудоемкости изготовления изделия, потребности в ресурсах, планирование производства и т.д.

Система обладает удобным интерфейсом, который может быть настроен самим пользователем, он может сам настроить состав выводимой на экран информации и форму ее представления.

Технологические эскизы можно создавать не только для операции, но и для технологических переходов, такая возможность очень важна для разработки сборочных и объемных технологических процессов с большим количеством эскизов. Из режима проектирования технологических процессов можно открыть из архива связанный чертеж и выполнить эскизы на его основе.

Система имеет гибкий инструмент расчетов, имеется возможность настройки алгоритмов расчетов при проектировании технологических процессов. Для использования данного механизма не нужно изучение специального языка, а может быть настроено пользователем самостоятельно.

Рассмотрим систему ADEM. Это интегрированная CAD/CAM/CAPP-система Российской разработки, служит для автоматизации рабочих мест конструкторов, технологов, программистов управляющих программ (рисунок 1.37).

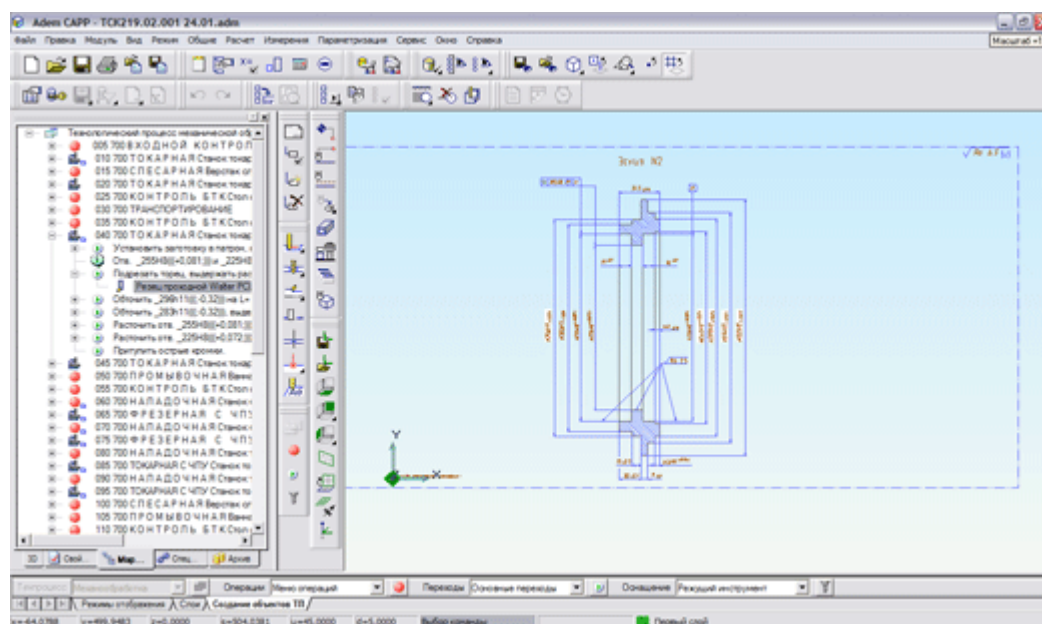


Рисунок 1.37 – Система ADEM

Тесная интеграция с CAD-системой позволяет технологам разрабатывать эскизы и технологические процессы в единой среде. Но стоит отметить, что CAD-модуль уступает многим другим современным CAD-системам.

3D-модель и чертеж детали могут быть использованы при проектировании технологических процессов. С Чертежа и 3D-модели считывается определенная информация, используемая для расчетов и описания технологических переходов. Ассоциативная связь между геометрией и технологической информацией позволяет автоматически корректировать технологический процесс при изменении геометрии детали.

CAPP-модуль представляет иерархическое дерево операций и переходов, заполнение которого через контекстное меню весьма неудобно – оно очень «развернутое», наличие специальной панели вполне решает проблему добавления и редактирования операций, переходов, оснастки. Заполнение любых элементов технологического процесса также возможно через базу данных, которую можно легко пополнять новыми частоиспользуемыми элементами. База данных инструментов может заполняться пользователем прямо в среде системы.

Автоматизированы различные расчеты: массы заготовки, нормы расхода материала, режимы резания, режимы сварки, нормы времени и т.д.

В системе реализовано автоматизированное проектирование технологии обработки отверстий путем специального сервиса-функционала. При задании параметров отверстия сервис-функционал самостоятельно сгенерирует маршрут его обработки, назначит режущие, измерительные инструменты, назначит диаметральные размеры, а также режимы обработки. Причем предложит на выбор несколько вариантов маршрута обработки, пользователю необходимо выбрать из них наиболее лучший самостоятельно. Выбранный маршрут передается в технологический процесс в виде последовательности переходов (рисунок 1.38).

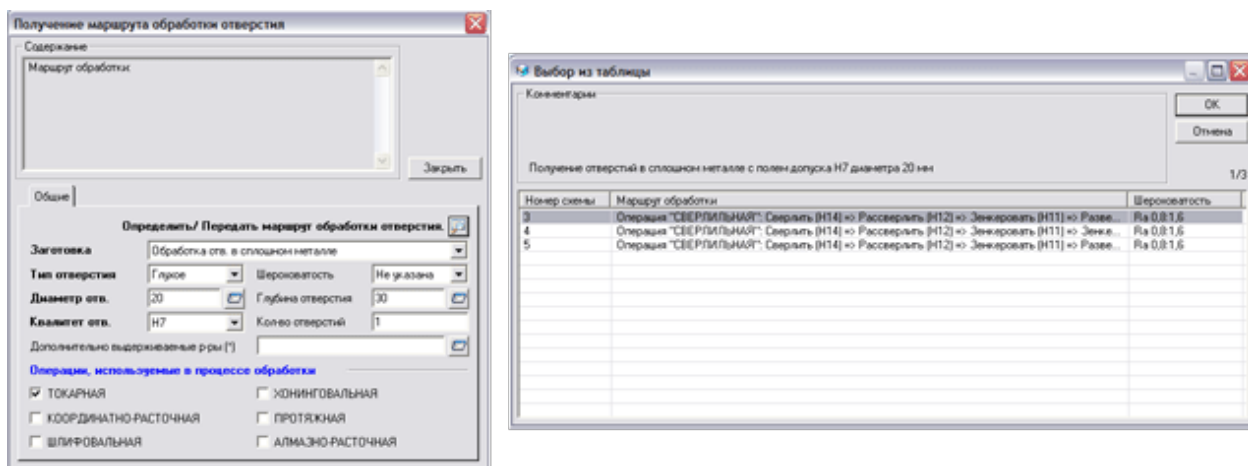


Рисунок 1.38 – Система ADEM. Автоматизированное проектирование технологии.

Сервис-функционал обучаем, можно задавать свои алгоритмы обработки. В системе реализовано проектирование обработки отверстий простых форм, но и эта возможность вполне ускоряет процесс разработки технологических процессов.

В данной системе над одним и тем же технологическим процессом можно одновременно работать разным специалистам путем распараллеливания работ.

Технологическую документацию можно сгенерировать для предварительного просмотра и сохранить в различных форматах (.adm, .dwg, .dxf, .bmp, .jpg и др.), а также вывести на печать в файл в формате (.emf) или непосредственно на бумагу (рисунок 1.39, 1.40).

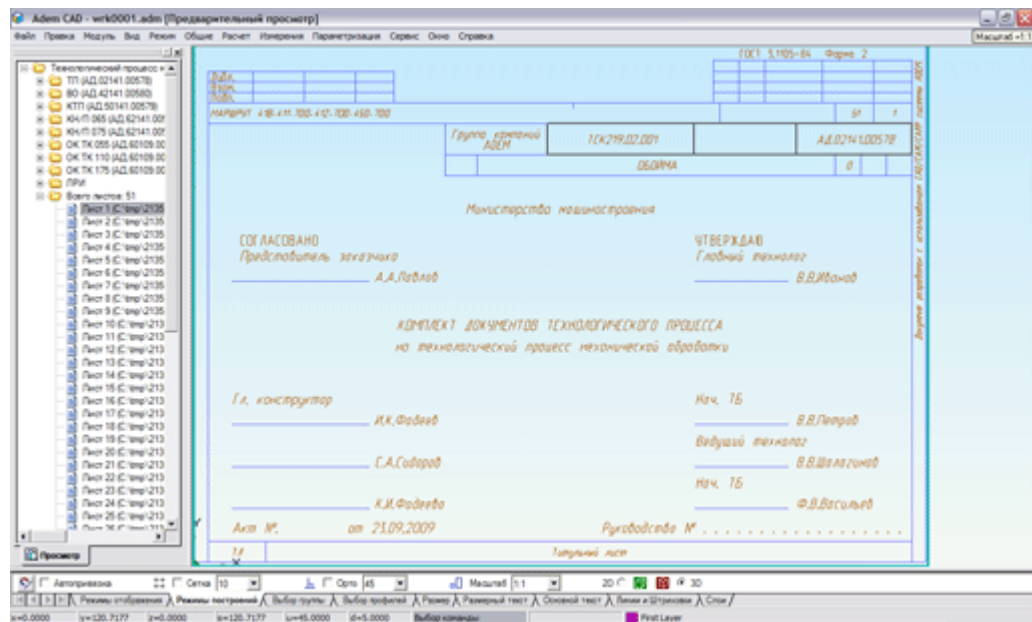


Рисунок 1.39 – Система ADEM. Функциональная обучаемость сисетмы.

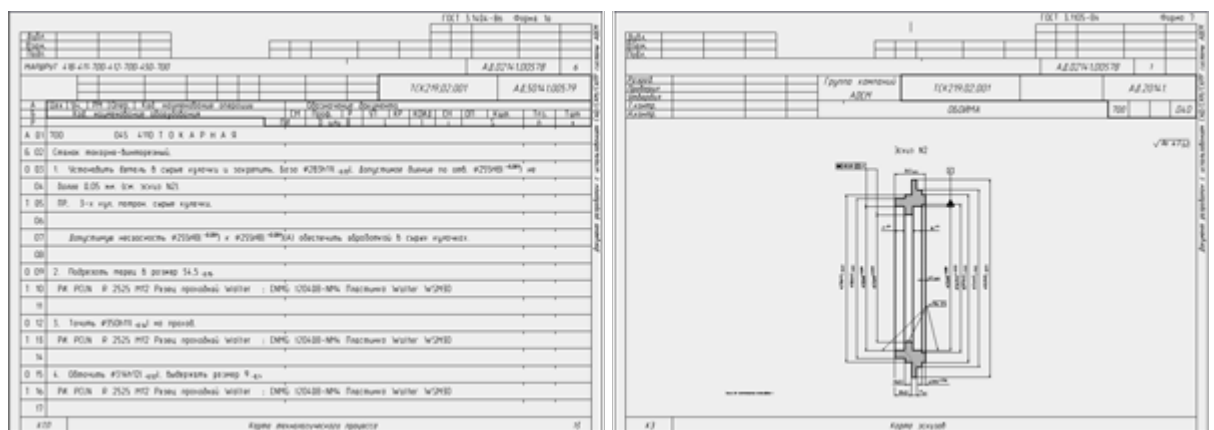


Рисунок 1.40 – Система ADEM, форма маршрутной карты.

Несмотря на то, что системе немного не хватает эргономичности, все же система достаточно адекватна и может быть успешно использована для оформления технологических процессов.

Рассмотрим систему TechnoPro (рисунок 1.41, 1.42). Более легкая и простая САРР-система Российской разработки (корпорация «Вектор-Альянс») для автоматизации технологических процессов. В основе интерфейса лежит иерархическое дерево технологических операций и переходов.

потребуется изменение эскиза, то необходимо исправлять как файл чертежа, так и файл картинки, к тому же надо постоянно хранить все эти файлы. Распечатка документов с подобными эскизами на бумаге выглядит не очень качественно, эскизы зачастую расплывчаты, жирные линии могут выглядеть обычными и т.д.

Формирование технологической документации осуществляется в виде документов MS Office (Excel, Word). В итоге получаются файлы Excel или Word, в которых можно внести исправления вручную (рисунок 1.43).

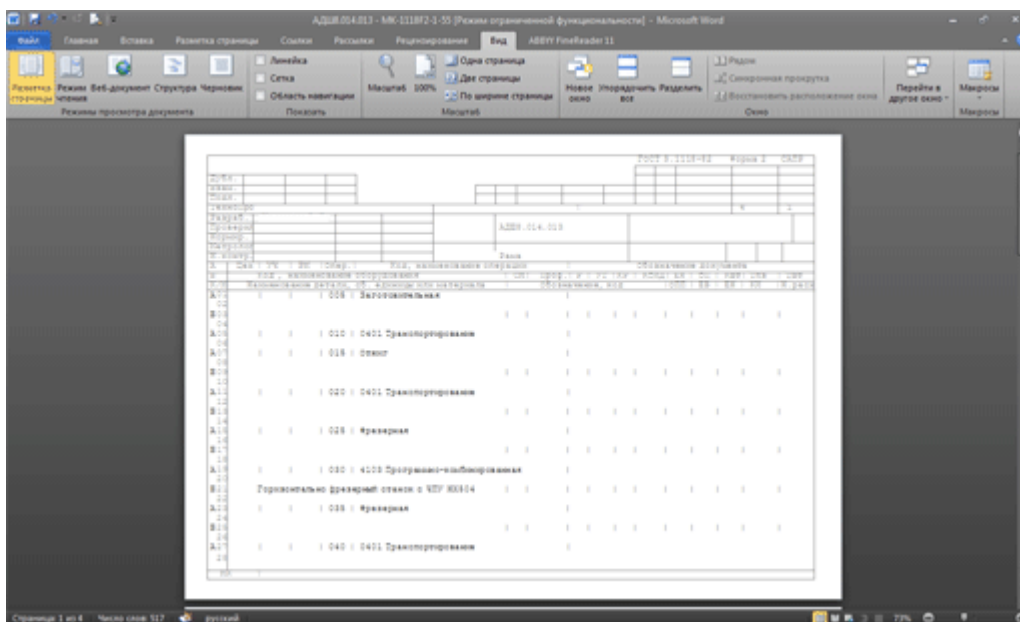


Рисунок 1.43 – Система TechnoPro. Формирование технологической документации.

В системе заложена возможность ее обучения и самообучения на примерах технологии конкретного производства.

При автоматизированном проектировании ТехноПро позволяет технологу один раз внести правила выбора того или иного маршрута, операции, перехода, инструмента или другого составляющего технологического процесса и далее использовать их автоматически.

Судя по описанию разработчиков, система способна автоматически генерировать технологические операции и переходы непосредственно с 3D-модели или 2D-чертежа детали, созданных в разных CAD/CAM-системах. Имеется прямая связь конструкторской САПР с ТехноПро. ТехноПро считывает данные с 3D-модели или 2D-чертежа и использует их для проектирования технологического процесса, причем реализован параметрический подход, при изменении модели или чертежа детали ТехноПро изменяет технологический процесс (операции, переходы, оснащение, режимы, нормы и т.д.).

Система ТехноПро комплектуется дополнительными подсистемами для создания комплекса интегрированного проектирования, с помощью которого можно автоматизированно решать следующие задачи:

1. Комплексная автоматизация подготовки производства, проектирование технологических процессов и т.д.
2. Управление производственным предприятием, учет ресурсов и финансов. Интегрирована с 1С.
3. Планирование производства и ресурсов. Оперативно-календарное планирование и диспетчеризация производства.
4. Обеспечивает единое информационное пространство для различных специалистов, в том числе работающих в других различных системах.

В едином информационном пространстве решаются экономические, производственные и организационные задачи предприятия.

Рассмотрим систему SPRUT TP. Система автоматизированной разработки технологических процессов Российской компании ЗАО «СПРУТ-Технология» (рисунок 1.42).

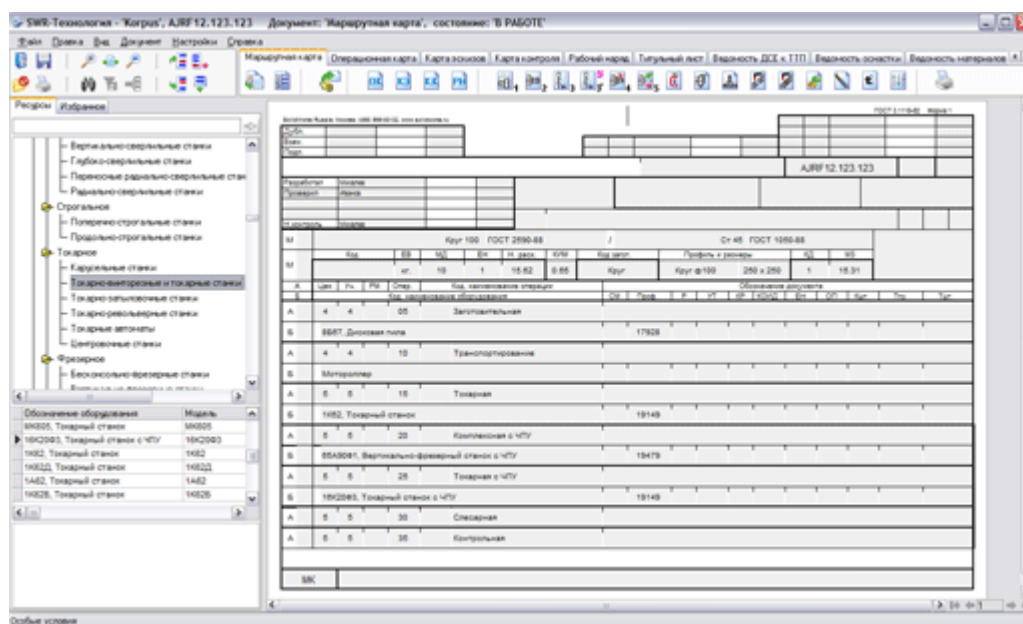


Рисунок 1.42 – Система SPRUT TP.

Проектирование технологических процессов осуществляется прямо путем добавления записей в технологическую карту. Вставка записей осуществляется из базы данных, что упрощает ручной набор.

Эскизы добавляются в виде рисунков, отрицательные стороны данного подхода уже были описаны ранее.

Инструменты добавляются в специальном менеджере, который может быть не доступен технологам. Описание оснастки можно задать довольно подробно, формируя самостоятельные колонки в базе (рисунок 1.43).

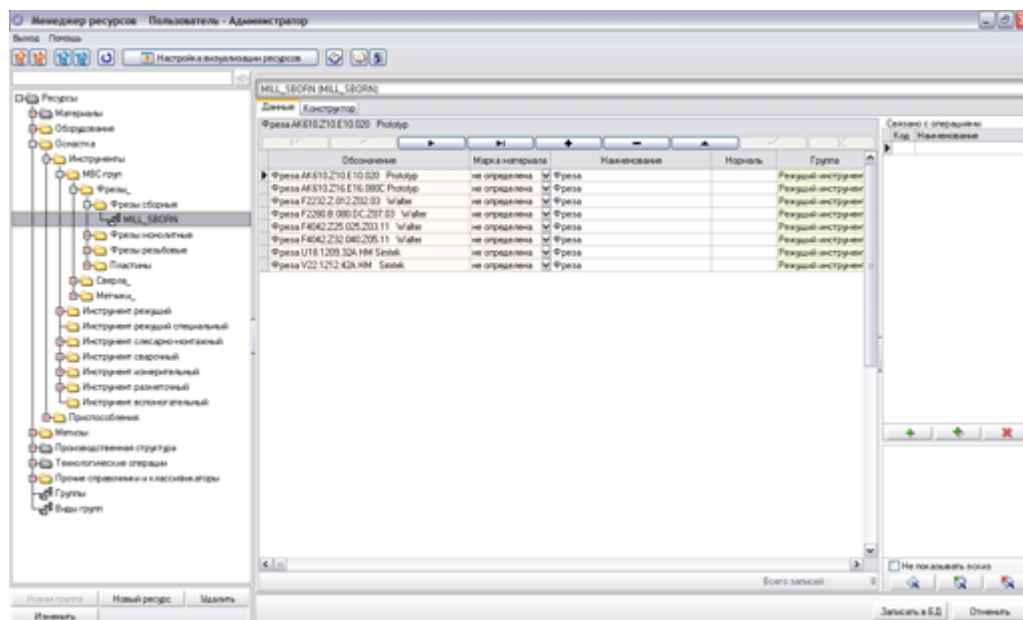


Рисунок 1.43 – Система SPRUT TP. Инструментарий формирования базы данных.

Дерево технологического процесса также доступно в отдельном окне, с помощью которого можно перейти к любой операции или переходу.

Формирование технологической документации осуществляется в MS Office (Excel) (рисунок 1.44).

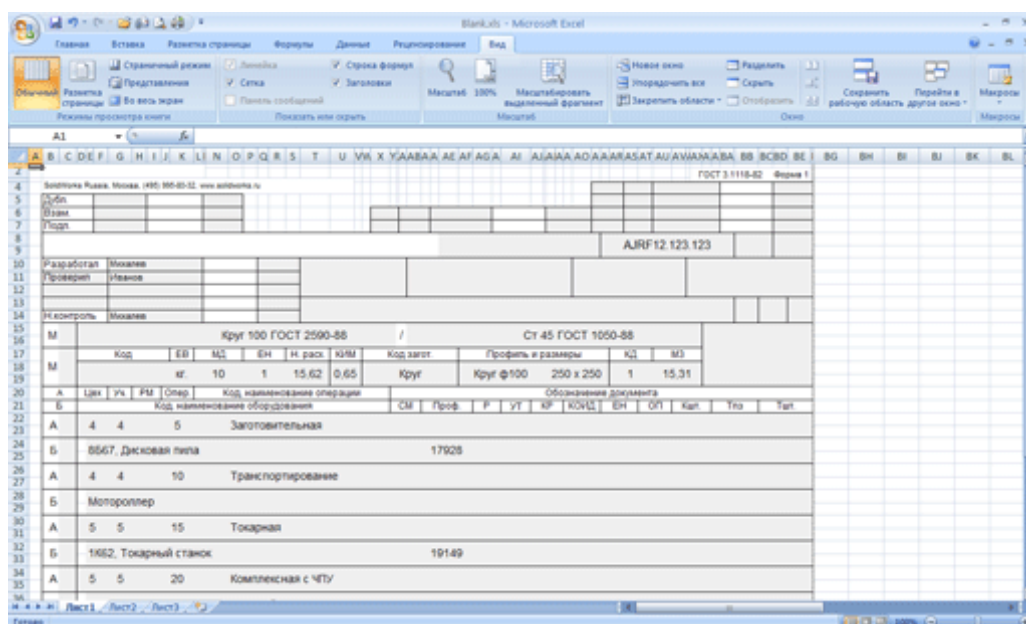


Рисунок 1.44 – Система SPRUT TP. Формирование технологической документации.

По результатам анализа выявлены проблемы применения онтологий в ТПП и обосновано использование онтологий для обеспечения поддержки технологической подготовки производства. На основе сформулированных задач разработана методология управления технологической подготовкой производства в организационно-технических

системах на основе онтологического подхода, ориентированная на уменьшение энтропии информации (рисунок 1.45).

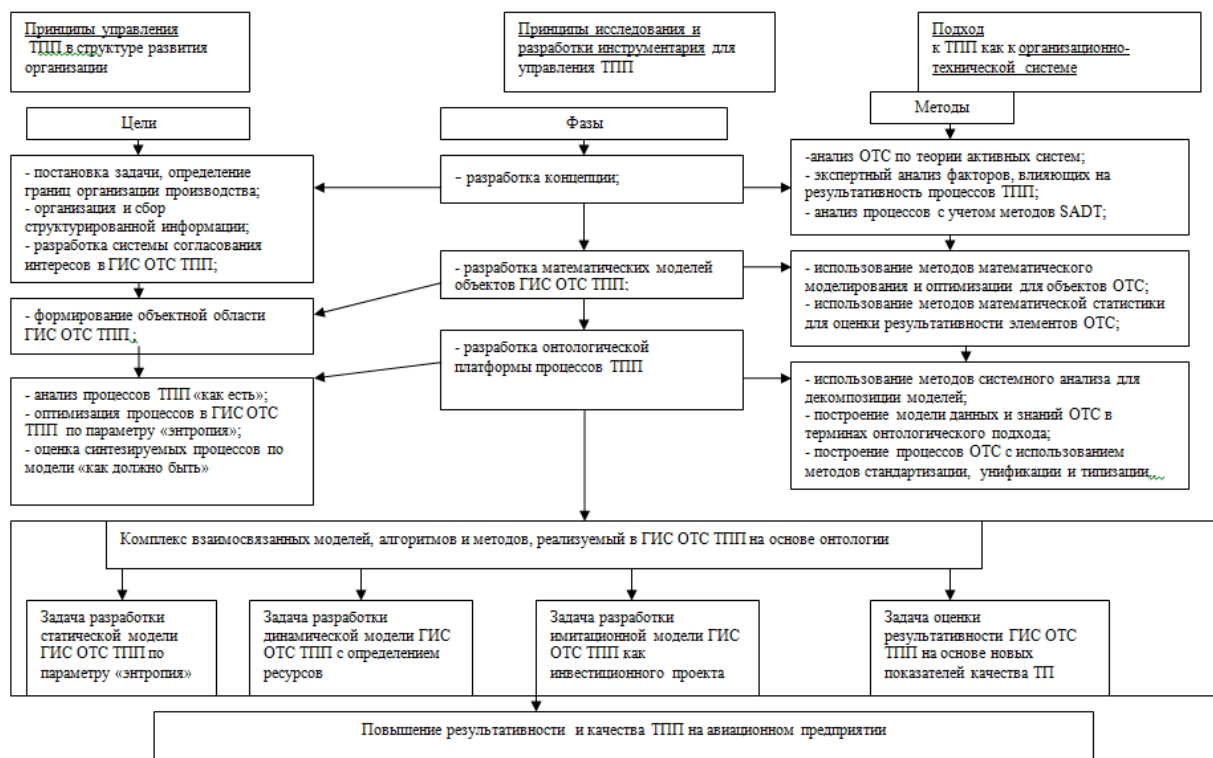


Рисунок 1.45 – Методология управления технологической подготовкой производства в организационно-технических системах на основе онтологического подхода

Выводы по главе 1

На основании проведенного в главе 1 анализа определены основные цели и задачи, направленные на повышение эффективности и качества ТПП, формируется концепция исследования, то есть необходимо сформировать методологию организации согласованного взаимодействия в ТПП (ГИС ОТС ТПП) с учетом разрешения противоречий между спросом и предложением к продукции машиностроительных производств.

Рассмотрим имеющееся противоречие в ТПП машиностроительных предприятий. Спрос на новое изделие требует от конструкторского подразделения разработать технические требования к новому изделию, улучшающие его качество (например, надежность, технологичность и т.д.). С другой стороны, производственная база современных машиностроительных производств не позволяет за счет имеющихся технологических процессов и СТО обеспечить эти ТТ. Для разрешения этого противоречия необходимо провести выбор организационно-технического решения из имеющихся на предприятии, которое обеспечит наиболее рациональное решение технологическим и производственным

подразделениям с точки зрения технологического процесса (ТП) и оперативно-календарного планирования (ОКП).

Методологию инновационного подхода к управлению ТПП на машиностроительном предприятии на основе онтологического подхода можно представить в виде оптимизационной математической модели, где целевая функция связана с организационно-технологической системой (ОТС), реализующей управление процессами на основе проектного, а для разработки инструментария используется механизм математического моделирования. ОТС, управляющая процессами в данной системе. Инструментарий для управления ОТС основан на онтологическом подходе выбора аналогового технологического процесса из базы знаний на основе правил. В итоге удастся поставить задачу управления ТПП на основе ОТС, состоящей из математических моделей объектов организационной системы и онтологической модели процессов внутри системы. Для разработки модели ТПП как ГИС ОТС используются модели и методы, которые позволяют достичь таких целей управления, как определение границ исследования, организация и сбор структурированной информации и разработка системы согласования интересов в ОТС на основе уменьшения энтропии информации на основе онтологического подхода.

Для реализации общей цели диссертационной работы (повышение эффективности процессов технологической подготовки производства на основе согласованного взаимодействия между конструкторскими, технологическими и производственными службами с учетом уменьшения энтропии информации по изделию с использованием онтологического подхода) необходимо решить следующие научно-технические задачи:

- сформировать новую структуру ГИС ОТС ТПП с добавлением нового элемента информационного отдела (ИО), установить новые связи в ОТС для реализации в системе согласованного взаимодействия между КП, ТП, ПП и ИО, а также РОС;

- разработать новые математические модели принятия организационно-технологических решений (ОТР) РОС, РКП, РПП и РИО, в которых реализованы новые связи взаимодействия в ОТС;

- разработать новую систему показателей качества маршрутных карт с уменьшением энтропии информации, позволяющей определять стимулирующие воздействия в ГИС ОТС ТПП для согласованного взаимодействия в системе;

- разработать систему взаимодействия моделей технологической операции, маршрутной карты и онтологии производства, которая позволяет в интерактивном режиме заполнять прецедентными данными маршрутную карту, при этом выбор прецедентов осуществляется на основании предпочтения значений их рейтингов;

- разработать подход к минимизации количества доработок маршрутной карты технологического процесса, отличительной особенностью которого является использование автоматизированного подбора переходов в онтологии (в разделе «Архив технологических процессов»), что позволяет на основании технологического опыта прежних лет корректно уменьшать число этих переходов;

- разработать алгоритм эффективного подбора средств производства для заполнения маршрутной карты на основе прецедентного подхода, в котором необходимые производственные данные сосредотачиваются в архивных базах знаний и извлекаются из них с последующими обращениями к системе планирования ресурсов; такой подход позволяет организовать сегментированную производственную онтологию прецедентов, включающую множество полезных плановых показателей и опытных статистических производственных данных, автоматизировать процесс подготовки производства и повысить его эффективность;

- разработать алгоритм моделирования переходов технологических процессов на основе использования сетей Петри, позволяющий обеспечить минимальные значения трудоемкости создаваемого производством изделия и в итоге повысить экономическую эффективность реализуемого технологического процесса.

В итоге весь комплекс рассмотренных задач в ТПП можно объединить в методологию инновационного подхода к управлению ТПП как ГИС ОТС на основе онтологического подхода.

Глава 2. СИНТЕЗ МЕХАНИЗМОВ СОГЛАСОВАННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА С УЧЕТОМ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА

2.1 Структура гибкой информационной организационно- технической системы технологической подготовки производства

Неотъемлемой частью производственного цикла изготовления изделий является технологическая подготовка производства (ТПП). Данные технологической подготовки производства наряду с данными конструкторской документации используются как исходные в современных системах управления производством. Одной из важных задач ТПП является проектирование маршрутных карт, в которых отражается последовательность выполнения технологических операций на определенном средстве производства (СП) с учетом доступности ресурсов и способов изготовления детали.

Маршрутные карты считаются готовыми к использованию в том случае, если указанные в них ресурсы актуальны на момент изготовления детали. Выход из строя технологического оборудования влечет за собой приостановку производства и необходимость выпуска новой маршрутной карты под другое технологическое оборудование и с другими переходами. В цикле управления возникший инцидент предполагает комплекс мероприятий [42-47], включающий разработку новых ТП и корректировку плана изготовления, в том числе смещение плановых задач на другой производственный участок.

Отсутствие необходимого инструмента и методик не позволяет производству координировать свою работу таким образом, чтобы минимизировать потерю времени на возобновление производства. При проектировании технологической карты технолог учитывает множество характеристик и ограничений требуемых ресурсов. Выбор получаемого решения из множества вариантов осуществляется субъективно на основе производственного опыта [47, 51-57]. Определение наиболее эффективного маршрута является неотъемлемой частью совершенствования процесса производства и позволяет сократить трудозатраты на расчет возможностей ресурсов, контроль за ходом выполнения заданий, формирование сопроводительной производственной документации.

Проектирование технологических процессов связано с объектами маршрутной карты и объектами производства – ресурсами. Поскольку выбор того или иного ресурса не всегда очевиден, то одной из задач проектирования маршрутных карт является выбор верного из множества найденных решений.

Решение производственной проблемы в части совершенствования проектирования технологического процесса направлено на создание условий и средств формирования основного производственно-технологического документа – эффективных по содержанию и использованию на практике маршрутных карт, обеспечивающих высокое качество спроектированных технологических процессов, сопроводительной документации, снижение объема доработок, возникших в процессе изготовления.

Описанная цель формирует производственную проблему, характеризующую сложностью, неполнотой раскрытия ее содержания, то есть наличием неопределенности и возможностью выделения в ней составных задач, что позволяет отнести ее к недетерминированным.

Проектирование маршрутных карт технологических процессов является одной из сложных и трудно формализуемых задач ТПП [59-63]. Большое разнообразие конструктивных форм деталей и технических требований к ним и возможность использования различных методов обработки одних и тех же элементов заготовки на разных видах технологического оборудования приводят к многовариантности возможных решений [64-78]. Исходя из поставленной цели необходимо решать следующие задачи:

1. Разработать подход к рациональной организации подготовки выполнения технологического процесса, обеспечивающий возможность получения оптимальных режимов технологического процесса, основными показателями которого являются минимальное количество доработок маршрутной карты, наименьшая трудоемкость изготовления изделия и рациональное количество средств производства, которые позволяют при достижении ими оптимальных значений вносить эти данные в маршрутную карту и осуществлять оптимизированный по этим параметрам технологический процесс.

2. Разработать средства моделирования технологических операций, позволяющие оценить состояния их предварительной подготовки, эффективность их выполнения на базе сформированной для технологического маршрута информации и использование производственного оборудования, указываемого в маршрутной карте.

В рамках решения указанных задач следует рассмотреть возможности минимизации затрат за счет снижения трудоемкости создаваемого изделия, что в итоге позволит обеспечить повышение экономической эффективности реализуемого технологического процесса.

В случае плохо развитых онтологических средств поддержки проектирования технологических маршрутов нужно совмещать средства автоматизации, информационные ресурсы, имеющиеся на предприятии, и дополнять их при необходимости. Такое комплексирование требует совместного решения поставленных задач на уровне взаимодействия существующих и разрабатываемых программных реализаций.

Для этого необходимо выполнить формализацию и оптимизацию процессов технологической подготовки проектирования маршрутной карты, включающие построение ее модели с указанием ее качества, самих средств автоматизации, составных поэтапных процессов маршрутизации и установление связей с онтологической базой производства предприятия.

В современных условиях при невозможности получить доступ к инновационным технологическим решениям, оборудованию, оснастке и инструменту в ТПП при выпуске новых изделий на машиностроительных предприятиях необходимо обращаться к существующим базам данных, чтобы найти подобное решение с минимумом энтропии информации, то есть в новом техническом решении должен быть использован максимум проверенных решений, уменьшающих риск невыполнения заказа.

Современная организационно-техническая система (рисунок 2.1) представляет собой сложную систему управления, включающую разнообразные множества взаимосвязанных и взаимодействующих элементов в пространстве и времени. Эти элементы формируют интегративные свойства системы, которая функционирует для достижения поставленных перед ней целей [2,5-11].

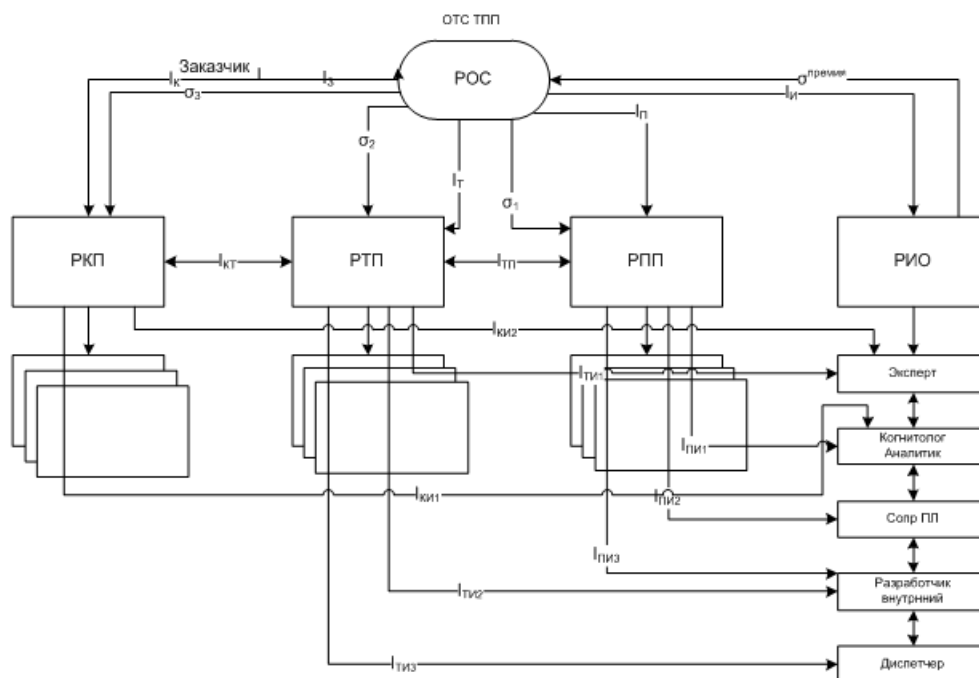


Рисунок 2.1 – Организационно-техническая система производства полного цикла

Организационно-техническую систему производства полного цикла в дальнейшем будем называть гибкой информационной организационно-технической системой технологической подготовки производства (ГИС ОТС ТПП). В рамках рассматриваемой модели взаимодействия (руководители подразделений, их сотрудники и руководитель

организационной системы) анализируем равновесные состояния системы по Нэшу и обосновываем роль руководителя, который выбором параметров организационного механизма взаимодействия в виде оценки показателей качества устанавливает сбалансированное взаимодействие информационных, производственных и функциональных подразделений на основе информационного обмена, побуждая их эффективно управлять деятельностью сотрудников через работу с новым информационным отделом.

2.2 Математические модели согласованного взаимодействия в ГИС ОТС ТПП

В данной системе можно определить целевые функции управляющих элементов: руководителя организационной системы (РОС) (2.1), руководителя конструкторского подразделения (РКП) (2.2), руководителя технологического подразделения (РТП) (2.3), руководителя производственного подразделения (РПП) (2.4), руководителя информационного отдела (РИО) (2.5). Целевые функции участников ГИС ОТС ТПП имеют вид:

$$\Phi_o = D(H, y) - \sigma_k(H, \Delta_k) - \sigma_T(y, \Delta_T) - \sigma_{II}(y, \Delta_{II}) \quad (2.1)$$

$$\Phi_K = \sigma_k(H, \Delta_k) - \sum_{i=1}^2 \eta_{ik}(\Delta_{ku_i}) - \eta_{KT}(\Delta_{KT}) \quad (2.2)$$

$$\Phi_T = \sigma_T(y, \Delta_T) - \sum_{i=1}^3 \eta_{iT}(\Delta_{Tu_i}) - \eta_{KT}(\Delta_{KT}) - \eta_{TII}(\Delta_{TII}) \quad (2.3)$$

$$\Phi_{II} = \sigma_{II}(y, \Delta_{II}) - \sum_{i=1}^3 \eta_{iII}(\Delta_{IIu_i}) - \eta_{TII}(\Delta_{TII}) \quad (2.4)$$

$$\Phi_{II} = \sigma_{II}(p_1) + \sigma_{II}(p_2) + \sigma_{II}(p_3) = \sigma_K(H, \Delta_K) + \sigma_T(y, \Delta_T) + \sigma_{II}(y, \Delta_{II}) \quad (2.5),$$

где $D(H, y)$ - функция дохода в ГИС ОТС ТПП, $\sigma_k, \sigma_T, \sigma_{II}, \sigma_{II}$ - бюджетные ресурсы подразделений со стороны РОС, $\eta_{ik}, \eta_{iT}, \eta_{iII}$ - функции стимулирования подразделений руководителями за сбалансированное взаимодействие с РИО по поиску документации-аналога, η_{KT}, η_{TII} - функция стимулирования сотрудников подразделений за согласованное взаимодействие между сотрудниками сторонних подразделений, H - качество (надежность) изделия, y - количество выпускаемых изделий, $\Delta_k, \Delta_T, \Delta_{II}$ - количество изменений информации в ТПП при выпуске нового изделия, $\Delta_{KT}, \Delta_{TII}$ - количества изменений информации из - за согласования интересов в ГИС ОТС ТПП, p_1 - показатель качества ТПП из-за уменьшения количества доработок, p_2 - показатель качества ТПП из-за уменьшения трудоемкости технологического процесса (ТП), p_3 - показатель качества ТПП из-за

повышения технологичности (инновационности) использования средств технологического оснащения (СТО).

Модель принятия организационно-технических решений руководителем ГИС ОТС ТПП:

$$\begin{aligned}
 \Phi_o &= D(H, y) - \sigma_\kappa(H, \Delta I_\kappa) - \sigma_T(y, \Delta I_T) - \sigma_\Pi(y, \Delta I_\Pi) \rightarrow \max, \\
 \sigma_\kappa(H, \Delta I_\kappa) &= \beta_\kappa H / \Delta I_\kappa + b_\kappa \Delta I_\kappa = \beta_\kappa (1 - e^{-\alpha_r \sigma_r}) / \Delta I_\kappa + b_\kappa \Delta I_\kappa \leq \sigma^\Pi, \\
 \sigma_T(y, \Delta I_T) &= \beta_T y / 2 \Delta I_T + b_T \Delta I_T \leq \sigma^\Pi, \\
 \sigma_\Pi(y, \Delta I_\Pi) &= \sum_{s=1}^S \beta_\Pi^s y / \Delta I_\Pi^s - \sum_{s=1}^S b_\Pi^s \Delta I_\Pi^s \leq \sigma^\Pi, \Pi(H) = \Pi_0 + b_\Pi (H - H_0), \\
 \Delta I_\kappa &\leq I_\kappa, \Delta I_T \leq I_T, \Delta I_\Pi \leq I_\Pi, \alpha_r \geq 0, H \geq H^3, y_0 \leq y \leq \bar{y},
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

где β_κ - правильно принимаемые решения, b_κ - коэффициент уровня квалификации.

Руководитель ГИС ОТС ТПП выбирает оптимальную стратегию при условии, что $\frac{\partial \Phi_0}{\partial H} > 0, \frac{\partial \Phi_0}{\partial y} > 0, \frac{\partial \Phi_0}{\partial I_\kappa} > 0, \frac{\partial \Phi_0}{\partial I_T} > 0, \frac{\partial \Phi_0}{\partial I_\Pi} > 0$. Если все условия выполняются, то это означает, что с ростом качества, объема выпускаемой продукции, уменьшения энтропии информации сотрудников подразделений прибыль машиностроительного предприятия увеличивается.

Модель принятия решений в конструкторском подразделении:

$$\begin{aligned}
 \Phi_K &= \sigma_\kappa(H, \Delta I_\kappa) - \sum_{i=1}^2 \eta_{ik}(\Delta I_{ku_i}) - \eta_{KT}(\Delta I_{KT}) \rightarrow \max, \\
 \sigma_\kappa(H, \Delta I_\kappa) &= \beta_\kappa H / \Delta I_\kappa + b_\kappa \Delta I_\kappa, \\
 \sum_{i=1}^2 \eta_{ik}(\Delta I_{ku_i}) &= \eta_{i1}(\Delta I_{ku_1}) + \eta_{i2}(\Delta I_{ku_2}), \\
 \sum_{i=1}^2 \eta_{ik}(\Delta I_{ku_i}) + \eta_{KT}(\Delta I_{KT}) &\leq \sigma_\kappa(H, \Delta I_\kappa),
 \end{aligned} \tag{2.7}$$

где ΔI_{ku_1} - уменьшение энтропии информации при работе с когнитологом-аналитиком,

ΔI_{ku_2} - уменьшение энтропии информации при работе с экспертом.

Модель принятия решений в технологическом подразделении:

$$\begin{aligned}
 \Phi_T &= \sigma_T(y, \Delta I_T) - \sum_{i=1}^3 \eta_{iT}(\Delta I_{Tu_i}) - \eta_{KT}(\Delta I_{KT}) - \eta_{TT}(\Delta I_{TT}) \rightarrow \max, \\
 \sigma_T(y, \Delta I_T) &= \beta_T y / 2 \Delta I_T + b_T \Delta I_T, \\
 \sum_{i=1}^3 \eta_{iT}(\Delta I_{Tu_i}) &= \eta_{1T}(\Delta I_{Tu_1}) + \eta_{2T}(\Delta I_{Tu_2}) + \eta_{3T}(\Delta I_{Tu_3}), \\
 \sum_{i=1}^3 \eta_{iT}(\Delta I_{Tu_i}) + \eta_{KT}(\Delta I_{KT}) + \eta_{TT}(\Delta I_{TT}) &\leq \sigma_T(y, \Delta I_T),
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

где ΔI_{Tu_1} - уменьшение энтропии информации при работе с экспертом, ΔI_{Tu_2} - уменьшение энтропии информации при работе с разработчиком витрин, ΔI_{Tu_3} - уменьшение энтропии информации при работе с диспетчером, определяющим последовательность ТП.

Модель принятия решений в производственном подразделении:

$$\begin{aligned}
\Phi_{II} &= \sigma_{II}(y, \Delta I_{II}) - \sum_{i=1}^3 \eta_{iII}(\Delta I_{II_i}) - \eta_{III}(\Delta I_{III}) \rightarrow \max, \\
\sigma_{II}(y, \Delta I_{II}) &= \sum_{s=1}^S \beta_{II}^s y / \Delta I_{II}^s - \sum_{s=1}^S b_{II}^s \Delta I_{II}^s, \\
\sum_{i=1}^3 \eta_{iII}(\Delta I_{II_i}) &= \eta_{1II}(\Delta I_{II_1}) + \eta_{2II}(\Delta I_{II_2}) + \eta_{3II}(\Delta I_{II_3}), \\
\sum_{i=1}^3 \eta_{iII}(\Delta I_{II_i}) + \eta_{III}(\Delta I_{III}) &\leq \sigma_{II}(y, \Delta I_{II}),
\end{aligned} \tag{2.9}$$

где ΔI_{II_1} - уменьшение энтропии информации при работе с сопровождающим площадки, ΔI_{II_2} - уменьшение энтропии информации при работе с разработчиком витрин, ΔI_{II_3} - уменьшение энтропии информации при работе с диспетчером, определяющим последовательность ТП.

Модель принятия решений в новом информационном отделе:

$$\begin{aligned}
\Phi_{II} &= \sigma_{II}(p_1, p_2, p_3) = \sigma_{II}^1(p_1) + \sigma_{II}^2(p_2) + \sigma_{II}^3(p_3) \rightarrow \max, \\
\sigma_{II}^1(p_1) &\leq \sigma_{II}(y, \Delta I_{II}), \\
\sigma_{II}^2(p_2) &\leq \sigma_T(y, \Delta I_T), \\
\sigma_{II}^3(p_3) &\leq \sigma_K(H, \Delta I_K).
\end{aligned} \tag{2.10}$$

На высокотехнологичном предприятии возможно изготовление деталей с десятком и более исполнений. Это связано со спецификой производства технических средств, где постоянно изменяются требования к изготавливаемым изделиям (например, военное и космическое направления).

Уменьшение времени изготовления деталей возможно при сокращении затрат на переналадку оборудования, увеличении партий изготавливаемых деталей, сокращении ошибок в процессе проектирования единичных технологических процессов, а также при сокращении рисков по корректировке технологической документации. Доработка технологических процессов является частой проблемой процесса проектирования. Около 40 % доработок технологических процессов производятся из-за несовершенного технологического маршрута, зафиксированного в маршрутной карте [1,28-29,48].

Место, занимаемое маршрутной технологией в процессе многономенклатурного производства, представлено на рисунке 2.2.

Проектирование технологических процессов на сложное техническое изделие характеризуется большим объемом работ и может содержать по спецификации до тысячи оригинальных и типовых деталей, а для изготовления изделий такого класса требуется большое количество различных единичных технологических процессов.

В процессе изготовления технического средства элементы его конструкции подвергаются изменениям в связи с постоянной доработкой. Это приводит к необходимости изменения технологической документации и, как следствие, маршрутных карт [31-40, 50].

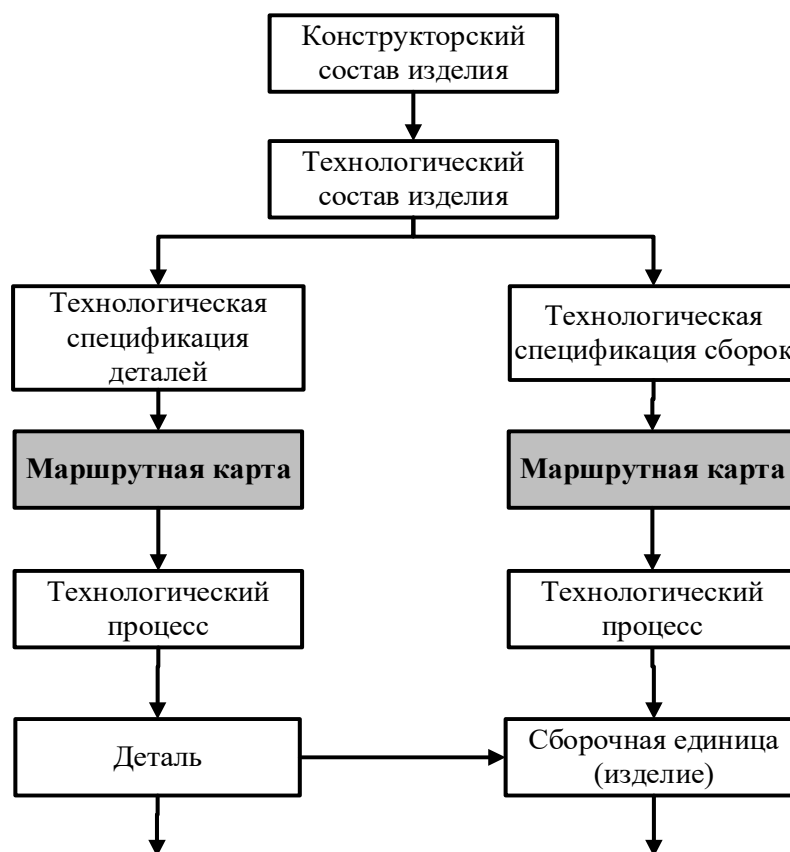


Рисунок 2.2 – Алгоритм проектирования ТП

Маршрут технологического процесса представляет собой описание маршрутов движения по цеху изготавливаемой детали. Маршрутный технологический процесс оформляется в виде маршрутной карты, в которой устанавливается перечень и последовательность технологических операций, тип оборудования, на котором эти операции будут выполняться, применяемая оснастка, а также укрупненная норма времени без указания переходов и режимов обработки [48, 49, 81-83, 98,100].

Один и тот же технологический процесс может быть реализован разными маршрутами.

В рамках проведенных нами исследований были выделены отдельные классы маршрутов, названные неконфигурируемыми. Это маршруты, специфицированные под группу деталей, имеющих собственные параметры (размеры и габариты, вид покрытия; основная форма деталей – плоские и круглые). Однако в таких маршрутах зачастую происходит замена не операции, а оборудования (или групп оборудования), что влечет за собой изменение норм трудоемкости на переналадку и настройку средств производства и на изготовление деталей.

В процессе разработки ТП на изготовление детали новой модификации (нового исполнения) проектировщиком могут быть использованы решения, наработанные опытным путем.

Важнейшей задачей ТПП является оснащение производства точной технологической документацией, после проведения которого, а также поставки основных и вспомогательных материалов, изготовления оснастки осуществляется запуск изделия в производство. Главную роль в процессе производства принимает на себя проектировщик (диспетчер), регулирующий последовательность и приоритетность выполнения заказа среди множества других заказов.

Информационное взаимодействие субъектов, участвующих в поддержке жизненного цикла, должно осуществляться в едином информационном пространстве, в связи с чем необходима непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла изделий.

В жизненном цикле изделия проектирование маршрута ТП занимает около 20 % общего времени [57, 58], так как технологу требуется учитывать только рабочие средства реализации технологических операций и самому определять выбор того или иного средства производства.

Более значимым на практике является наполнение маршрутной карты сформированного ТП, содержание которой определяется множеством характеристик производственного плана и ограничениями производственных ресурсов предприятия.

Отражение в маршрутной карте доступных в момент изготовления данных ТП дает возможность точнее планировать загрузку производства.

Наиболее часто используемыми методами проектирования технологических маршрутов являются [2]:

1. Метод заимствования технологии детали-аналога (частный случай – метод адресации).
2. Метод проектирования унифицированных (типовых и групповых) ТП.
3. Метод синтеза ТП.

В основе метода заимствования технологии детали-аналога лежит подбор детали-аналога, для которой ранее был спроектирован ТП (прецедент).

Для реализации этого метода необходимо иметь развитые поисковые средства, специализированную производственную онтологию и механизмы взаимодействия с ней. В базе данных такой системы должны находиться поисковые образцы деталей и их технологические процессы. С помощью поиска осуществляется подбор деталей-аналогов и на основе десятичных обозначений деталей производится поиск технологических процессов на выбранные детали-аналоги.

Найденный технологический процесс используется в качестве исходного варианта, позволяющего перейти на следующий уровень проектирования – уровень операций. Проектировщик, исходя из своего опыта, проводит преобразование маршрута, выстраивая правильные последовательности выполнения технологических операций относительно параметров детали, и таким образом получает необходимый рабочий технологический маршрут маршрутной карты. При этом качество получаемого процесса зависит от результатов поиска детали-аналога.

Поиск в онтологии выполняется по общим характеристикам детали, например по габаритам (длина, диаметр, ширина) и конструктивной форме по коду ЕСКД. Поэтому все детали, рассматриваемые в конкретном производстве, должны быть представлены адекватными интерпретациями и занесены в базу данных.

Процесс накопления базы данных онтологии является постепенным. Чем полнее будет база данных, тем выше вероятность нахождения детали-аналога. Число деталей в базе может достигать сотни тысяч. Трудоемкость создания такой базы зависит от полноты информации о детали, которая заносится в базу данных.

Наиболее простым вариантом является заполнение базы данных по общим характеристикам. Результаты поиска по общим характеристикам будут неточные, то есть в выборку попадет множество деталей со схожими характеристиками, но сам поиск будет идти быстрее. Если характеристики детали полностью отражены в БД, то поиск будет выполняться более точно, но заполнение такой БД будет трудоемким.

Технология изготовления найденных деталей-аналогов может быть устаревшей и не подходить для заданной детали. В ТП изготовления аналога может быть использовано технологическое оснащение, которое не используется в производстве, или технологические процессы изготовления детали-аналога и проектируемой детали могут значительно отличаться. В таких случаях найденный процесс заимствовать будет трудно. Потребуется доработка выбранного ТП в оперативном порядке с использованием доступных средств автоматизации.

Метод синтеза ТП основан на синтезе технологических маршрутов и операций. Типизация решений в данном случае выполняется, как правило, на уровне перехода. При этом выделяются промежуточные состояния для каждой детали и выбираются методы их обработки.

Проведенный анализ систем проектирования показал, что в существующих системах формирования планов (например, в системах «СПРУТ-ОКП», «1С:Предприятие», «SAP» и др.) отсутствует достаточно эффективная технология анализа архива технологических процессов с точки зрения их проекции на производство, отсутствует предварительная

аналитика загружаемых рабочих центров и окончательный результат проектирования отдела конструкторской подготовки (ОКП) никак не используется на предыдущем участке проектирования ТП.

2.3 Система показателей качества для управления ГИС ОТС ТПП

Качество маршрутной карты ТП – это ее характеристика, которая рассматривается с точки зрения эффективности ее влияния на результат технологического процесса, для которого она строится.

Создание эффективной маршрутной карты определяется через множество ее показателей качества. При этом показателем качества p_i ($i = 1, 2, \dots, k$) маршрутной карты является такая числовая характеристика, которая связана с ее качеством строго монотонной зависимостью: чем больше величина p_i , тем лучше маршрутная карта при других условиях.

Кроме этого, необходимо учесть совокупность условий выполнения технологического процесса, для которого формируется маршрутная карта, а также ограничений, которые накладываются при проектировании маршрутной карты, и показатель качества.

Определение состава показателей качества $\bar{P} = f(p_1, p_2, \dots, p_k)$ подразумевает их обоснование в качестве основных, причем количество этих показателей должно быть небольшим, в противном случае обеспечение по их значениям высоких требований (то есть полной оптимизации) к качеству изделия может стать невозможным.

Ограничения, накладываемые на показатели качества, представляют собой условия, при выполнении которых обеспечивается попадание характеристик создаваемых изделий в заданные пределы. Эти пределы являются функциональными ограничениями и формируют допустимую область поиска, под которым понимается создание наилучшей маршрутной карты, обладающей наилучшими значениями вектора $\bar{P} = (p_1, p_2, \dots, p_k)$ – показателями качества с точки зрения высокого качества производимого изделия.

Выбор оптимального значения вектора $\bar{P}$ среди множества его возможных значений производится на основании критерия предпочтения.

Оптимизация маршрутной карты влечет за собой оптимизацию технологического процесса, который сопровождается этой маршрутной картой.

При составлении модели качества маршрутной карты выбирается способ ее представления, в котором учитывается зависимость качества от выбранных показателей.

Общепринятые принципы установления номенклатуры показателей определяются следующими требованиями: полнота состава; управляемость процесса достижения их

минимума или максимума; агрегируемость (то есть возможность перехода от единичных показателей к комплексным или интегральным, характеризующим изделие в целом).

Такие параметры являются конструктивно-настраиваемыми, то есть позволяющими изменять воздействие на создаваемое изделие и повышать его качество.

Состав показателей может быть включен также в техническое задание и определяться техническими условиями. Если этого нет и нет возможности его сформировать окончательно на этапах производства и эксплуатации, то его можно получить исходя из следующих посылок:

1. Монотонная связь с качеством при условии постоянства всех показателей.
2. Простота определения, возможность измерения и контроля.
3. Соответствие выделенным свойствам изделия.
4. Хорошая чувствительность к изменению этих свойств.

Для маршрутной карты среди множества технических показателей наибольшее значение имеют показатели технологичности, которые обеспечивают достижение минимального времени и минимальных затрат.

В целом номенклатура показателей качества конкретного вида изделия выбирается в зависимости от его особенностей, стадии жизненного цикла и уровня принятия решения, предопределяющих области применения показателей.

Для представления модели качества маршрутной карты можно рассмотреть два известных подхода. В первом используется некий заранее задаваемый эталон, по которому проводится сравнение качества полученного изделия, причем каждый показатель (параметр) оценивается по возможному отклонению. По результатам сравнения показателей принимается решение об отнесении полученного значения к той или иной категории качества.

В данном подходе преобладает количественная оценка показателей, и в случае расхождения значений по сравнению с эталонами (одни больше, другие меньше) возникает задача выбора системы правил общей оценки категории качества типа «выше – ниже», «лучше – хуже».

Во втором подходе выбранный показатель p_i по системе правил сопоставляется с предельным показателем (минимальным или максимальным), причем предельные значения показателей устанавливаются исходя из теоретических и практических соображений.

Таким образом, любой метод оценки качества включает взаимосвязанное решение трех задач:

- выбор показателей качества на основе практики;
- выбор правил бинарного сравнения;

– выбор правила отнесения качества маршрутной карты к уровню качества производимого технологического процесса изготовления изделия.

Используя теоретико-множественный подход и принцип разбиения множества свойств создаваемого изделия, можно модель качества маршрутной карты в общем случае представить как

$$K = (p_1, p_2, \dots, p_n).$$

В этой модели приобретает значение удовлетворение каждого показателя (параметра) предъявленным выше требованиям, возможность достаточно простых описаний самих составляющих параметров и возможность их количественного оценивания.

Получение оптимальной в смысле наилучших показателей качества маршрутной карты может быть обеспечено созданием методов или средств, которые позволят привести эти показатели к необходимым значениям.

Переход к максимальным (минимальным) критериям приводит к использованию принципа равномерности, суть которого состоит в поиске такой совокупности параметров качества, при которых нормированные значения всех показателей становятся равными между собой.

Однако выполнение этого условия при большом количестве параметров является сложной задачей. В связи с этим вносятся ограничения такого рода, чтобы добиться минимума по каждому параметру, не затрагивая при этом вариаций по другим, причем все усилия направляются на конкретную область существования параметров и, зная интервалы возможных изменений, их значения сводятся к минимуму. В этом случае нормированные значения каждого показателя образуют область существования комплексного критерия качества (вектора $\bar{P}$), процентные составляющие которой можно установить экспертным путем.

С этой целью наиболее удобно использовать аддитивность критериев, когда целевая функция $\bar{P}$ образуется путем сложения нормированных значений составных критериев. Так как показатели качества p_i могут иметь различную физическую природу, то и их размерность может различаться. Нормируемость показателей позволяет привести их к безразмерному виду. Нормирование может выражаться как отношение «натурального» показателя к некоторой нормирующей величине, измеряемой в тех же единицах, что и сам критерий качества.

Нормирование может осуществляться на основе использования как директивных значений показателей, заданных заранее, так и максимальных значений показателей, достигаемых в своей области существования.

Отметим, что получение безразмерной формы показателей носит, как правило, субъективный характер и должно обосновываться в каждом случае.

Пусть существуют k показателей качества p_i и применяется аддитивный критерий. Тогда целевая функция задачи оптимизации маршрутной карты принимает вид

$$P_{\text{opt}} = \sum_{j=1}^k z_j w_j,$$

где z_j – нормированное значение составляющего показателя качества; w_j – значимость соответствующего показателя качества, или его весомость среди других показателей.

Определение весовых коэффициентов w_j сводится к использованию либо формальных процедур, либо экспертных оценок.

Оптимизация маршрутной карты заключается в сведении каждого из выбранных параметров показателей качества, то есть вектора $\bar{P} = (p_1, p_2, \dots, p_k)$, к некоторому множеству $(p_{1\min}, p_{2\min}, \dots, p_{k\min})$, при котором вектор $\bar{P} = (p_{1\min}, p_{2\min}, \dots, p_{k\min})$ имеет наилучшее значение в смысле выбранного критерия оценки качества производимого изделия. При этом в общем случае каждый из показателей качества p_i может зависеть от других параметров: $p_1 = v_1(v_1, v_2, \dots, v_n)$, $p_k = \varphi_k(t_1, t_2, \dots, t_m)$, которые влияют на значения показателей $p_1, p_2, \dots, p_k$, а эти, в свою очередь, на качество маршрутной карты и производимого изделия.

Отсюда задача построения оптимальной маршрутной карты, по которой строится технологический процесс выпуска промышленного изделия, является однокритериальной. В качестве критерия принимается выбор множества параметров, наиболее полно отражающий эффективность технологического процесса и выпускаемого изделия. Этот критерий можно принять за целевую функцию, которую необходимо максимизировать при минимизации ее составных параметров.

Качество маршрутной карты определяется следующими показателями:

- количеством доработок, приводящих к незапланированным затратам и которые необходимо произвести, чтобы изделие полностью отвечало предъявляемым к нему требованиям заказчика (p_1);
- трудоемкостью выполнения технологического процесса по маршрутной карте и наличием возможности ее уменьшения при сохранении качества изделия (p_2);
- выбором технологического оборудования для исполнения ТП согласно маршрутной карте, способного обеспечить высокую технологичность, экономичность затрат, преемственность новых идей и возможность их практического воплощения (p_3).

Задачу оптимального формирования данных маршрутной карты технологического процесса можно в общем виде представить как

$$F(\bar{P}) \rightarrow \max,$$

Структурно эта задача отображается схемой (рисунок 2.3), на которой выделены ее составные задачи.

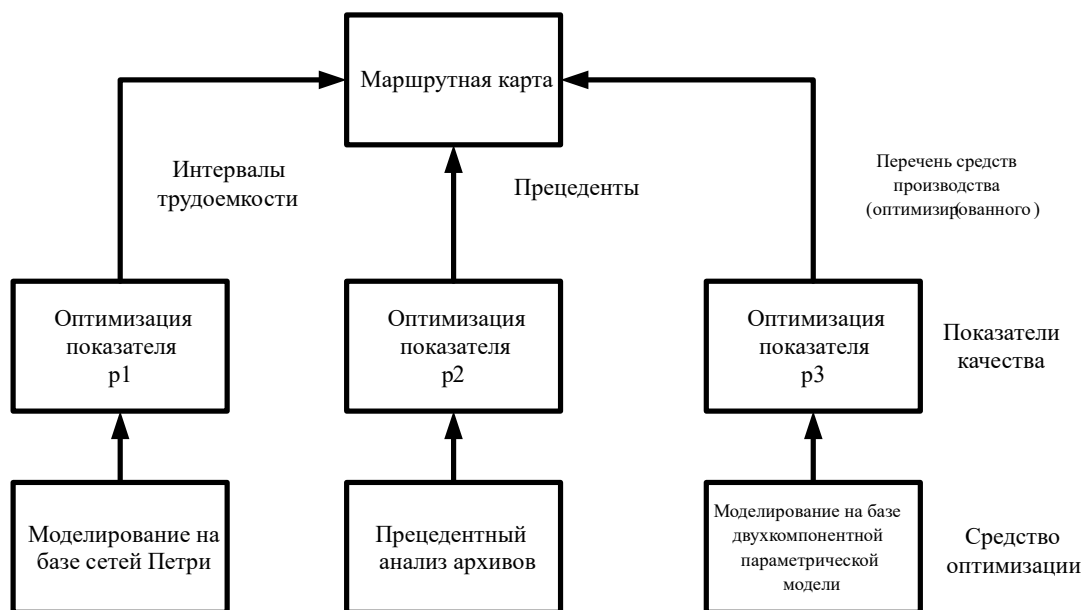


Рисунок 2.3 – Заполнение маршрутной карты данными, полученными от средств оптимизации показателей p_1 , p_2 , p_3

Оптимизация показателя качества p_2 заключается в получении минимальных значений трудоемкости технологического процесса; показателя p_1 – в максимальном сокращении доработок в создаваемом с помощью выбранного технологического процесса изделия; показателя p_3 – в минимизации выбираемого оборудования для реализации технологического процесса.

Решение указанных составных задач требует создания средств их решения как на общем теоретическом, так и на техническом уровнях.

2.4 Разработка модели оптимального выбора средств реализации производственных процессов по маршрутной карте

В основе совершенствования проектирования маршрутной карты лежит когнитивный анализ технологической информации и прецедентов, возникших в процессе производства и объединенных общностью данных, таких как справочники операций и переходов, справочники средств производства (оборудования и рабочих центров), архивные данные и паттерны.

Процесс проектирования ТП с привязкой к системе планирования представлен через взаимодействие множества задач проектирования системы ТПП и множества проектных решений, выполняемых на производстве. Пусть

$$Z = \{z_1, z_2, \dots, z_i\}$$

– множество задач проектирования, где z_i – конкретная задача проектирования. Задачи из множества Z можно представить следующим множеством:

$$z_i = \{F_z, O_z, H_{ОКП}\},$$

где F_z – формулировка задачи проектирования; O_z – ограничения, накладываемые на задачу; $H_{ОКП}$ – множество характеристик ОКП.

Множество проектных решений $P_{пр}$, выдаваемых системой проектирования маршрутов, можно представить как

$$P_{пр} = \{D_{ОКП}, D_{ТПП}\},$$

где $D_{ОКП}$ – множество данных системы ОКП (данные от технологического отдела); $D_{ТПП}$ – множество данных системы автоматизации маршрутного проектирования в качестве организационно-технологических решений.

Инициатором перепроектирования маршрута ТП является запрос технолога на получение из производственной онтологии данных, принадлежащих следующему множеству:

$$D_{ОКП} = \{E, I_{пл}, H_{ОКП}\},$$

где E – множество доступных ресурсов; $I_{пл}$ – множество плановых позиций изготавливаемых изделий; $H_{ОКП}$ – множество характеристик системы ОКП. В свою очередь множество доступных ресурсов E такое, что

$$E = \{R_{ц}, E_{раб}, T\},$$

где $R_{ц}$ – множество рабочих центров (РЦ) производства; $E_{раб}$ – множество исполнителей (рабочих), выполняющих ТО на рабочих центрах; T – множество материалов для изготовления деталей.

Множество планируемых к производству изделий $I_{пл}$:

$$I_{пл} = \{N_{I_{пл}}, K_{I_{пл}}, T_{I_{пл}}, M_{I_{пл}}\},$$

где $N_{I_{пл}}$ – наименование номенклатуры изготовления; $K_{I_{пл}}$ – количество номенклатуры; $T_{I_{пл}}$ – срок изготовления; $M_{I_{пл}}$ – идентификатор проектного решения ОКП.

Множество характеристик системы ОКП $H_{ОКП}$:

$$H_{ОКП} = \{H_N, H_{код}, C_{R_{ц}}, C_S, C_Z, C_{мат}\},$$

где H_N – наименование характеристики; $H_{код}$ – код; $C_{R_{ц}}$ – коэффициент загрузки на РЦ; C_s – характеристика влияния на стоимость; C_z – характеристика влияния на объем работ; $C_{мат}$ – коэффициент расхода материала.

Система ОКП формирует множество входных данных $D_{ОКП}$ для реконфигурации маршрутов технологических процессов.

Критерии экономического $K_{эктпп}$ и технологического $K_{техтпп}$ характера поступают автоматизированным способом в виде запроса $D_{ОКП}$ ($K_{эктпп}, K_{техтпп} \in H_{ОКП}$). Корректировка $D_{ОКП}$ может быть использована, но в таком случае появится $\Delta H_{ОКП}$ между поступившими на вход данными $D_{ОКП}$ и требованиями. Необходимо синхронизировать части системы проектирования и онтологию.

Все эти множества определяют входные данные для запуска системы онтологии в ГИС ОТС ТПП. $\Delta H_{ОКП}$ формируется как система ограничений для нового технологического процесса, т.е. создаются правила онтологии для улучшения ТП на производстве.

При проектировании нового маршрута маршрутной карты в ТП следует учитывать параметры производственных ресурсов и взаимосвязи между ними. Логические связи при проектировании маршрутной технологией должны направлять задачи в доступные узлы производства и выстраивать цепи последовательности в зависимости от настроенных паттернов (шаблонов) системы.

В процессе определения нового маршрута система производит выбор из множества паттернов.

Паттерн замены РЦ, на котором будет осуществляться ТО, $R_{i_{ц}}$ представляет собой кортеж

$$R_{i_{ц}} = (R_{ц_{альт}}, R_{ц_{вз}}, T, U),$$

где $R_{ц_{альт}}$ – множество альтернативных рабочих центров, полностью совпадающих по конструктивным и технологическим параметрам (вплоть до производителя, марки и модели оборудования); $R_{ц_{вз}}$ – множество взаимозаменяемых РЦ, совпадающих только по своим технологическим параметрам (совпадение по специфицированным характеристикам изделия $H_{i_{пл}}$); T – множество материалов, которыми оперирует РЦ; U – множество классов деталей.

Определение $R_{i_{ц}}$ осуществляется в зависимости от доступной мощности и специфицированных характеристик оборудования, позволяющих СП выполнить ТО ТП изготовления детали. При определении РЦ должны выполняться следующие условия:

$$R_{i_{ц}} = \begin{cases} 0, & \text{если } R_{i_{ц}} \in R_{ц}, \\ 1, & \text{если } R_{i_{ц}} \notin R_{ц}. \end{cases}$$

Если $R_{i_{ц}}$ назначен проектировщиком, тогда назначается паттерн замены материала.

Количество заменяемых рабочих центров по этому паттерну позволяет уменьшить энтропию в технологическом отделе и определить показатель качества маршрутных карт p_3 .

Паттерн замены материала T_i изделия представляет собой кортеж

$$T_i = (N_T, G_T, R_T, T_j),$$

где N_T – наименование материала; G_T – наименование стандарта, ТУ на материал; R_T – множество габаритных характеристик материала: длина, ширина, толщина; T_j – множество аналогов паттернов замены материала. Материал T_i может быть заменен на материал T_j , если совпали характеристики материала и габаритные размеры, указанные в паттерне материала T_j . Определение остатка материала на складе производства осуществляется после определения паттерна материала.

При использовании паттерна замены материала уменьшается энтропия в производственном отделе и формируется показатель качества маршрутных карт p_2 .

Выходными данными рассматриваемой модели является множество данных, которые передаются в систему проектирования маршрутных карт:

$$M_{mnn} = \{M_{mn}, I_{пл}, X_{mnn}\},$$

где M_{mn} – множество модифицированных ТП; $I_{пл}$ – множество номенклатурных позиций изготавливаемых изделий; X_{mnn} – множество характеристик для обратной связи с системой ОКП.

По данному паттерну определяется количество доработок в системе документооборота конструкторского отдела и формируется показатель качества маршрутных карт p_1 .

Отметим, что в случае отсутствия паттерна ресурсы не заполняются автоматически.

Рассмотрим пример формирования показателей p_1 p_2 и p_3 при формировании нового ТП из базового с использованием онтологии.

В качестве улучшений базового ТП были в технологическом отделе разработаны правила (рисунок 2.4), которые создали систему ограничений для онтологии.

№	Условие	Правило	Прим.
1	Если свойство изделие ТП изделие = Корпус и операция = Изменение операции фрезерная (5) фрезерная на фрезерная ЧПУ	Уменьшение КИМ на 5%	Технологический процесс(?x) ^ изделие(?x, Корпус) ^ Операции_ТП(?x, ?y) ^ наименование_операции(?y, "фрезерная") ^ тип_операции_в_ТП(?y, "базовый") ^ Квалификация(?y, ?kv) ^ swrlb:add(?m_kv, ?kv, -1) ^

2	Изменение операции фрезерная на фрезерная ЧПУ	Уменьшение профиля и размера заготовки на 10 мм с каждой стороны	$KIM(?y, ?kim) \wedge swrlb: multiply(?n_kim, ?kim, 0.95) \wedge$ $T(?y, ?t) \wedge swrlb: multiply(?n_t, ?t, 0.75) \wedge$ $Ширина(?y, ?r) \wedge swrlb: add(?n_r, ?r, -10) \wedge$
3	Изменение операции фрезерная на фрезерная ЧПУ	Уменьшение разряда выполняемых работ на 1 (разряд)	Подготовительно-заключительное_время (?y, ?pz) $\wedge swrlb: multiply(?n_pz, ?pz,$ 0.4) $\wedge$ Операция_ТП(?z) $\wedge$ наименование_операции(?z, "фрезерная ЧПУ") $\rightarrow$ Операции_ТП(?x, ?z) $\wedge$ тип_операции_в_ТП(?z, "рекомендованный") $\wedge$ Квалификация(?z, ?n_kv) $\wedge$
4	Изменение операции фрезерная на фрезерная ЧПУ	Уменьшение подготовительно заключительного времени на 40%	$T(?z, ?n_t) \wedge$ $KIM(?z, ?n_kim) \wedge$ $Ширина(?z, ?n_r) \wedge$ Подготовительно-заключительное_время (?z, ?n_pz)
5	Изменение операции фрезерная на фрезерная ЧПУ	Уменьшение времени изготовления на 25 %	$T(?z, ?n_t) \wedge$ $KIM(?z, ?n_kim) \wedge$ $Ширина(?z, ?n_r) \wedge$ Подготовительно-заключительное_время (?z, ?n_pz)
6	Изменение операции токарная на токарная ЧПУ	Уменьшение КИМ на 5%	Технологический_процесс(?x1) $\wedge$ изделие(?x1, Корпус) $\wedge$ Операции_ТП(?x1, ?y1) $\wedge$ наименование_операции(?y1, "токарная") $\wedge$ тип_операции_в_ТП(?y1, "базовый") $\wedge$ Квалификация(?y1, ?kv1) $\wedge swrlb: add(?n_kv1, ?kv1, -2) \wedge$ $KIM(?y1, ?kim1) \wedge swrlb: multiply(?n_kim1, ?kim1, 0.95) \wedge$ $T(?y1, ?t1) \wedge swrlb: multiply(?n_t1, ?t1, 0.75) \wedge$ $Ширина(?y1, ?r2) \wedge swrlb: add(?n_r2, ?r2, -20) \wedge$ Подготовительно-заключительное_время (?y1, ?pz1) $\wedge swrlb: multiply(?n_pz1,$?pz1, 0.4) $\wedge$ Операция_ТП(?z1) $\wedge$ наименование_операции(?z1, "токарная ЧПУ") $\rightarrow$ Квалификация(?z1, ?n_kv1) $\wedge$ $KIM(?z1, ?n_kim1) \wedge$ $T(?z1, ?n_t1) \wedge$ $Ширина(?z1, ?n_r2) \wedge$ Подготовительно-заключительное_время (?z1, ?n_pz1) $\wedge$ тип_операции_в_ТП(?z1, "рекомендованный")

Рисунок 2.4 – Правила для нового ТП

После работы информационной системы онтологий получили следующие 2 замены в новом технологическом процессе (рисунок 2.5).

Условие: Изменение операции с «Фрезерная» на «Фрезерная ЧПУ»

№	Наименование	Старый показатель	Новый показатель
1	Операция	Фрезерная	Фрезерная ЧПУ
2	Оборудование	БН82	БН82 с ЧПУ
3	Трудоемкость	1,15	0,9
4	КИМ (коэфф. использования материала)	0,8	0,95
5	Разряд	4	3
6	Оснастка	шаблон	-
7	Заготовка	60х400	60х380
8	Кол-во доработок	0	1

Условие: Изменение операции с «Токарная» на «Токарная ЧПУ»

№	Наименование	Старый показатель	Новый показатель
1	Операция	Токарная	Токарная ЧПУ
2	Оборудование	1К62	1К62 с ЧПУ
3	Трудоемкость	2,56	2,2
4	КИМ (коэфф. использования материала)	0,8	0,95
5	Разряд	4	2
6	Оснастка	скоба	-
7	Заготовка	60х400	60х380
8	Кол-во доработок	0	1

Рисунок 2.5 – Изменения в новом ТП

Для расчета показателей качества маршрутных карт по рисунку 2 получаем следующее.

Рассчитываем показатель p_3 по формуле $R_{i_{\text{ц}}}$, связанной с изменением рабочих центров, т.е. меняются атрибуты в онтологии операция, оборудование, разряд и оснастка у двух операций, т.е. $p_3 = 2 \cdot 4 = 8$ (ед.) изменений.

Рассчитываем показатель p_2 по формуле T_j , связанной с изменением трудоемкости в ОКП, т.е. меняются атрибуты в онтологии трудоемкость, КИМ и заготовка у двух операций, т.е. $p_2 = 2 \cdot 3 = 6$ (ед.) изменений.

Рассчитываем показатель p_1 по формуле $M_{\text{мп}}$, связанной с изменением количества доработок в конструкторской документации, т.е. меняются атрибуты в онтологии количество доработок у двух операций, т.е. $p_2 = 2 \cdot 1 = 2$ (ед.) изменений.

В итоге имеем, что при внедрении нового ТП для уменьшения энтропии придется внести 2 изменения в конструкторском отделе при изменении КД, 6 изменений в производственном отделе при изменении трудоемкости изготовления изделия для адаптации нового ТП в цехе, 8 изменений в технологическом отделе при работе новых рабочих центров.

2.5 Модель функционирования производственных элементов

ГИС ОТС ТПП на основе онтологического подхода

В реальных условиях процесс минимизации показателей качества p_1 и p_2 обусловлен минимизацией соответственно трудоемкости изготовления и количества доработок маршрутной карты. В качестве объекта необходимо рассмотреть процесс в виде переходов, то есть изменение характеристик объекта изготовления при переходе из одного состояния в другое.

Такая универсальность подхода к деталям и технологическим процессам позволит унифицировать процедуру построения маршрута в целях использования ее на любом производстве с любым количеством средств производства.

Поскольку построение маршрута представляет собой технологическую задачу, то для нее может быть найдено несколько решений, из которых только одно окажется наиболее эффективным и рациональным. В настоящее время во всех программных решениях существуют механизмы построения технологического маршрута, которые основаны на использовании шаблонов, ранее удачно сконфигурированных под конкретную деталь. Одной из задач повышения эффективности управления является определение такого маршрута, который является наиболее рациональным и результат которого будет максимально выгоден как с точки зрения минимально задействованных ресурсов, так и с точки зрения максимальной экономической выгоды.

С целью совершенствования проектирования технологических маршрутов маршрутных карт требуется решать следующие задачи:

1. Сформулировать основные критерии определения «эффективного маршрута».
2. Определить критерии и ограничения, которые влияют на выбор ресурсов.
3. Реализовать алгоритм модификации исходного технологического маршрута или построения нового, который позволит учесть следующие особенности:
 - текущее состояние СП;
 - взаимозаменяемость СП.
4. Определить структуру производства и удаленность производственных участков друг от друга.
5. Провести инвентаризацию информационных ресурсов по поддержке автоматизированных средств составления маршрутной карты и состояния имеющейся онтологии производственных знаний, а также средств взаимодействия между ними.

Проектирование маршрута маршрутной карты опирается на данные системы проектирования ТП и системы планирования, причем каждая единица планирования представлена в виде попереходной технологии в электронной справочной директории онтологии производства.

Единицами планирования изделия в форме ТП с заложенным технологическим маршрутом являются как конечная номенклатура планирования, так и полуфабрикат с переходами из одного состояния в другое: $N^{e_{ij}} \rightarrow N^{V_{ij}}$.

Исходная информация по номенклатуре деталей, запланированных к изготовлению, должна быть представлена обоснованно выбранной пооперационной технологией.

Приоритетные объекты, выполняемые в ближайший срок, перемещаются в начало списка, то есть становятся первыми в очереди. Список разбивается на технологические операции по каждому объекту планирования.

Отметим, что формирование маршрута в виде цикла производства происходит с учетом экономических и временных критериев, а также возможности выполнения операционной технологии на средствах производства, основными параметрами которых являются максимальные производительность и загрузка. Обобщенная схема построения маршрут представлена на рисунке 2.6.

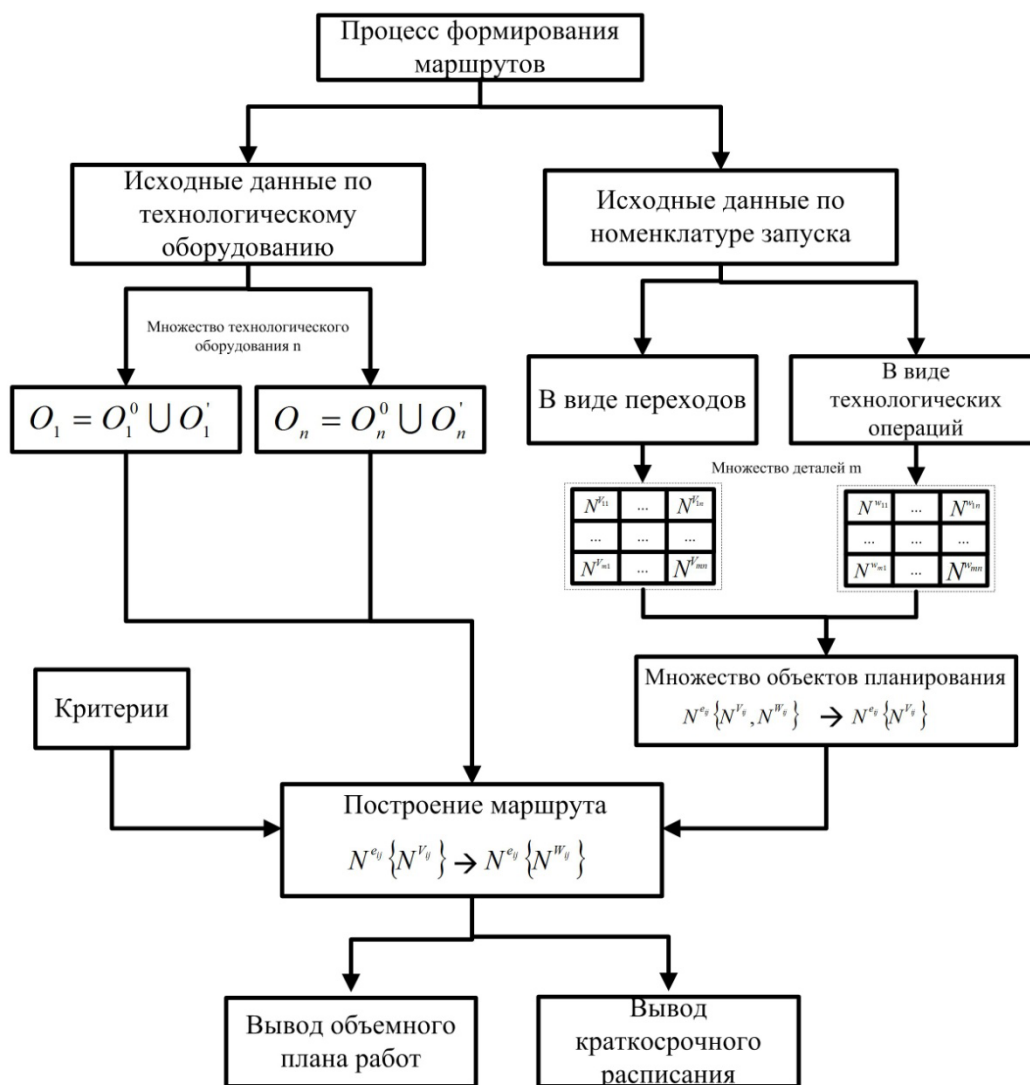


Рисунок 2.6 – Обобщенная схема построения маршрута

Рассмотрим получение нового технологического маршрута по обобщенной схеме (рисунок 2.6) для примера из пункта 8.4 для изделия «корпус».

Для реализации ТП создаём соответствующие элементы онтологии. Создаём базовые операции и рекомендованные по правилам (для модификации ТП) (рисунок 2.7). Описываем атрибуты операции (рисунок 2.8). Для рекомендованной задаём только константные атрибуты, остальные будут вычисляться на основании правил (рисунок 2.9). Структура для описания атрибутов (рисунок 2.10). Задаём операции базового ТП (рисунок 2.11). Структура объектных свойств для ТП (рисунок 2.12). Добавляем правило (рисунок 2.13).

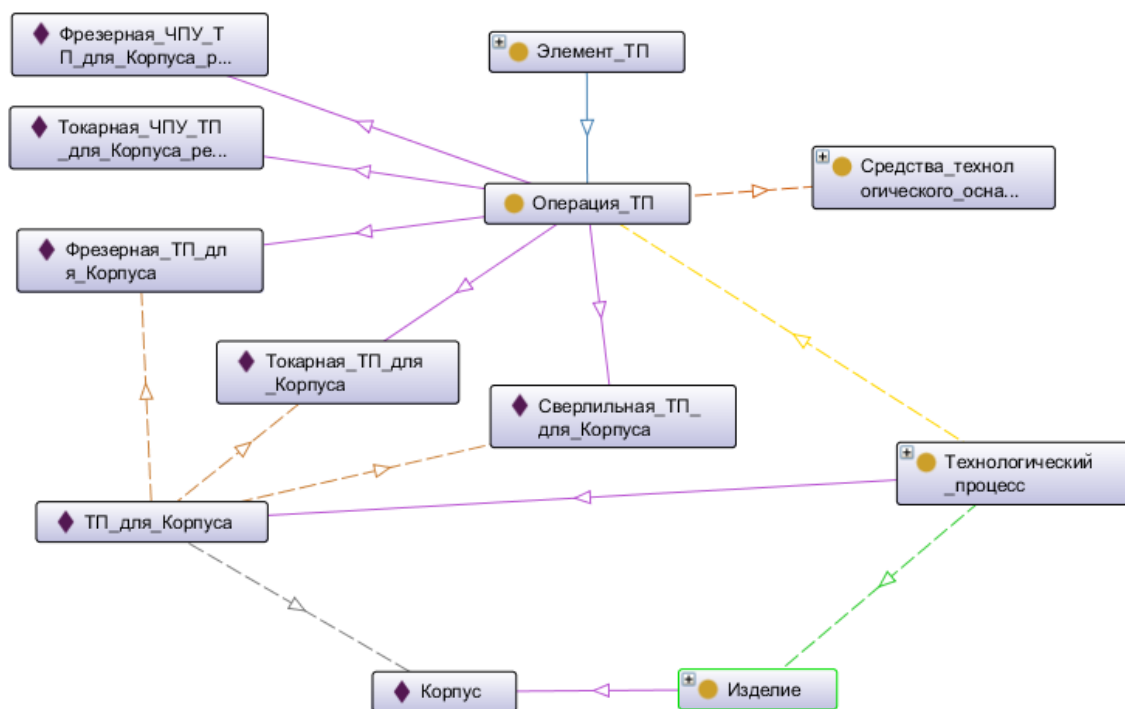


Рисунок 2.7 – Базовые операции и рекомендованные по правилам (для модификации ТП)

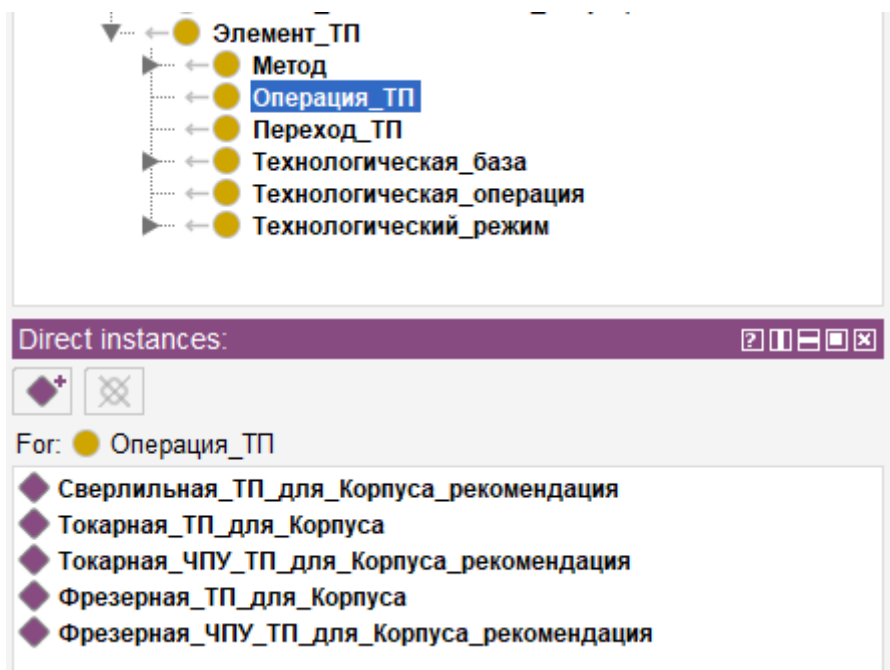


Рисунок 2.8 – Описываем атрибуты операции

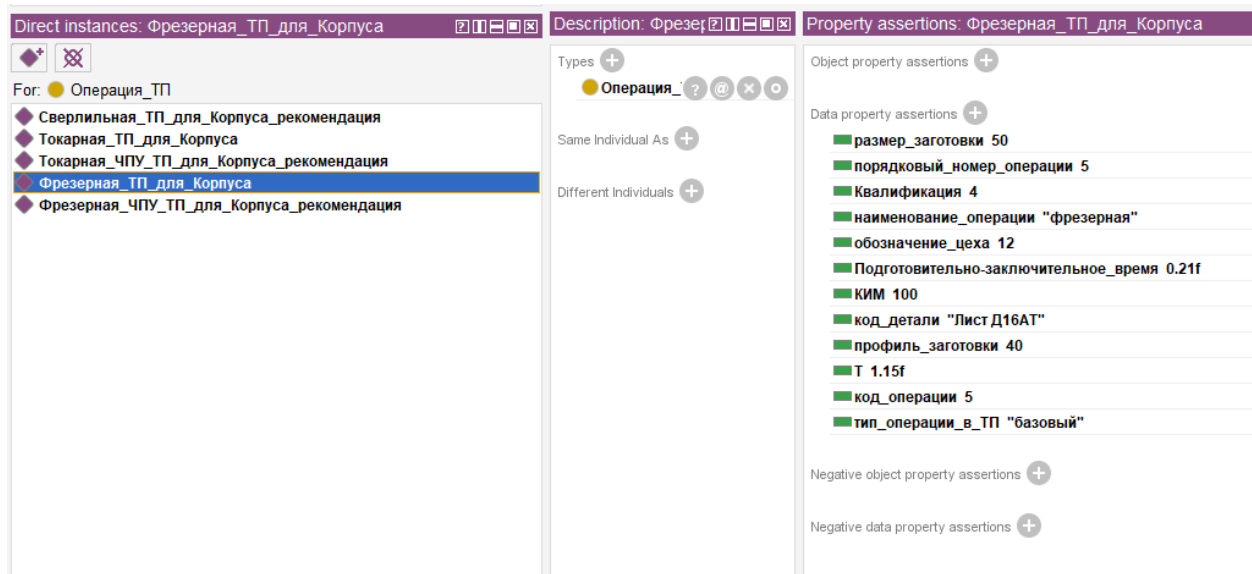
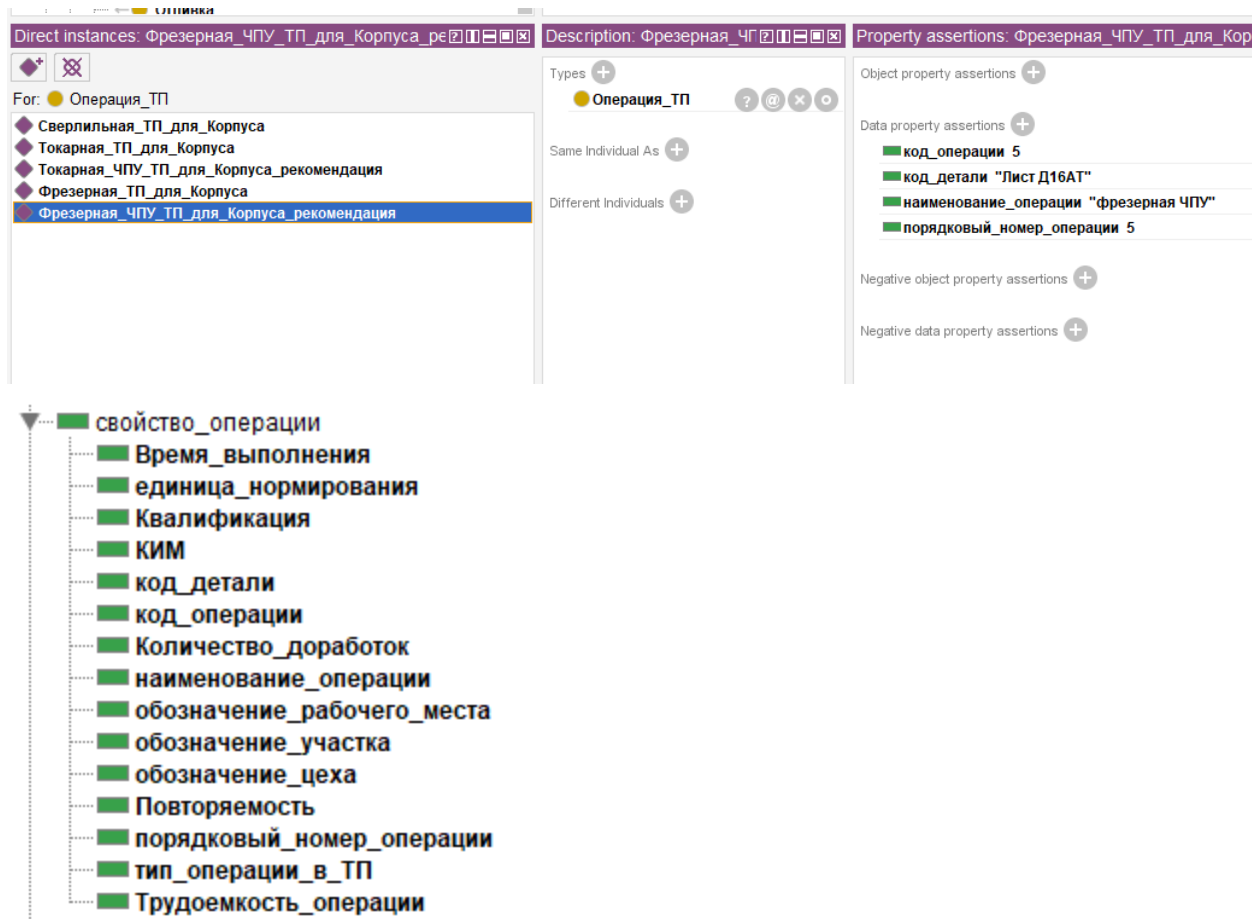


Рисунок 2.9 – Константные атрибуты для онтологии



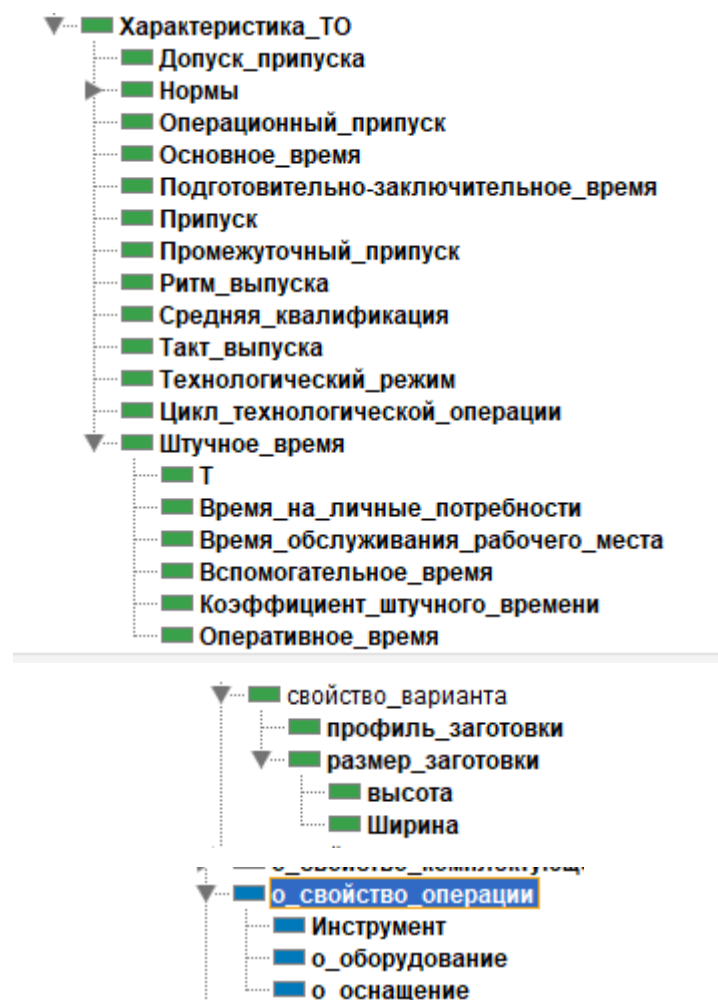


Рисунок 2.10 – Структура для описания атрибутов

Рисунок 2.11 – Задаём операции базового ТП

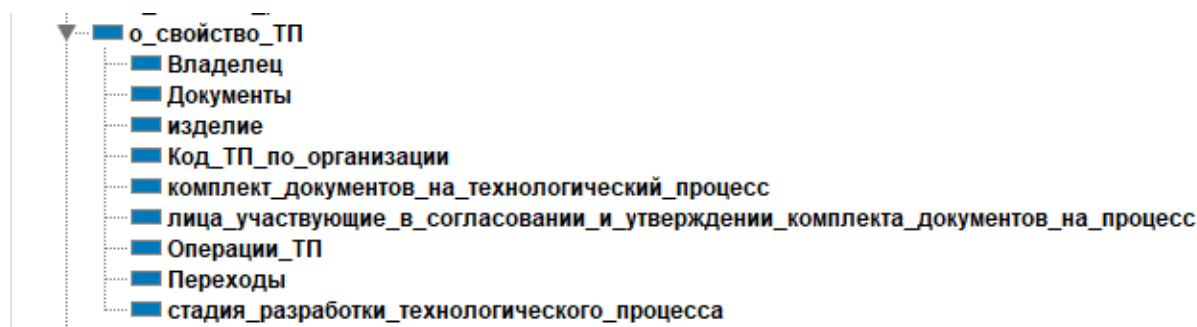


Рисунок 2.12 – Структура объектных свойств для ТП

	Name	Rule	Comment
✓	S1	tp2019:Технологический_процесс(?x) ^ tp2019:изделие(?x, tp2019:Корпус) ^ tp2019:Операции_ТП(?x, ...	изменение фрезерной операции
✓	S2	tp2019:Технологический_процесс(?x1) ^ tp2019:изделие(?x1, tp2019:Корпус) ^ tp2019:Операции_ТП(...	изменение токарной операции

Edit

Name

S1

Comment

изменение фрезерной операции

Status

Ok

tp2019:Технологический_процесс(?x) ^ tp2019:изделие(?x, tp2019:Корпус) ^ tp2019:Операции_ТП(?x, ?y) ^ tp2019:наименование_операции(?y, "фрезерная") ^ tp2019:тип_операции_в_ТП(?y, "базовый") ^ tp2019:Квалификация(?y, ?kv) ^ swrlb:add(?n_kv, ?kv, -1) ^ tp2019:КИМ(?y, ?kim) ^ swrlb:multiply(?n_kim, ?kim, 0.95) ^ tp2019:T(?y, ?t) ^ swrlb:multiply(?n_t, ?t, 0.75) ^ tp2019:Ширина(?y, ?r) ^ swrlb:add(?n_r, ?r, -20) ^ tp2019:Подготовительно-заключительное_время(?y, ?pz) ^ swrlb:multiply(?n_pz, ?pz, 0.4) ^ tp2019:Операция_ТП(?z) ^ tp2019:наименование_операции(?z, "фрезерная ЧПУ") -> tp2019:Операции_ТП(?x, ?z) ^ tp2019:тип_операции_в_ТП(?z, "рекомендованный") ^ tp2019:Квалификация(?z, ?n_kv) ^ tp2019:T(?z, ?n_t) ^ tp2019:КИМ(?z, ?n_kim) ^ tp2019:Ширина(?z, ?n_r) ^ tp2019:Подготовительно-заключительное_время(?z, ?n_pz)

Cancel

Ok

Рисунок 2.13 – Добавляем правило

После применения правила в ТП добавляются рекомендации для операций (выделенное жёлтым) (рисунок 2.14).

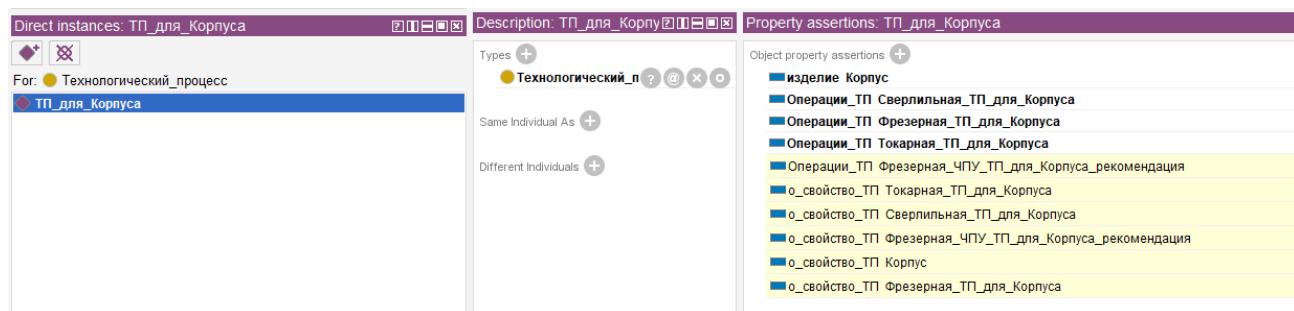


Рисунок 2.14 – Рекомендации для операций

Рассчитанные согласно правилам атрибуты рекомендованной операции (рисунок 2.15).

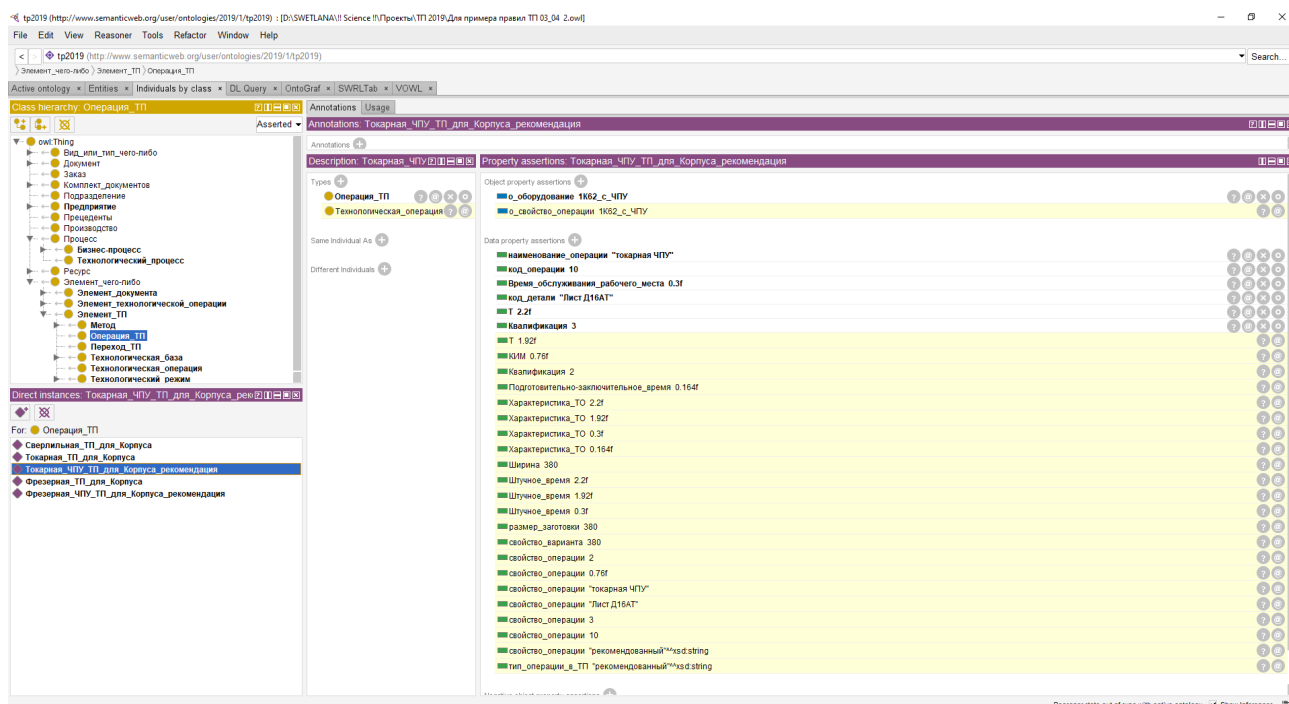


Рисунок 2.15 – Атрибуты для операций

В итоге получаем, новые атрибуты для рекомендованных операций в технологическом маршруте по обобщенной схеме построения маршрута (рисунок 2.16).

Property assertions: Фрезерная_ЧПУ_ТП_для_Корпуса_рекомендация	
Object property assertions +	
o_оборудование	БН82_с_ЧПУ
o_свойство_операции	БН82_с_ЧПУ
Data property assertions +	
код_операции	5
код_детали	"Лист Д16АТ"
наименование_операции	"фрезерная ЧПУ"
порядковый_номер_операции	5
T	0.86249995f
КИМ	0.76f
Квалификация	3
Подготовительно-заключительное_время	0.084f
Характеристика_TO	0.084f
Характеристика_TO	0.86249995f
Ширина	380
Штучное_время	0.86249995f
размер_заготовки	380
свойство_варианта	380
свойство_операции	0.76f
свойство_операции	"Лист Д16АТ"
свойство_операции	5
свойство_операции	3
свойство_операции	"рекомендованный"^^xsd:string
свойство_операции	"фрезерная ЧПУ"
тип_операции_в_ТП	"рекомендованный"^^xsd:string

Рисунок 2.16 – Новые атрибуты для операций

Рассмотрим снижение трудоемкости корректировки ресурсов технологического маршрута.

Эта задача решается пошаговым обращением к множеству разделов онтологии, осуществляемым с помощью запросов со стороны технологов для получения необходимой информации.

При описании маршрутной карты производства для каждой технологической операции можно указать либо группу РЦ, на которых возможно выполнение технологической операции, либо в явном виде один РЦ. В последнем случае при планировании технологической операции будет анализироваться доступность только конкретного РЦ. Обязательным требованием при обращении к онтологии будет ведение справочника РЦ с привязкой к другим ресурсам.

В состав производственной технологии должен входить электронный справочник «Рабочие центры», содержащий перечень всех РЦ и используемый при проектировании ТП, планировании производства и создании маршрутных карт.

Состояния РЦ отслеживаются в режиме онлайн и автоматически отражаются в рабочей области средства проектирования.

Справочник «Замена рабочих центров», также необходимый для проектирования маршрутных карт и входящий в производственную технологию, содержит информацию о взаимозаменяемости РЦ. В случае отсутствия замены производится поиск аналогов.

В состав РЦ может входить неограниченное количество средств производства. При этом для каждого РЦ задается приоритет, который при планировании используется для определения РЦ из группы.

Онтологический справочник «Время транспортировки» предназначен для хранения информации о времени перемещения транспортного средства (транспорта) из одного цеха в другой, причем время транспортировки может быть как нормируемым, так и расчетным. Расчет времени может осуществляться на основе данных из онтологии, загруженных в нее в предыдущие периоды.

Наличие или отсутствие материалов должно быть учтено на момент запуска детали в производство. В случае отсутствия материалов в ТП с помощью архива технологических процессов и базы практик можно получить информацию о способах и средствах ликвидации возникшего инцидента для немедленного устранения недоработки ТП.

Таким образом, для заполнения маршрутной карты онтология должна иметь в своем составе разделы с указанными справочниками и вспомогательными данными, организованные таким образом, чтобы предоставить релевантную информацию в ответ на получаемые производственные запросы.

Немаловажным обстоятельством является очередность обработки онтологией поступающих запросов.

Источником возникновения запроса служит необходимость получения данных о потреблении ресурсов (заготовки, инструменты, оснастка) для выполнения технологических операций, указываемых в маршрутных картах. Запросы классифицируются на два типа:

- запросы на получение ресурсов,
- запросы на передачу ресурсов.

Перемещение между складами не регламентируется в маршрутных картах и не нормируется. Порядок обработки отложенного запроса и выдачи очередного ресурса по заявке СП может быть организован следующими способами [102]:

1) сначала обслуживается запрос, который первым поступил в очередь запросов (способ организации FIFO [101]), независимо от того, работает склад на выдачу или прием ресурсов;

2) первыми обслуживаются запросы на выдачу ресурсов, так как откладывание процесса выдачи может задержать работу отдельных СП РЦ. Этот вариант является обоснованным с точки зрения построения «жадных алгоритмов» с локальным значением оптимума;

3) комбинированный способ. На различных ветвях решения рассматриваются оба предыдущих варианта, но остается тот вариант обслуживания, который является оптимальным для каждого конкретного случая.

Установлено, что эффективность и производительность работы СП зависят от применяемых критериев. Анализ критериев был сделан экспертами, опрос экспертов показан на рисунке 2.17.

Показатель	эксперт 1	эксперт 2	эксперт 3	эксперт 4	эксперт 5	эксперт 6	эксперт 7	эксперт 8	эксперт 9	эксперт 10	эксперт 11	эксперт 12
п.9 Базовый показатель технологичности конструкции изделия	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
п.13 Трудоемкость изготовления изделия	1,08	0,95	1,08	1,08	0,90	1,08	0,90	1,05	1,10	1,08	1,08	1,08
п.14 Удельная трудоемкость изготовления изделия	1,00	1,00	0,95	1,10	1,10	1,00	0,95	1,00	1,05	0,95	1,10	1,10
п.15 Средняя оперативная трудоемкость технического обслуживания (ремонта) данного вида	1,00	1,05	1,00	0,90	0,90	1,05	1,08	1,08	0,90	0,90	1,08	0,95
п.16 Технологическая себестоимость изделия	0,95	0,90	0,85	0,90	0,85	0,85	0,90	0,90	0,85	0,90	0,95	0,95
п.17 Средняя оперативная продолжительность технического обслуживания (ремонта) данного вида	1,00	1,08	1,10	1,08	0,90	1,10	1,08	1,00	1,10	0,90	0,95	1,00
п.18 Материалоемкость изделия	0,90	0,90	1,10	1,08	0,95	1,00	1,00	1,08	0,95	1,10	1,00	0,95
п.19 Удельная материалоемкость изделия	1,10	1,10	1,00	1,08	1,05	1,00	0,90	0,90	1,10	1,05	1,00	0,90
п.20 Коэффициент применяемости материала	0,90	1,00	0,95	1,10	1,00	0,95	1,10	1,05	1,08	1,10	1,05	1,08
п.21 Металлоемкость изделия	0,90	0,90	0,90	1,10	0,95	1,08	0,90	1,00	1,08	1,08	0,95	1,05
п.22 Энергоемкость изделия	0,95	0,90	1,00	1,00	0,90	1,00	0,95	1,10	0,95	1,10	0,90	1,00

Рисунок 2.17 – Экспертный опрос по показателям эффективности и производительности ГИС ОТС ТПП

На рисунке 2.18 представлен график, отражающий ситуации, когда наиболее эффективным критерием построения расписания обслуживания запросов является критерий минимума всех непроизводительных времен (группировка по партиям, группировка транспортировочных операций, минимизация времени контрольной операции и т. п.). Его применение обеспечивает существенное снижение непроизводительных потерь времени для всей производственной системы и повышение эффективности ее работы и загрузки до 30 %.

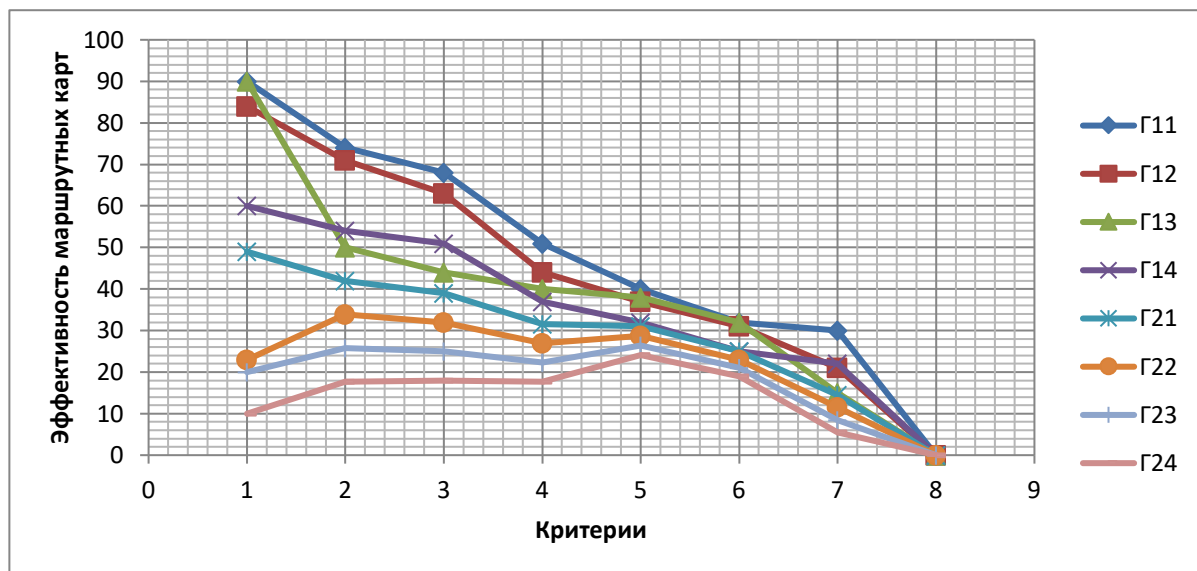


Рисунок 2.18 – Влияние партий запусков на эффективность работы СП

Близкими по эффективности к критерию X4 являются критерии X1 и X9 – максимум загрузки СП и минимум длительности выполнения маршрутной карты соответственно.

Критерий минимума времени простоев СП по причине ожидания партий продукции, обрабатываемых на предыдущих операциях, дает существенно меньший прирост производительности общей системы, поскольку кроме указанных потерь времени существуют и другие временные потери, которые данный критерий не учитывает. Часто используемый критерий минимума времен переналадок позволяет снизить длительность переналадок в некоторых случаях до 40 %.

Рассмотрим прецедентный подход к построению эффективных маршрутных карт. Как указывалось ранее, основой выполнения технологических операций является маршрутная карта, от качества заполнения которой производственно-технологическими данными зависит качество исполнения операций и качество выпускаемого изделия.

Маршрутная карта представляет собой сложную фиксированную структуру с поименованными составными частями, имеющую множество строк и столбцов разных размеров. Ее можно представить в электронном виде и обеспечить доступ ко всем ее фрагментам.

Для определения эффективности маршрутной карты требуется на предварительной стадии провести имитационное моделирование, применяя маршрутную карту как инструмент управления заполнением наиболее подходящими данными и выполнения моделирования.

Само заполнение маршрутной карты основано на использовании прецедентного анализа онтологии производства и выбора близких прецедентов на базе их рейтинга.

Для предлагаемого подхода при поиске в онтологии необходимой информации для заполнения маршрутной карты целесообразно использовать прецедент, выбранный в зависимости от содержания производственных задач и позволяющий структурировать единицы производственного опыта.

Общая структура прецедента включает два основных компонента:

- идентифицирующая (характеризующая) часть – описывает опыт формирования маршрутной карты таким способом, который позволяет оценить возможность качественного использования при заполнении ее конкретной части;
- рейтинг – описывает частоту применяемости прецедента в производственных ситуациях, решение как часть единицы производственного опыта.

В основу совершенствования проектирования маршрутной карты положен интеллектуальный анализ производственной информации, проводимый на основе использования:

- справочников технологических операций и переходов;
- справочников средств производства (оборудования и рабочих центров);
- архивных данных;
- баз прецедентов.

Онтология в этом случае предоставляет следующие возможности:

- 1) хранить прежние данные о статистике хода производства;
- 2) использовать ее как справочник (гlossарий);
- 3) использовать ее как архив разработок;
- 4) пополнять инновационными проектами;
- 5) использовать по частям из-за структурированности производственной информации.

Таким образом, разработка онтологии производственной среды, по сути, состоит в переходе от документальной базы информационных ресурсов предприятия к электронным представлениям, которые могут быть организованы по системе «вопрос-ответ» и восприняты программными средствами обработки производственных ситуаций и проблем.

Модель технологической операции представляется в виде сети Петри, которая достаточно подробно описана в приложении Б. Такая модель реализуется программным способом и служит, как и электронная версия маршрутной карты, компонентом комплекса средств автоматизации поддержки динамического заполнения и проверки эффективности маршрутной карты.

Структурная схема системы действий по наполнению маршрутной карты производственными данными из онтологии и передаче этой информации в имитационную модель выполняемой технологической операции представлена на рисунке 2.8 и состоит из

трех частей: модели технологической операции (верхняя часть рисунка), представленной сетью Петри, вершины которой содержат пооперационные данные; структурной модели маршрутной карты (в центре рисунка; стрелками указаны направления передачи данных); производственной онтологии в виде блоков документальных данных, в которые входит комплекс средств автоматизации (КСА) поддержки поиска необходимых прецедентов (нижняя часть рисунка).

Для заполнения маршрутной карты данными, необходимыми для выполнения технологического процесса, предлагается использовать следующий подход. В общую модель взаимодействия с онтологией, в блок подсистемы обработки модели подставляются электронные модели маршрутной карты и технологической операции, которые будут взаимодействовать следующим образом.

По установленному порядку заполнения карты выбираются имена ее частей, которые служат запросами в онтологию либо в ее справочный раздел по принятой системе поиска, либо в раздел базы прецедентов, организованный в соответствии с установленным классификатором или глоссарием. Выбранные из онтологии прецеденты размещаются на соответствующих местах электронной маршрутной карты и сохраняются в ней на все время моделирования. См. рисунок 2.20.

Далее происходит переход к следующей по порядку вершине модели технологической операции. Указанные действия повторяются по всем имеющимся в модели шагам технологической операции.

Если на каком-либо шаге результат окажется отрицательным, моделирование приостанавливается. В этом случае требуется выполнить возврат к онтологии и запросить второй вариант прецедента.

Процесс управления заполнением маршрутных карт и моделированием технологической операции с использованием данных онтологии производится технологом-проектировщиком в пошагово-интерактивном итерационном порядке, что в подобных ситуациях обеспечивает получение приемлемого результата проектирования маршрутных карт, наполненных производственными данными, позволяющими выполнять технологические операции с высоким качеством.

Отметим, что в каждом переходе от одного состояния технологической операции в другое осуществляется оценка возможного перехода путем прецедентного анализа значения трудоемкости используемого средства соответствующей технологической операции и сохранение его в базу производственных данных для дальнейшей оценки. В итоге, удастся для базового ТП (рисунок 2.21) создать новый модифицированный ТП (рисунок 2.22) для примера из пункта 2.4.

Листы документа										Шпальта									
Дубл.	0001		15.05.2010							1	Петров	0001		15.05.2010					
Взам.	0002		15.05.2010							2	Иванов	0002		15.05.2010					
Подп.	0003		15.05.2010																
образец										ДАЕИ.741134.272-07									
Разработ. Петров										021.10100.16317									
Соглас. Сидоров										3 1									
Исполн. Сидорова										ш.п. Планка фирменная									
М 01										Лист Д15АТ/75/1, 6х1200х300 / АБВ / ГО ОТ 21 031-75 / III-IV В.ст.3 ГО ОТ 14037-09									
М 02										Код									
А										Код, наименование операции									
В										Код, наименование оборудования									
А 03										12 02 6 Фрезерная ИО Т.кат 466-02									
В 04										БН02 фрезер. 4 сплн 1 1 1 460 1 0,21 1,16									
О 06										Фрезеровать торцы с двух сторон, выдерживая размер 356±1,2									
Т 08										АБВГ.000000.000(1) - тиски; АБВГ.000000.000(2) - фреза бисовая 5х25; АБВГ.000000.000(1) - шаблон									
07																			
А 05										12 02 10 Токарная ИО Т.кат 606-02									
В 06										1х02 токар. 4 сплн 1 1 1 460 1 0,41 2,66									
О 10										Точить поверхности, выдерживая размеры: Ф66-0,2; Ф32-0,17; 266±0,5; 40±0,2. Притупить острые кромки									
Т 11										АБВГ.000000.000(1) - 3-х кулачковый патрон; АБВГ.000000.000(1) - резец проходной; АБВГ.000000.000(1) - шаблон; АБВГ.000000.000(1) - слесарь; АБВГ.000000.000(1) - микрометр									
12																			
А 13										12 02 16 Сверлильная ИО Т.кат 613-02									
В 14										2А136 сверл. 4 сплн 1 1 1 460 1 0,13 0,46									
О 16										Заточить									
Т 18										АБВГ.000000(2) - сверло									
МК										Маршрутная карта технологического процесса									

Рисунок 2.21 – Маршрутная карта базового ТП (до работы онтологии)

ГОСТ 3.1118 - 82

Форма 1

Дубл.	0001		18.08.2010							1.	Tempol 0001		18.08.2010						
Взам.	0002		18.08.2010							2.	afsts 0002		18.08.2010						
Подп.	0003		18.08.2010																
образец				DAEH.741134.272-07				021.10100.16317				3	1						
Разраб.	Петров		14.08.2010	ФНПЦ "ОАО НПО "Марс"				DAEH.741134.272-07				XXXXX XXXXX				021.10100.16317			
Совлас.	Сидоров		21.08.2010																
Н.контр.	Зайцева		14.08.2010	шт.				Планка фирменная				0							
М 01 Листе D16AT / 75 / 1,5x1200x300 / АББ / ГОСТ 21631-10 / IV IV В ст 3 ГОСТ 14637-89																			
Код КВ МД ЕН К раск. КИМ Код загот. Профиль и размер КД МЗ																			
М 02 40 ка 1,520 1 1,540 0,55 0,8 штамп. загот. 60x385 1 1,725																			
А Цех Рх РМ Опер. Код, наименование операции Обозначение документа																			
В 4-13 0,5 Фрезерная с ЧПУ НОТ №1455-82																			
А 03 12 02 10 Фрезерная с ЧПУ фрезер. 3 сл/н 1 1 1 450 1 0.15 0.9																			
Б 04 6Н82 с ЧПУ фрезер. 3 сл/н 1 1 1 450 1 0.15 0.9																			
О 05 Фрезеровать торцы в бух сторон, выдерживая размер 385—1.2																			
Т 06 АББГ XXXXXX XXX(1) - тиски, АББГ XXXXXX XXX(2) - фреза дисковая АКБМ, АББГ XXXXXX XXX(1) - шаблон																			
07																			
А 08 12 02 10 Токарная с ЧПУ НОТ №1565-82																			
Б 09 1К62 с ЧПУ мок. 3 сл/н 1 1 1 450 1 0.3 2.2																			
О 10 Точить поверхность, выдерживая размеры Ф58-0,2; 0,33-0,17, 256+ 0,6, 40+0,2. Притупить острые зрелу																			
Т 11 АББГ XXXXXX XXX(1) - 3-х кулачный патрок; АББГ XXXXXX XXX(1) - резец проходной, АББГ XXXXXX XXX - шабер, АББГ XXXXXX XXX(1) - скоба; АББГ XXXXXX XXX - микрометр....																			
12																			
А 13 12 02 15 Сверлильная с ЧПУ НОТ №1613-82																			
Б 14 2А135 с ЧПУ сверл. 4 сл/н 1 1 1 450 1 0.05 0.3																			
О 15 Замочить																			
Т 16 АББГ XXXXXX(2) - сверло																			
МК																			
Маршрутная карта технологического процесса																			

Рисунок 2.22 – Маршрутная карта модифицированного ТП после работы онтологии

Выводы по главе 2

1. Сформирована новая структура ГИС ОТС ТПП с добавлением нового элемента информационного отдела (ИО), установлены новые связи в ОТС для реализации в системе согласованного взаимодействия между КП, ТП, ПП и ИО, а также РОС.
2. Разработаны новые математические модели принятия организационно-технологических решений (ОТР) РОС, РКП, РПП и РИО, в которых реализованы новые связи взаимодействия в ОТС.
3. Разработана новая система показателей качества маршрутных карт с уменьшением энтропии информации, позволяющая определять стимулирующие воздействия в ГИС ОТС ТПП для согласованного взаимодействия в системе.
4. Разработана система взаимодействия моделей технологической операции, маршрутной карты и онтологии производства, которая позволяет в интерактивном режиме заполнять прецедентными данными маршрутную карту, при этом выбор прецедентов осуществляется на основании предпочтения значений их рейтингов.
5. Разработан подход к минимизации количества доработок маршрутной карты технологического процесса, отличительной особенностью которого является использование автоматизированного подбора переходов в онтологии (в разделе «Архив технологических процессов»), что позволяет на основании технологического опыта прежних лет корректно уменьшать число этих переходов.

6. Разработан алгоритм эффективного подбора средств производства для заполнения маршрутной карты на основе прецедентного подхода, в котором необходимые производственные данные сосредоточиваются в архивных базах знаний и извлекаются из них с последующими обращениями к системе планирования ресурсов. Такой подход позволяет организовать сегментированную производственную онтологию прецедентов, включающую множество полезных плановых показателей и опытных статистических производственных данных, автоматизировать процесс подготовки производства и повысить его эффективность.

7. На основе использования сетей Петри разработан алгоритм моделирования переходов технологических процессов, позволяющего обеспечить минимальные значения трудоемкости создаваемого производством изделия и в итоге повысить экономическую эффективность реализуемого технологического процесса.

Глава 3. ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОДДЕРЖКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

3.1 Интеллектуализация процессов технологической подготовки производства

Базисными направлениями сокращения цикла конструкторско-технологической подготовки производств, повышения качества выпускаемых технических средств, повышения экономической эффективности создаваемой продукции являются:

- глубокая интеграция конструкторско-технологических решений на всех стадиях создания технических средств. Конструкторско-технологические решения представляют собой совокупность конструктивных элементов проектируемого изделия, изготавливаемого из конкретных материалов, собираемого из определенных деталей, узлов, и конкретных технологических операций и процессов, обеспечивающих требования, предъявляемые к новому изделию;

- использование стандартных практик и прецедентов конструкторских, технологических и организационных решений;

- проведение сравнительного многофакторного технико-экономического анализа, использование методологий функционально-стоимостного, функционально-ценностного анализа;

- автоматизация конструкторских и технологических работ, использование систем автоматизированного проектирования и моделирования бизнес-процессов. Для повышения производительности конструкторского и технологического труда необходима компьютеризация и последующая интеллектуализация всех этапов конструкторско-технологической подготовки производств;

- интеграция подготовки производства с прикладными исследованиями в области искусственного интеллекта. Основная задача заключается в координации научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, комплексном исследовании бизнес-процессов, стимулировании формирования новых конструкторско-технологических решений.

Основные направления интеллектуализации САПР:

- 1) порождающее проектирование (generative design): компьютерная система сама выступает в роли активного участника процесса проектирования;

- 2) имитационное моделирование, включающее:

- моделирование поведения объекта проектирования,

- моделирование управления проектом.

Развитие цифровой экономики (Digital Economy) в современном мире во многом обусловлено эффективной работой с большими, стремительно увеличивающимися объемами данных (Big Data).

Для удовлетворения требований по постоянному повышению производительности необходимым и актуальным этапом развития высокотехнологичных производств является цифровая трансформация бизнес-процессов и бизнес-моделей, то есть фактически трансформация высокотехнологичной промышленности в цифровую промышленность на основе разработки и применения цифровых двойников (Digital Twin, DT):

- поведения в различных условиях эксплуатации реальных материалов, объектов, продуктов, изделий, систем, машин, конструкций, оборудования, киберфизических систем на основе семейства взаимоувязанных математических моделей высокого уровня адекватности реальным материалам, объектам и физико-механическим процессам, которые можно описать лишь нестационарными нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных (цифровой двойник 1-го типа, DT-1);

- разнообразных технологических процессов, с помощью которых создаются реальные материалы и реальные объекты, изделия, продукты и т. д. (например, литейные процессы для металлических изделий, процессы вакуумной инфузии для композитных конструкций, процессы штамповки, металлообработки, сварки, сборки и др.), которые представляют собой нестационарные нелинейные процессы, описываемые, как и в случае DT-1, нестационарными нелинейными уравнениями в частных производных (цифровой двойник 2-го типа, DT-2) [101].

Разработка изделий и продукции на основе технологии цифровых двойников позволяет в кратчайшие сроки создавать высокотехнологичные технические средства, значительно снижать объемы физических и натурных испытаний, что в целом в сравнении с традиционными подходами обеспечивает значительное снижение временных, финансовых и иных ресурсных затрат (в некоторых случаях – в 5 раз и более).

Интеллектуализация должна происходить в двух направлениях по отношению к системе проектирования технологического процесса: внешнем и внутреннем (рисунок 3.1).

Как указывалось выше, к преимуществам онтологического подхода относятся следующие возможности:

- обработка данных в режиме онлайн;
- единая отчетность;

- оповещение в случае отклонений от технологического режима работы оборудования;
- интеграция с информационной системой (ИС) компании (единое информационное поле);
- серверные расчеты по всему фонду скважин;
- выявление потенциала скважин, подготовка решений;
- быстрое принятие управленческих решений;
- минимизация рисков в области охраны здоровья и окружающей среды.

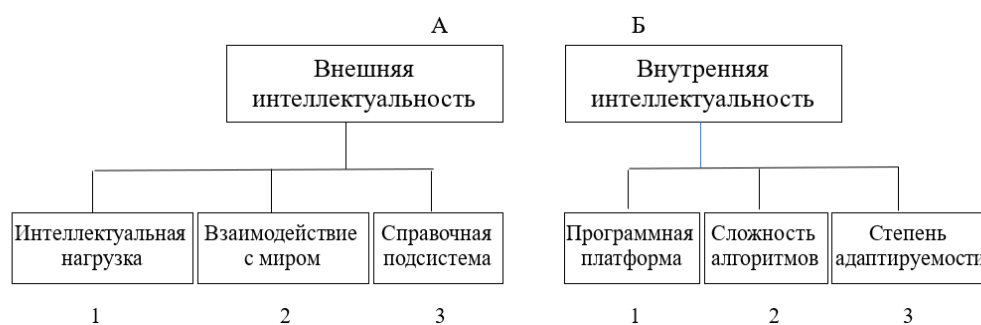


Рисунок 3.1 – Пример структуры вектора интеллектуализации

Современные проблемы онтологического инжиниринга:

- 1) методологические проблемы приобретения знаний:
 - размытость критериев выбора подходящей задачи;
 - слабая проработанность теоретических аспектов процессов извлечения знаний (философские, лингвистические, психологические, педагогические, дидактические и другие аспекты), а также отсутствие обоснованной классификации методов извлечения знаний и разброс терминологии;
 - отсутствие единого теоретического базиса процедуры структурирования знаний;
 - жесткость моделей представления знаний, заставляющая разработчиков обеднять и урезать реальные знания экспертов;
 - несовершенство математического базиса моделей представления знаний (дескриптивный, а не конструктивный характер большинства имеющихся математических моделей);
 - эмпиричность процедуры выбора программного инструментария и процесса тестирования (отсутствие критериев, разрозненные классификации);

2) автоматизированное расширение (наполнение и обогащение) существующей онтологии, как правило, на основе информации, извлеченной из предметно-ориентированного контента;

3) узкая направленность методов интеграции онтологий с данными на решение задач конкретного проекта, обеспечение возможности интеграции данных из источников только одного типа, отсутствие модульности и расширяемости, а также удобного инструментария;

4) недостаток или отсутствие квалифицированных специалистов в области онтологического инжиниринга.

Для реализации онтологического подхода в технологической подготовке производства необходимо разработать следующие элементы:

- концептуальную модель предметной области «Технологическая подготовка производства»;

- метод выбора источников знаний о ТПП.

3.2. Концептуальная модель предметной области «Технологическая подготовка производства»

Концептуализация включает:

- процесс перехода от представления предметной области на естественном или ограниченном естественном языке к ее описанию на некотором формальном языке, ориентированном на компьютерное представление;

- результат подобного процесса, то есть описание множества понятий (концептов) предметной области, знаний о них и связях (отношениях) между ними;

- структуру реальности, независимо от словаря и конкретной ситуации;

- процедуру введения онтологических представлений в накопленный массив эмпирических данных;

- первичную теоретическую форму, обеспечивающую теоретическую организацию материала;

- схему связи понятий и т. д.

Процесс обеспечения качества выпускаемой продукции зависит от разных факторов: комплексной подготовки производства, производственной инфраструктуры, материально-технического обеспечения, сбыта и реализации продукции, производственных процессов. Все они взаимосвязаны и представляют сложную систему, поддерживаемую информационной средой предприятия. Объектом исследования данной работы является одна из составных частей комплексной подготовки производства – технологическая подготовка производства (рисунок 3.2).

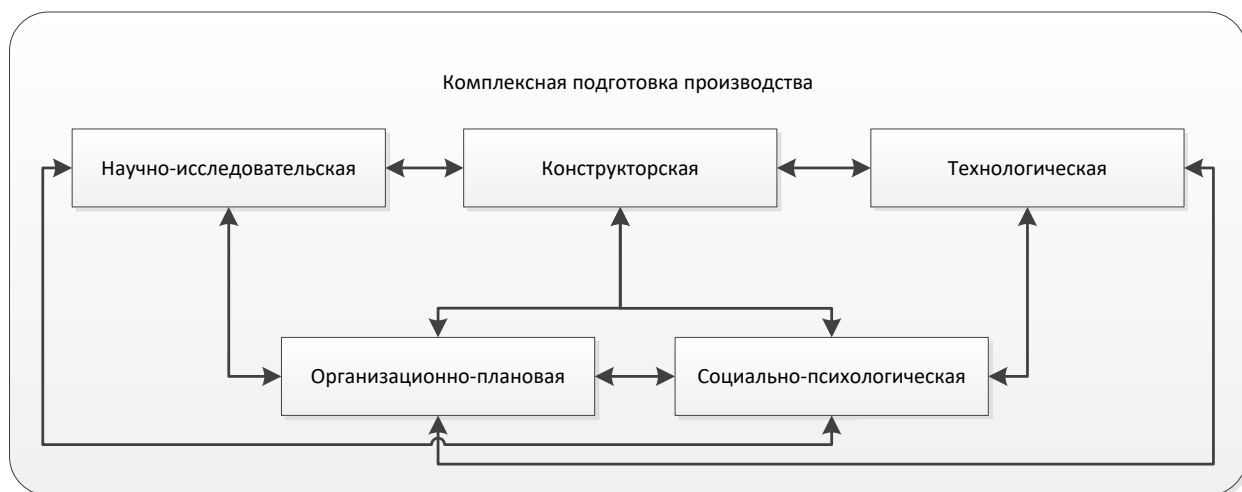


Рисунок 3.2 – Структура комплексной подготовки производства

Технологическая подготовка производства имеет множество определений и их совокупность достаточно полно обеспечивает ее содержательную основу. Рассмотрим наиболее распространенные и используемые на практике.

Технологическая подготовка производства – совокупность взаимосвязанных процессов, обеспечивающих технологическую готовность предприятий или предприятия к выпуску изделия заданного уровня качества при установленных сроках, объеме выпуска и затратах [46].

Технологическая готовность производства – наличие на предприятии полных комплектов конструкторской и технологической документации и средств технологического оснащения, необходимых для осуществления заданного объема выпуска продукции с установленными технико-экономическими показателями [27].

Таким образом, прослеживается влияние ТПП на качество изделие. Предметом исследования являются интеллектуальные методы, в частности онтологии, способные сократить сроки и затраты на ТПП и тем самым повысить ее эффективность.

Целью ТПП является оптимальное по срокам и ресурсам обеспечение технологической готовности производства к изготовлению изделий в соответствии с требованиями заказчика или рынка данного класса изделий, требованиями нормативной документации, техническими условиями (ТУ), обеспечение производства необходимыми техническими решениями для выпуска продукции.

Технологические резервы – это резервы сохранения качества изделий и повышения экономичности их производства и эксплуатации на основе применения прогрессивных решений в процессе технологической подготовки производства.

Классическую схему направления реализации резервов ТПП дополним следующими направлениями, развиваемыми в данном исследовании (рисунок 3.3):

- интеллектуализация процессов подготовки производства (ПП) за счет внедрения онтологического подхода и информационной платформы, обеспечивающей взаимодействие существующей информационной среды с внедряемыми онтологиями;
- реализация и поддержка в рамках информационной платформы мониторинга процессов ТПП;
- разработка на базе онтологий методов повышения качества организационных планов ТПП и реализация их в рамках информационной платформы;
- разработка на базе онтологий методов повышения качества технологической документации (ТД) за счет контроля уровня технологической готовности производства (контроль комплектности ТД и методы проектирования шаблонной оснастки).



Рисунок 3.3 – Направления реализации резервов по сокращению затрат на ТПП

Технологический процесс – часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда [30]. Технологические процессы можно классифицировать следующим образом (рисунок 3.4).

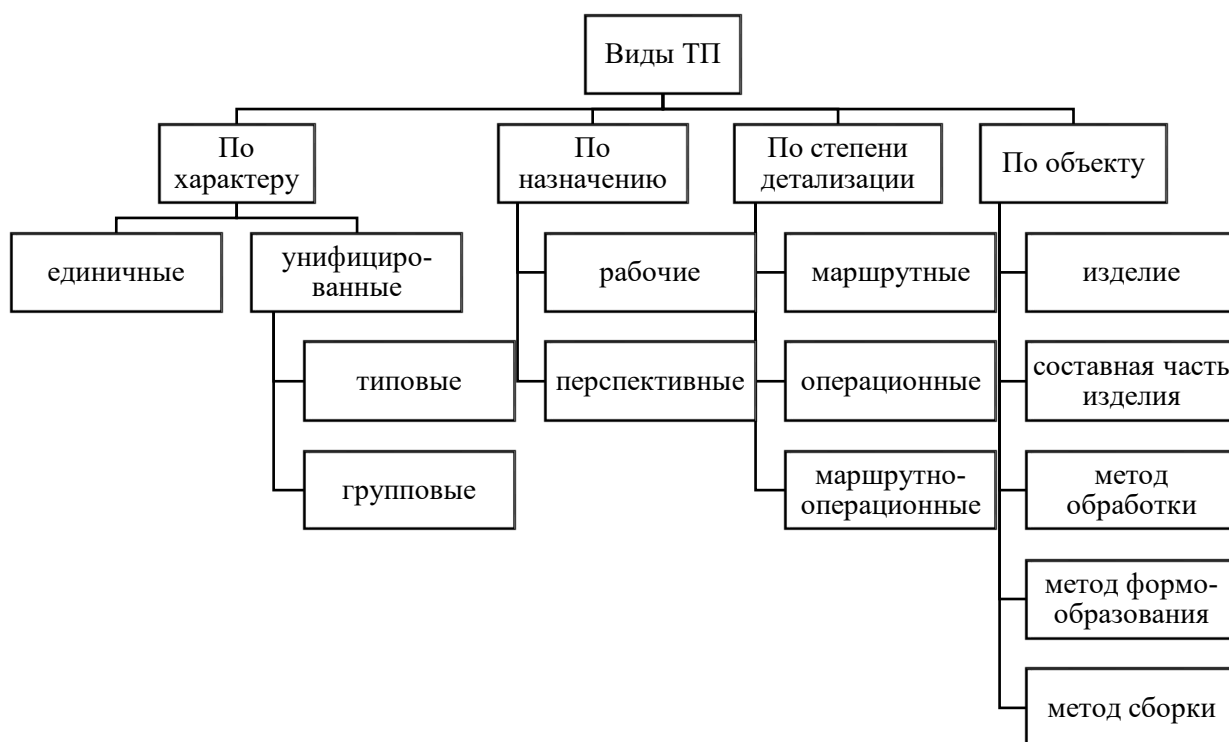


Рисунок 3.4 – Классификация технологических процессов

Процесс ТПП включает следующие фундаментальные блоки задач:

1. Обработка конструкции изделия и деталей на технологичность. Проводится перед разработкой технологических процессов. Основные объекты: материалы, рациональность конструкций, сборки и т. п.
2. Разработка межцеховых технологических маршрутов (расцеховка) – распределение деталей и узлов между цехами и участками по последовательности видов обработки (литейные, кузнечные, сварочные, механообработка и т. д.).
3. Разработка технологических процессов, то есть содержания и последовательности выполнения операций при изготовлении объектов. При этом в зависимости от типа производства проводится соответствующая детализация элементов технологического процесса. При разработке технологических процессов учитывается возможность унификации процессов: типовой или групповой обработки. Типовая унификация предусматривает общность пооперационного маршрута обработки ряда деталей; групповая унификация – группировку деталей по общности обрабатываемых поверхностей, базирования и т. п., создание специальной групповой оснастки.
4. Установление пооперационных норм времени. Нормы определяются обычно технологом-нормировщиком, который в зависимости от типа и условий производства может устанавливать один из видов норм:

- нормативные (справочники по нормированию);

- расчетно-аналитические;
- опытно-статистические (накопительные статистические данные).

5. Установление норм расхода материалов на деталь или узел (сборка).

6. Проектирование и изготовление средств технологического оснащения, в том числе специальных обрабатывающих и измерительных инструментов (приспособления, кондукторы, штампы, пресс-формы, инструменты и т. д.).

7. Отладка и внедрение в производство разработанных технологических процессов.

При этом решаются две главные задачи:

- освоение нового производства;
- проверка на соответствие выбранного оборудования, оснастки, инструмента и его количественной потребности, измерительного инструмента, потребности площадей и людских ресурсов директивному технологическому процессу.

8. Метрологическая экспертиза ТПП – проверка соответствия выбранных средств измерения требованиям, определенным в ТУ на указанные изделия.

Выполнение функциональных задач ТПП обеспечивается следующим ее элементным составом:

- людские ресурсы (руководители, специалисты, технические исполнители);
- материальные ресурсы (основные и вспомогательные материалы, канцелярские принадлежности и др.);
- технические средства (компьютеры, множительная и другая оргтехника);
- экономико-математическое обеспечение (алгоритмы и программы по АСТПП, различные математические методы и др.);
- информационное обеспечение (стандарты, классификаторы, нормативы и др.).

Последовательности выполнения описанных задач на производстве можно представить в виде бизнес-процесса (рисунок 3.5).

Планирование технологической подготовки производства показано на рисунке 3.6.

Для нового изделия технологический процесс разрабатывается в три основных этапа (рисунок 3.7). Их более детальное представление показано на рисунке 3.8.

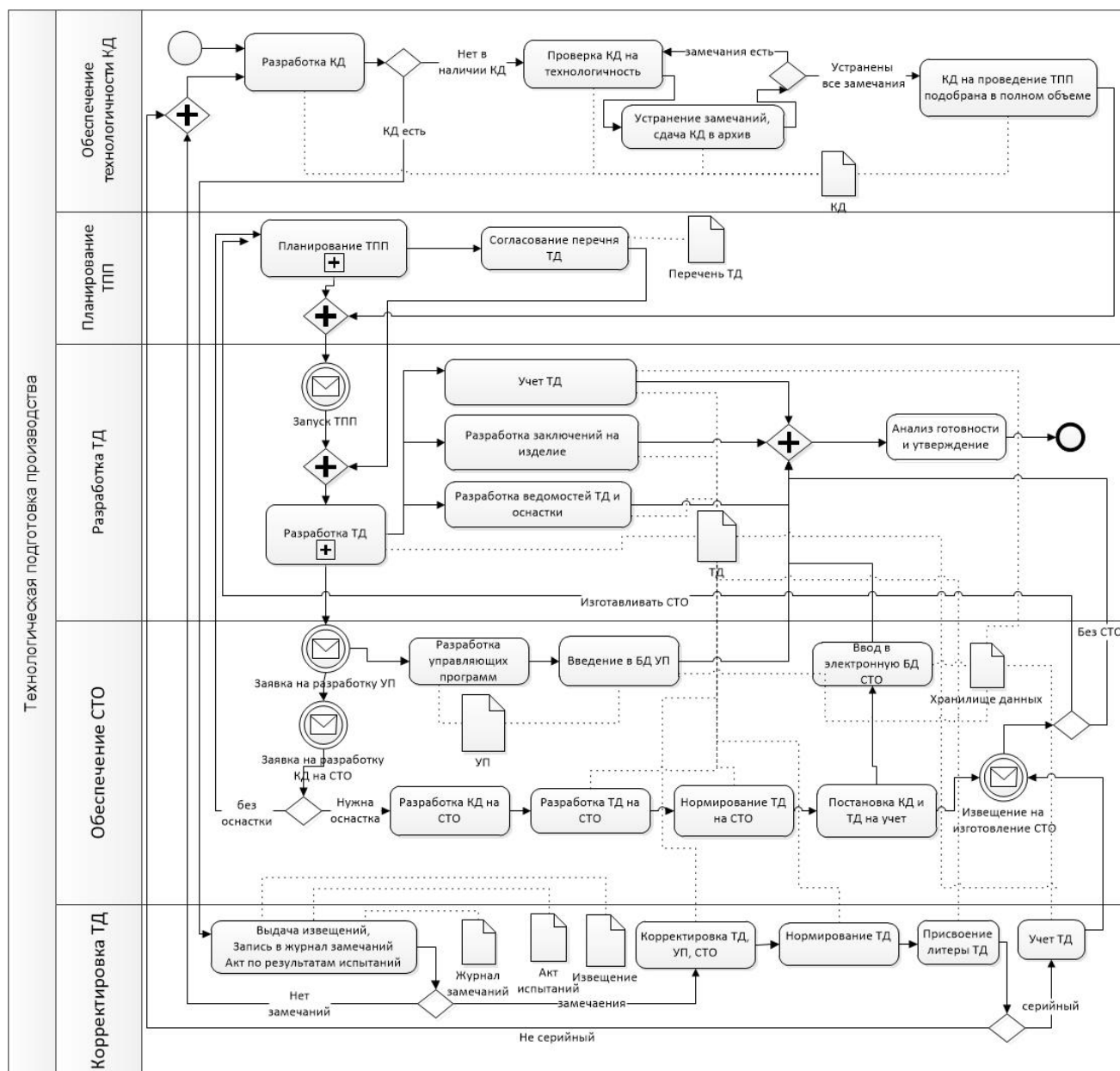


Рисунок 3.5 – Бизнес-процесс технологической подготовки производства

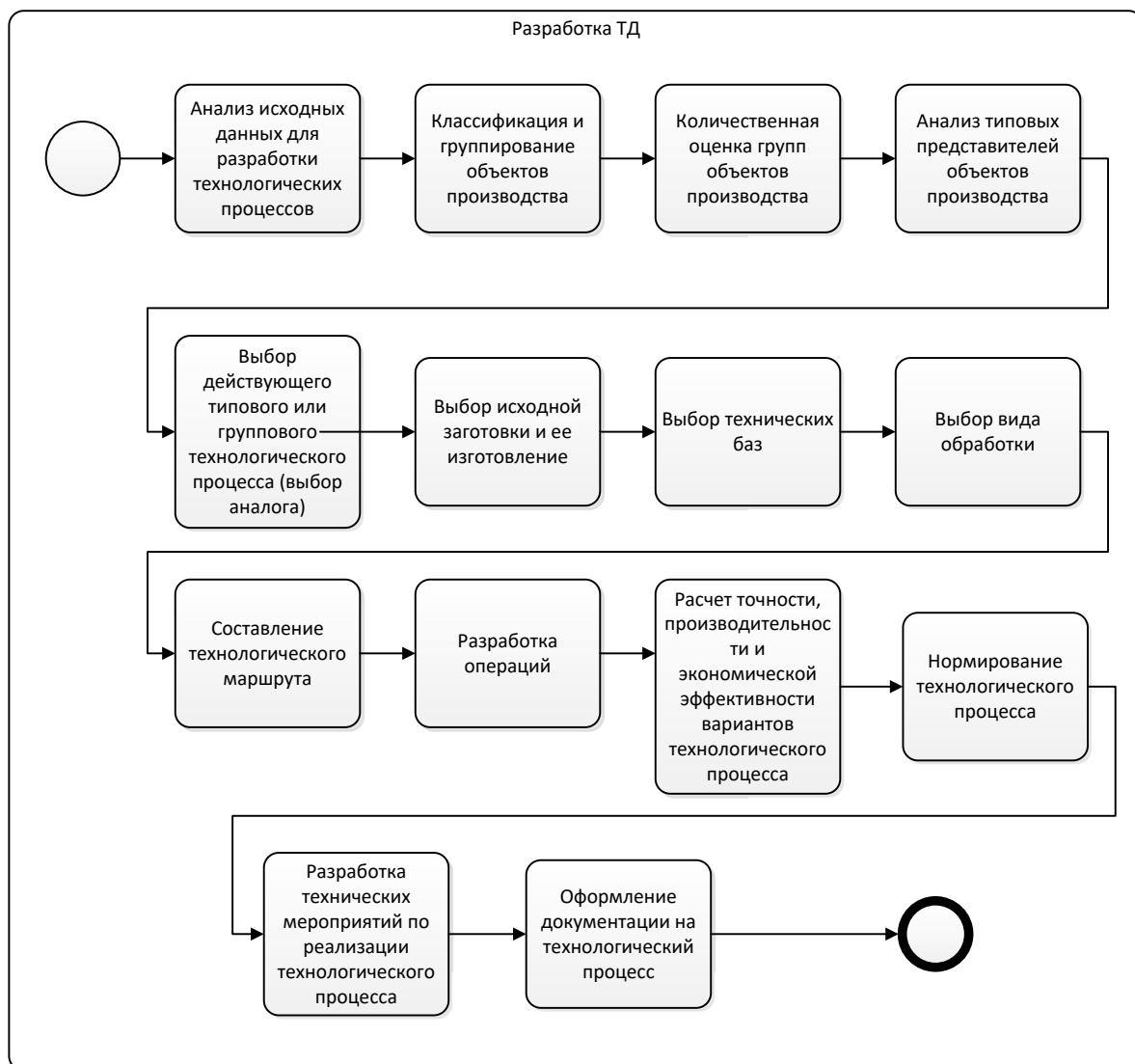


Рисунок 3.6 – Планирование ТПП

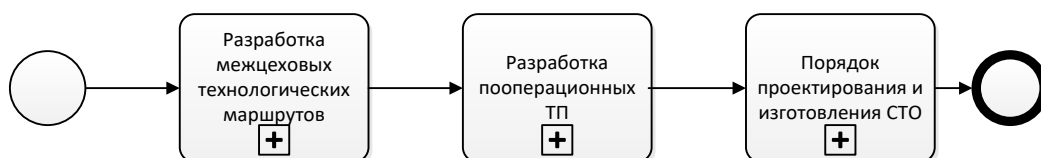


Рисунок 3.7 – Укрупненные этапы разработки технологического процесса

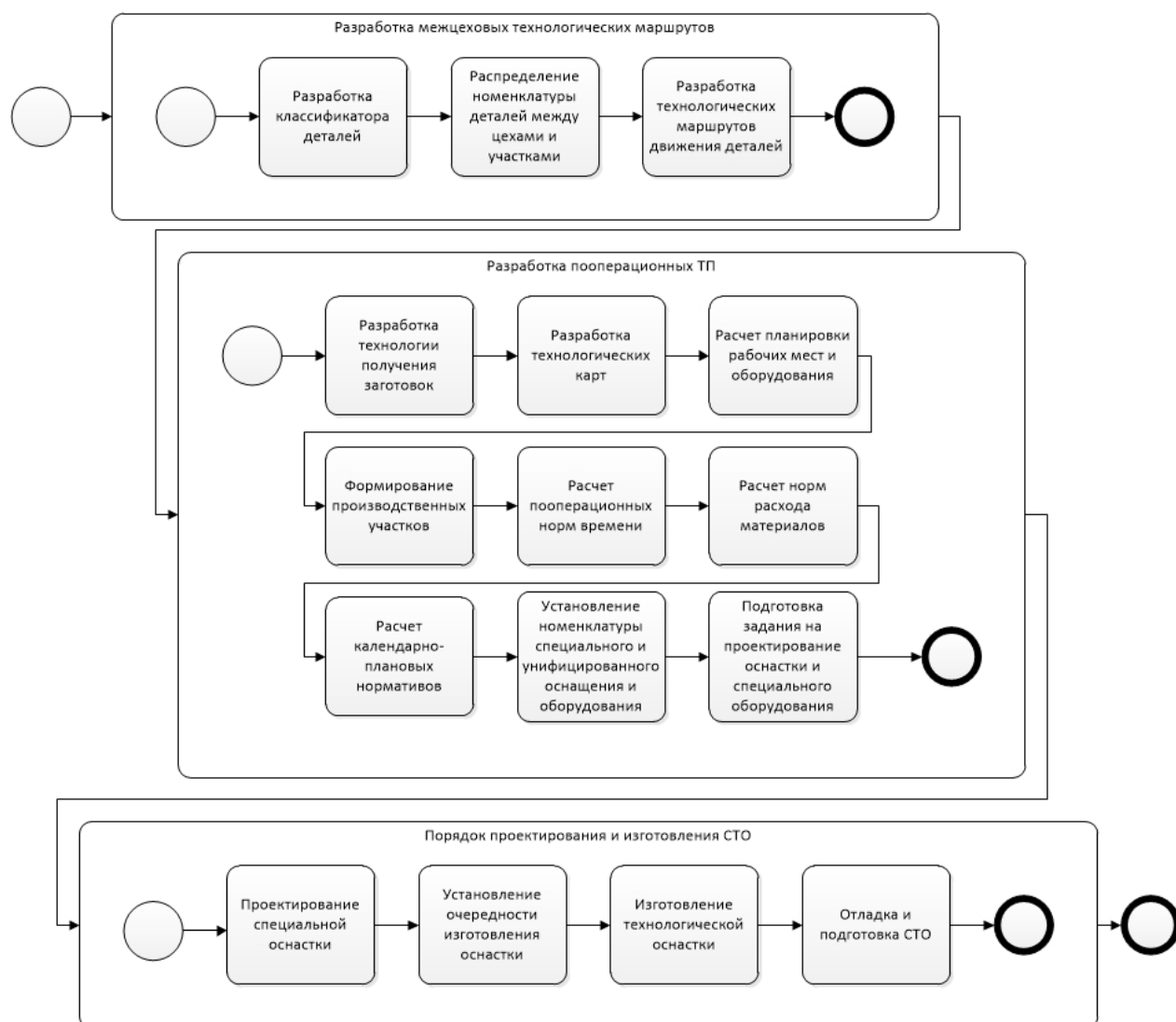


Рисунок 3.8 – Детализация этапов разработки технологического процесса

При разработке разных ТП состав работ меняется (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Типовой состав работ при проектировании технологических процессов

Наименование работ	Применяемость при проектировании ТП		
	типового	группового	рабочего
Анализ исходных данных для разработки технологических процессов	+	+	+
Классификация и группирование объектов производства	+	+	+
Количественная оценка групп объектов производства	+	+	–
Анализ типовых представителей объектов производства	+	–	–

Наименование работ	Применяемость при проектировании ТП		
	типового	группового	рабочего
Выбор действующего типового или группового технологического процесса (выбор аналога)	–	–	+
Выбор исходной заготовки и ее изготовление	+	–	+
Выбор технических баз	+	–	+
Выбор вида обработки	+	–	–
Составление технологического маршрута	+	+	+
Разработка операций	+	+	+
Расчет точности, производительности и экономической эффективности вариантов технологического процесса	+	+	+
Нормирование технологического процесса	–	+	+
Разработка технических мероприятий по реализации технологического процесса	-	+	–
Оформление документации на технологический процесс	+	+	+

Для поддержки подготовки производства используется информационная среда предприятия, ядром которой являются PLM- и ERP-системы (рисунок 3.9).

Для поддержки ТПП в информационной среде предприятия используют САПР. Функциональные возможности САПР обеспечивают решение следующих задач:

- управление хранением данных и документов: авторизация доступа, поиск информации, обеспечение целостности данных, архивирование, резервное копирование, восстановление данных;
- управление процессами: управление работой, протоколирование работы;
- управление структурой изделия: технологический контроль состава изделия;
- интерактивное проектирование технологических процессов. Основные режимы: применение ТП, интерактивное заполнение ТП с использованием ресурсов БД и контекстных закладок, копирование ТП из других проектов;
- автоматизированное проектирование ТП на основе знаний структурно-параметрического синтеза;
- автоматизированное проектирование операций;
- управление производственными и технологическими ресурсами;
- формирование сводных ведомостей и спецификаций; печать сформированных документов.

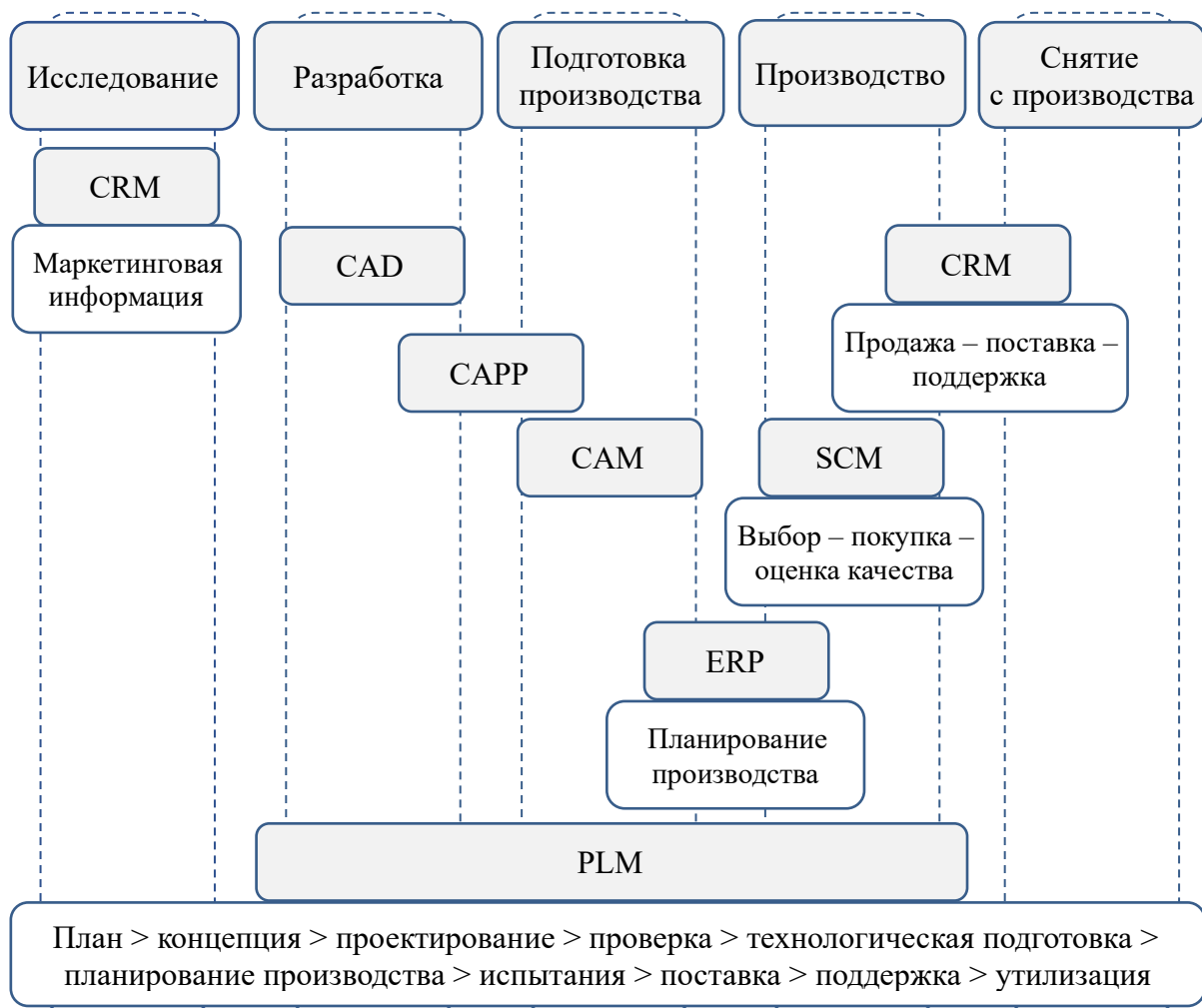


Рисунок 3.9 – Информационная среда предприятия [19]

Классические задачи САПР в настоящее время дополняются задачами, имеющими отношение к области представления знаний (рисунок 3.10).

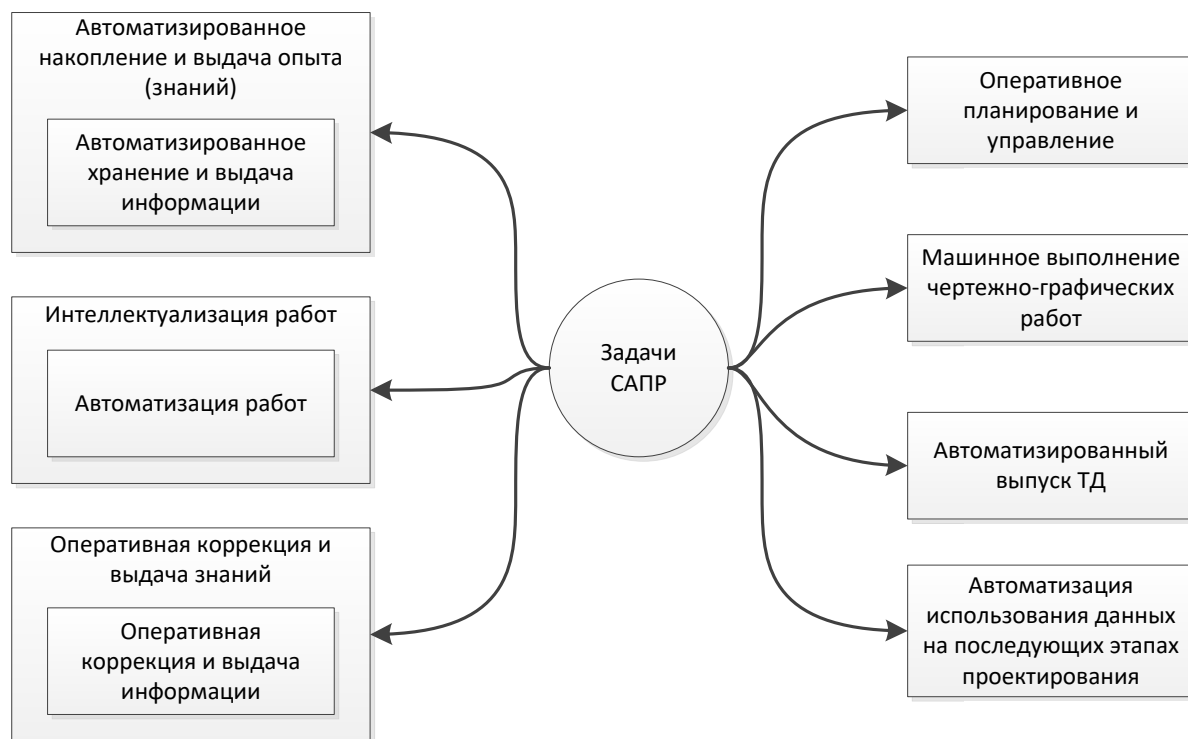


Рисунок 3.10 – Задачи современных САПР

Появление задач накопления, хранения и использования знаний обусловило необходимость разработки методов и инструментов, которые позволяют синхронизировать и управлять жизненными циклами изделий, предприятий и знаний (рисунок 3.11).



Рисунок 3.11 – Согласованное управление тройкой жизненных циклов [99]

3.3. Метод выбора источников знаний о технологической подготовке производства

Знания как элемент компетенций и ресурс организации (наряду с человеческими ресурсами, инфраструктурой, средой функционирования процессов, ресурсами для мониторинга и измерений) приобретают все большее влияние на эффективность и производительность процессов, что в конечном итоге сказывается на качестве и рентабельности продукции и услуг и добавляет им ценность [61].

Можно выделить четыре основных источника получения данных (таблица 3.2):

- опыт эксперта, находящийся непосредственно у носителя знаний;
- опыт экспертов, представленный в виде текстов на естественном языке и структурированных материалов (диаграмм, таблиц, схем, моделей и т. д.);
- формализованный опыт экспертов, то есть опыт, представленный в доступном для компьютерной обработки виде (различные базы знаний и хранилища знаний в виде какой-либо модели представления знаний);
- данные как источник скрытых закономерностей.

Таблица 3.2 – Краткая характеристика источников знаний

Источник		Описание
Эксперты		Требуется проведения работ по извлечению, структурированию и формализации знаний. Процесс слабо автоматизирован
Текст	Учебно-справочная литература	Требуется проведения работ по извлечению, структурированию и формализации знаний. Существуют автоматизированные методы извлечения знаний из текстов на естественном языке (зависимы от языка)
	Нормативные документы	
Цифровизированные знания	Базы знаний	В зависимости от используемых моделей представления знаний требуется: – интеграции (слияния), если модели одинаковые; – преобразования к единой модели, если модели разные
	Онтологии	
Статистические данные		Требуется сбора и подготовки больших массивов данных. Существуют автоматизированные методы Data Mining

Традиционным источником знаний является экспертный опыт, получаемый напрямую от эксперта или через текстовые источники (учебная литература, документы и т. д.).

Основные этапы при работе с экспертами и текстами:

- извлечение знаний (рисунок 3.12);
- структурирование знаний – построение поля знаний (рисунок 3.13);
- формализация знаний – построение модели представления знаний, обеспечивающей возможность вывода на основе знаний (рисунок 3.14).



Рисунок 3.12 – Классификация методов извлечения знаний
(эксперты и текстологические источники)

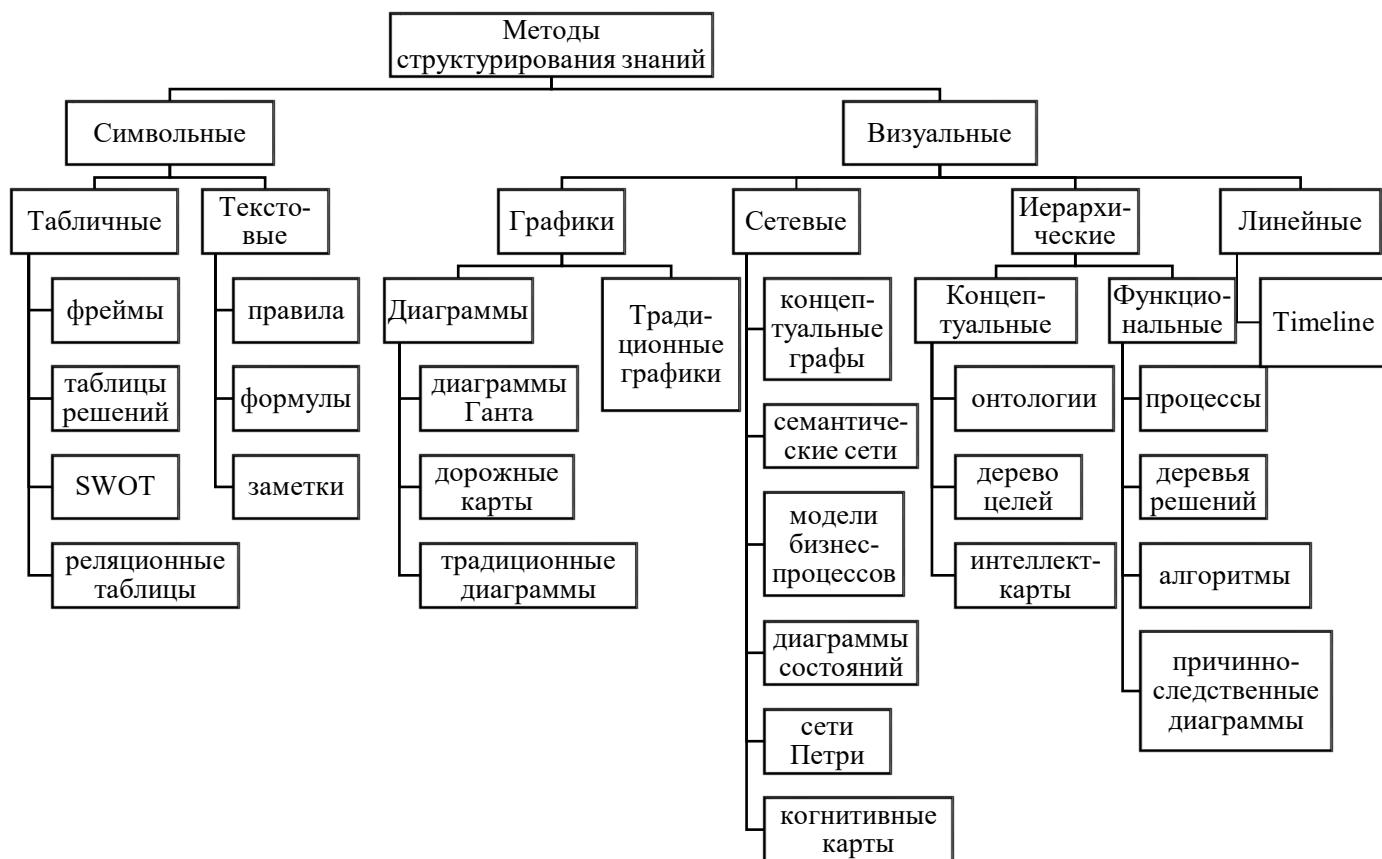


Рисунок 3.13 – Классификация методов структурирования знаний

Существует множество источников, описывающих эти методы, например [21, 22-26, 41, 86]. Этот вопрос в достаточной степени изучен и не является объектом рассмотрения данной работы.

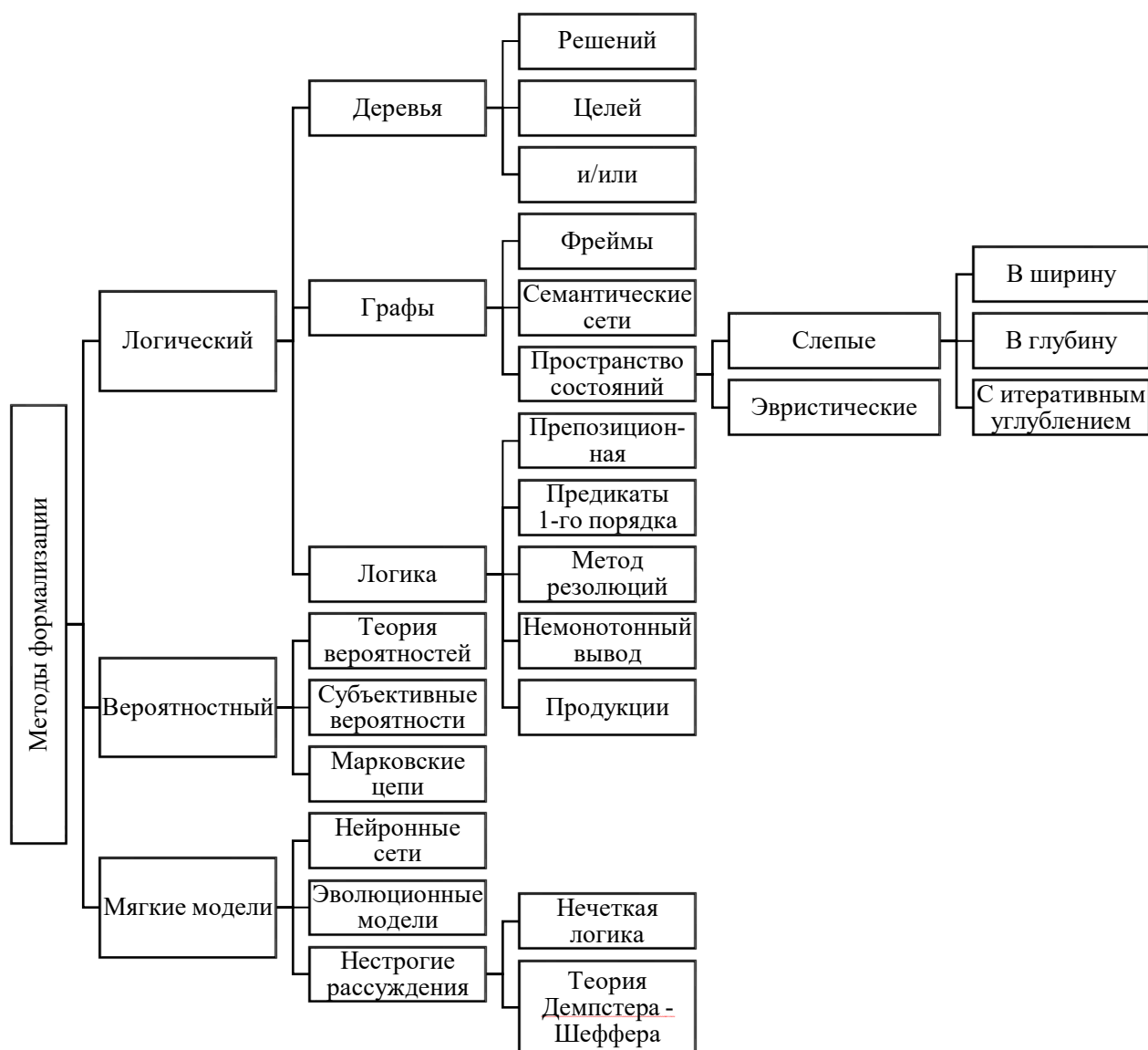


Рисунок 3.14 – Классификация методов формализации знаний

Основные типы документов, которые могут быть источниками данных для описания ТПП, представлены на рисунке 3.15. Краткая характеристика каждого типа документов приведена в приложении А (таблица А.1).

Перечисленные типы документов можно также разделить по территории применения:

- международные стандарты;
- государственные стандарты;
- отраслевые стандарты;
- документы уровня корпорации или объединения предприятий;
- внутренние документы предприятия (приложение А, таблицы А.2–А.4).



Рисунок 3.15 – Схема нормативной базы для ТПП

В зависимости от типа документа предприятие может использовать уже имеющееся описание стандарта в каком-либо машинном формате (например, из ЕЧНСИ) или будет вынуждено разрабатывать описание стандарта и формировать модель представления знаний самостоятельно.

Рассмотрим статистические данные о ТПП. Data Mining – исследование и обнаружение «машиной» (алгоритмами, средствами искусственного интеллекта) в сырых данных скрытых знаний, которые ранее не были известны, нетривиальны, не были практически полезны и доступны для интерпретации человеком [13].

Data Mining обозначает не столько конкретную технологию или подход, сколько сам процесс поиска корреляций, тенденций, взаимосвязей, ассоциаций и закономерностей посредством различных математических и статистических алгоритмов. Цель этого поиска – представить данные в виде, четко отражающем бизнес-процессы, построить модель, при помощи которой можно прогнозировать процессы, критичные для планирования бизнеса, и проводить исторический анализ данных для построения планов и бюджетов [15-18].

Основные задачи Data Mining сводятся к распределению объектов по классам (классификация), установлению зависимостей непрерывных переменных от входных (регрессия), выявлению закономерностей между связанными объектами (ассоциация), определению отношения порядка между исследуемыми наборами данных (секвенциальный анализ), выявлению кластеров и распределению по ним объектов (кластеризация), установлению закономерностей между связанными во времени событиями (прогнозирование), выявлению нехарактерных шаблонов (анализ отклонений).

Классификация методов Data Mining представлена на рисунке 3.16.

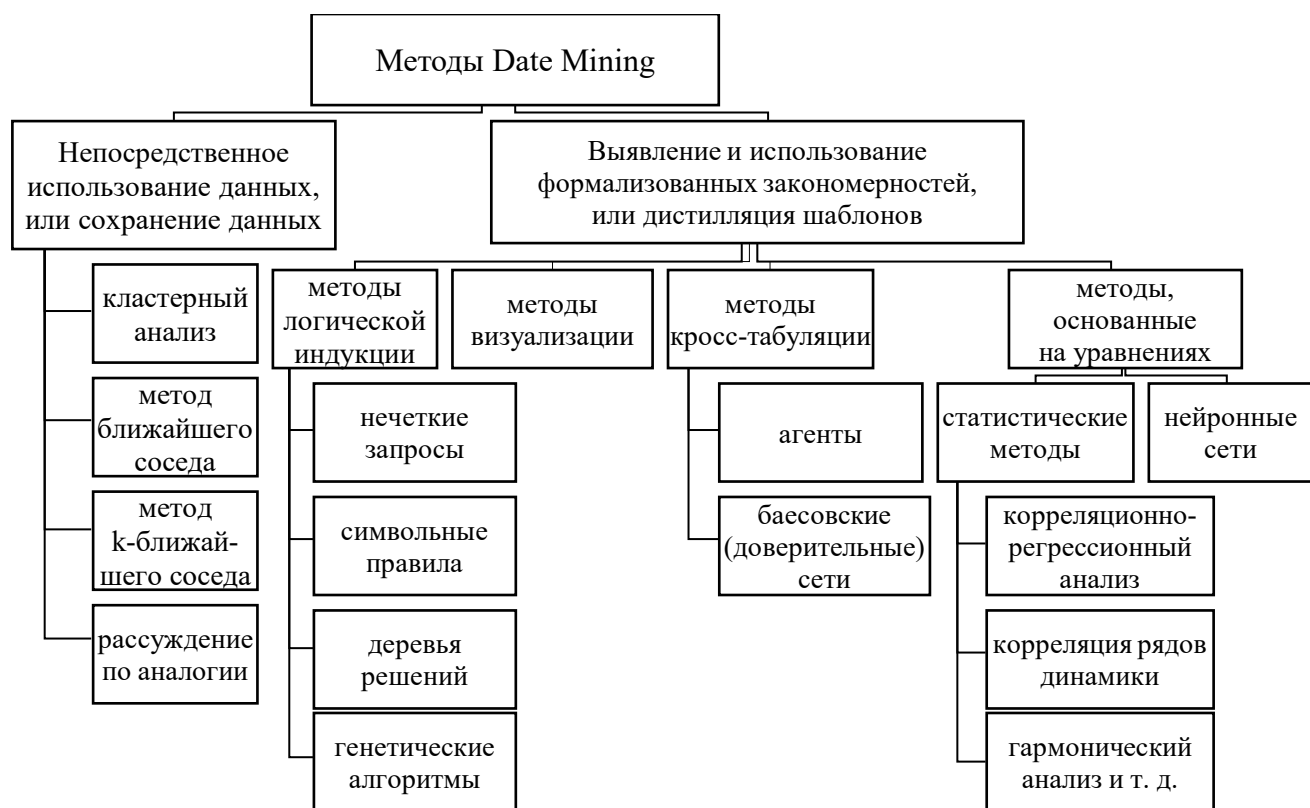


Рисунок 3.16 – Классификация методов Data Mining

Процесс Data Mining можно разделить на стадии (может состоять из двух или трех стадий):

стадия 1: выявление закономерностей (свободный поиск).

Иногда вводят стадию валидации – проверки достоверности найденных закономерностей (стадия 1.2);

стадия 2: использование выявленных закономерностей для предсказания неизвестных значений (прогностическое моделирование);

стадия 3: анализ исключений. Стадия предназначена для выявления и объяснения аномалий, найденных в закономерностях.

Применение методов Data Mining для выявления знаний возможно только в том случае, если на предприятии на протяжении достаточно долгого срока (для разных задач он может быть разным – от месяца до нескольких лет) велась планомерная работа по накоплению данных.

Пример систем Data Mining приведен в приложении А (таблице А.5).

Корпоративные знания обеспечивают развитие компании как единого организма, а не набора отдельных функциональных подразделений. Использование корпоративных баз знаний требует стимулирования и выработки у людей навыков качественного обмена знаниями. Такую базу знаний не может создавать и поддерживать один человек или подразделение – необходим распределенный по всем подразделениям «коллектив авторов».

Классическое понятие базы знаний, построенной на модели представления знаний, и понятие корпоративной базы знаний не совпадают. Корпоративную базу знаний определяют как некоторое хранилище знаний, содержащихся не обязательно в строго формализованном виде, позволяющем выполнять вывод на их основе. Например, корпоративная база знаний может представлять собой расширение корпоративного хранилища (систематизированное с группой специализированных генераторов отчетов и пользовательских интерфейсов) [60], корпоративную википедию как универсальную базу знаний [87-97], некоторое количество общедоступных документов, которые могут создаваться и храниться внутри сервисов компании [20], а также порталные решения для обучения и хранения знаний [12].

В связи с вышеизложенным для построения корпоративной базы знаний используется достаточно широкий круг технологий (рисунок 3.17). Их краткая характеристика приведена в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Краткая характеристика технологий создания корпоративной базы знаний

Технология	Достоинства	Недостатки
Web-технологии	Широкий выбор инструментов, простота внедрения, легкость использования и разработки	Отсутствие возможности вывода на основе знаний, только поисковые запросы
Инструменты структурирования знаний	Наглядно-образное отображение знаний, широкий выбор инструментов	Ориентация только на визуализацию знаний

Технология	Достоинства	Недостатки
Компоненты в специализированных системах	Применение в узкоспециализированных задачах, интеграция с автоматизированными системами	Отсутствие возможности использования во всех специализированных автоматизированных системах (ограничена функционалом этих систем), сложность с расширением и построением единой базы знаний
Классические системы управления знаниями	Широкий профиль применения, возможность кастомизации под нужды предприятия	Сложность разработки, проблемы с освоением и интеграцией, требуется трансляция из одной модели представления знаний в другую
Semantic Web	Возможность объединять и расширять онтологии	Необходимость дополнительной подготовки кадров для ведения онтологий

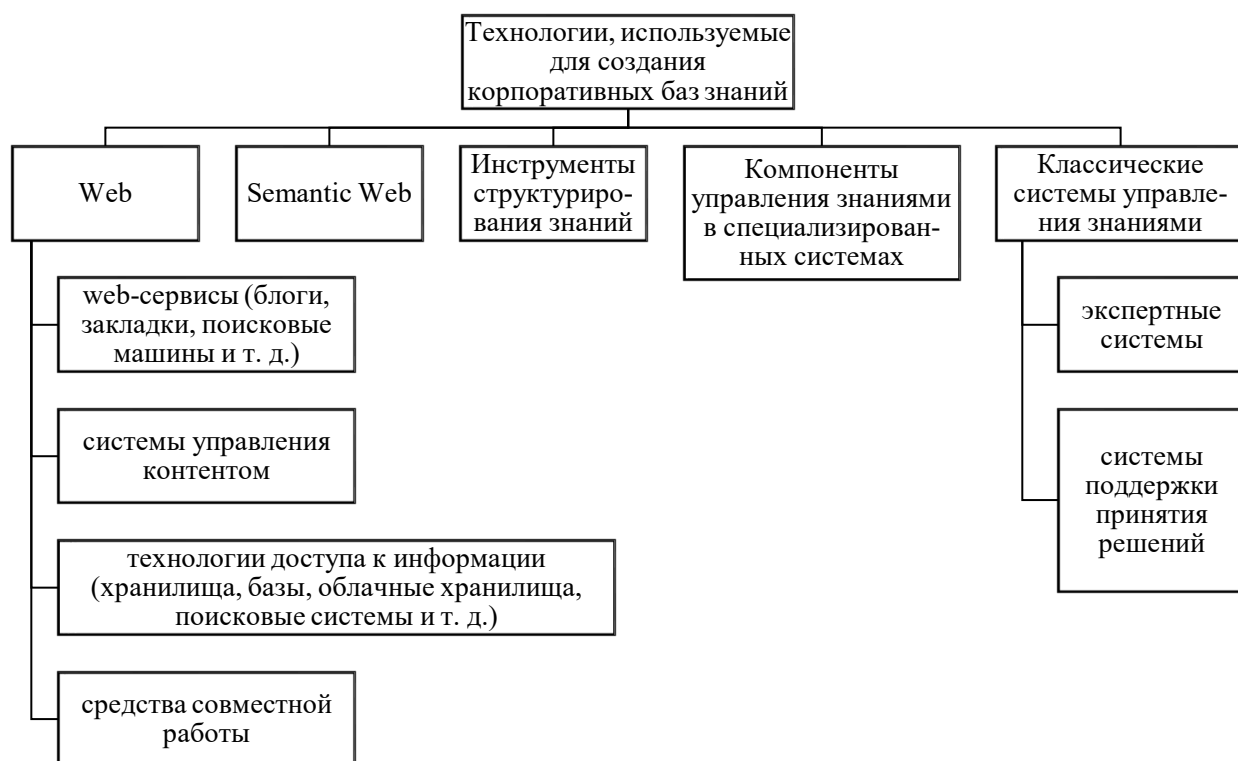


Рисунок 3.17 – Технологии создания корпоративной базы знаний

При этом корпоративная база знаний должна удовлетворять следующим требованиям:

- наличие собственного пространства имен, учитывающего структурную и функциональную декомпозицию организации (проекты, подразделения, виды деятельности и т. д.);

- обеспечение определенным уровнем безопасности: корпоративная база знаний не является публичной, и в ней предусмотрено разделение прав на редактирование и просмотр того или иного раздела;
- возможность интеграции с другими системами предприятия;
- разнообразие решаемых задач (совместного создания документации, создания и ведения баз знаний, управления проектами, сбора неявных знаний и т. д.);
- включение в качестве активных пользователей всех работников предприятия (они должны в той или иной мере формировать базу знаний).

Рассмотрим системы, используемые при создании онтологии предприятия и производства. Semantic Web использует онтологии. Существуют готовые онтологии, которые можно применять для решения задач в том случае, если эти онтологии доступны (получена / куплена лицензия или онтология является open source) и их предметная и проблемная области соответствуют поставленной задаче. Общие онтологии (высокого уровня абстракции) могут «достраиваться» путем их расширения или интеграции с частными онтологиями.

Далее будут рассматриваться онтологии, относящиеся не только непосредственно к ТПП, но и к предприятию, производственным процессам.

Онтологии предприятия можно представить в виде уровневой модели, описывающей разные аспекты его деятельности (рисунок 3.18).

В приложении А в таблице А.6 представлены основные онтологии, описанные в как отечественных, так и зарубежных источниках, на рисунке А.1 – хронология появления этих онтологий.

Приведенные онтологии можно разделить на онтологии верхнего уровня, в которых описываются основные понятия предметной области, и прикладные онтологии, сосредоточенные на описании конкретных задач. Примерная схема соотношения онтологий с точки зрения описания концептов предметной области «Предприятие и производство» представлена на рисунке 3.19. Описание структуры предприятия и представление концептов для его проектирования для пяти наиболее известных онтологий являются общими.

<i>Полное имя</i>	<i>Сокращенное имя</i>	<i>Аббревиатура</i>	<i>Область применения</i>
Онтологическая модель деятельности предприятия	Модель бизнеса Модель СИ Модель управления проектами	BEOM (Business Entity Ontological Model)	Деятельность предприятия
Онтологическая модель ИС предприятия		ISOM (Information System Ontological Model)	Деятельность по разработке ИС предприятия
Онтологическая модель технологической инфраструктуры (ТИ) предприятия		TIOM (Technological Infrastructure Ontological Model)	Деятельность по разработке ТИ предприятия
Онтологическая модель управления проектами предприятия		PMOM (Project Management Ontological Model)	Деятельность по управлению проектами предприятия

Отношения между онтологическими моделями предприятия

BEOM – онтологическая модель предприятия; является базовой и определяющей для всех других онтологических моделей
ISOM строится на основе BEOM с учетом имеющегося или планируемого для приобретения инфраструктурного и специального программного обеспечения
TIOM строится на основе BEOM, ISOM, а также с учетом имеющихся и планируемых для приобретения оборудования и технических систем, для обеспечения устойчивой деятельности предприятия и его филиалов, а также надежной системы коммуникаций
RMOM является частным случаем модели BEOM, реализацией отдельно выделенных для лучшего управления и контроля групп задач, идентифицируемых и реализуемых как отдельные, но в конечном итоге интегрируемые проекты

Рисунок 3.18. Онтологии предприятия [102]

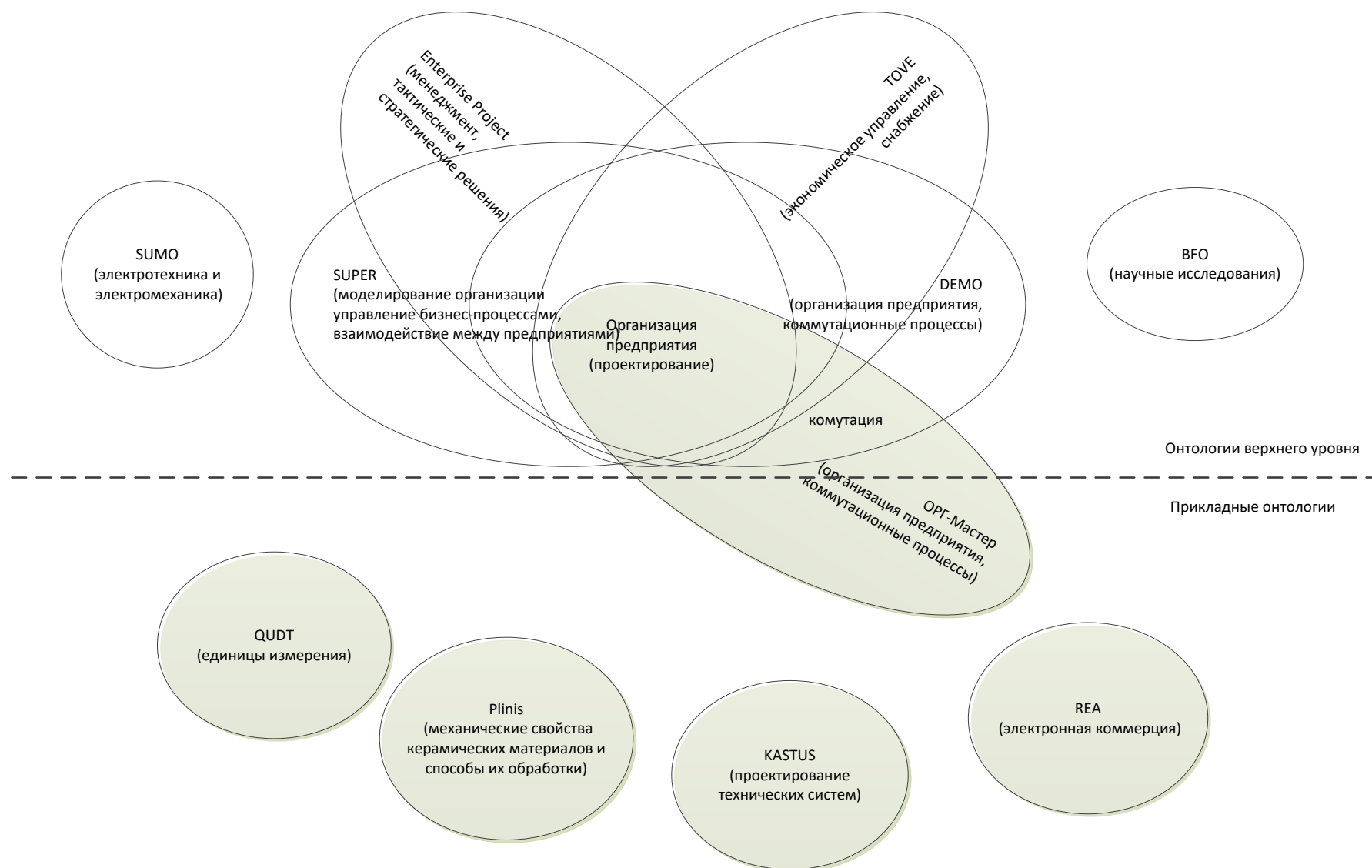


Рисунок 3.19 – Схема примерного соотношения онтологий по описываемым аспектам предприятия

Выводы по главе 3

1. Сформулирован онтологический подход к поддержке технологической подготовки производства. Определены базисные направления сокращения цикла конструкторско-технологической подготовки производства, повышения качества выпускаемых технических средств, повышения экономической эффективности создаваемой продукции: глубокая интеграция конструкторско-технологических решений на всех стадиях создания технических средств; использование стандартных практик и прецедентов конструкторских, технологических и организационных решений; проведение сравнительного многофакторного технико-экономического анализа, использование методологий функционально-стоимостного, функционально-ценностного анализа; автоматизация конструкторских и технологических работ, использование систем автоматизированного проектирования и моделирования бизнес-процессов.

2. Разработана концептуальная модель предметной области «Технологическая подготовка производства», которая включает: процесс перехода от представления предметной области на естественном или ограниченном естественном языке к ее описанию на некотором формальном языке, ориентированном на компьютерное представление; результат процесса, то есть описание множества понятий (концептов) предметной области, знаний о них и связях (отношениях) между ними; структуру реальности, независимо от словаря и конкретной ситуации; процедуру введения онтологических представлений в накопленный массив эмпирических данных; схему связи понятий.

3. Представлен и теоретически обоснован метод выбора источников знаний о технологической подготовке производства как элемента компетенций и ресурса организации в виде опыта эксперта, находящегося непосредственно у носителя знаний, а также представленного в доступном для компьютерной обработки виде (различные базы знаний и хранилища знаний в виде модели представления знаний).

Глава 4. МЕТОДОЛОГИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКОЙ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

4.1 Интегрированная модель гибкой платформы для ГИС ОТС ТПП

Интеллектуализация технологического процесса требует создания методологии применения онтологического подхода, результатом которого станет гибкая интеллектуальная платформа (ГИП) технологической подготовки производства. ГИП позволит сократить сроки и издержки обеспечения технологической готовности предприятия к выпуску продукции.

ГИП ТПП должна поддерживать решение следующих задач:

интеграция гибкой платформы с информационной средой предприятия;

интеллектуализация процессов подготовки производства:

хранение, накопление и использование опыта предприятия в области ТПП (онтологии);

поддержка принятия решения (онтологии и правила), в частности при планировании ТПП;

обеспечение качества ТПП;

мониторинг процесса ТПП;

контроль уровня технологической готовности производства, в частности за счет контроля комплектности ТП и интеллектуальной поддержки проектирования шаблонной оснастки (онтологии).

Для оценки достижения поставленных задач необходимо использовать критерии. В качестве критериев будут выступать метрики. Гибкая платформа предназначена для пользователей, обеспечивающих выполнение технологической подготовки производства, которые занимают различные должности и выполняют разные задачи в бизнес-процессе. В связи с этим существует множество ролей для конечных пользователей.

Кроме этого, для успешного функционирования гибкой платформы необходимы пользователи, которые осуществляют сопровождение и развитие платформы (рисунок 4.1).

Функциональное представление гибкой платформы поддержки технологической подготовки производства может быть осуществлено с точки зрения конечного пользователя платформы, обладающего определенными функциональными обязанностями. В этом случае описание должно базироваться на бизнес-процессе ТПП и включать автоматизированные и интеллектуализированные функции в рамках платформы. Набор таких функций может быть различным в зависимости от реализации платформы и потребностей конкретного

предприятия. В рамках текущей работы были обозначены приоритетные направления сокращения издержек ТПП. Исходя из этих направлений основными функциями, реализуемыми платформой, будут следующие:

- контроль процесса подготовки комплекта ТД;
- поиск оптимального релевантного комплекта ТД;
- формирование шаблона комплекта ТД для конкретного изделия при отсутствии типового комплекта ТД;
- проверка комплектности ТД;
- проектирование шаблонной оснастки;
- контроль качества организационных планов ТПП;
- анализ рисков на основе комплекта ТД и имеющихся ресурсов.

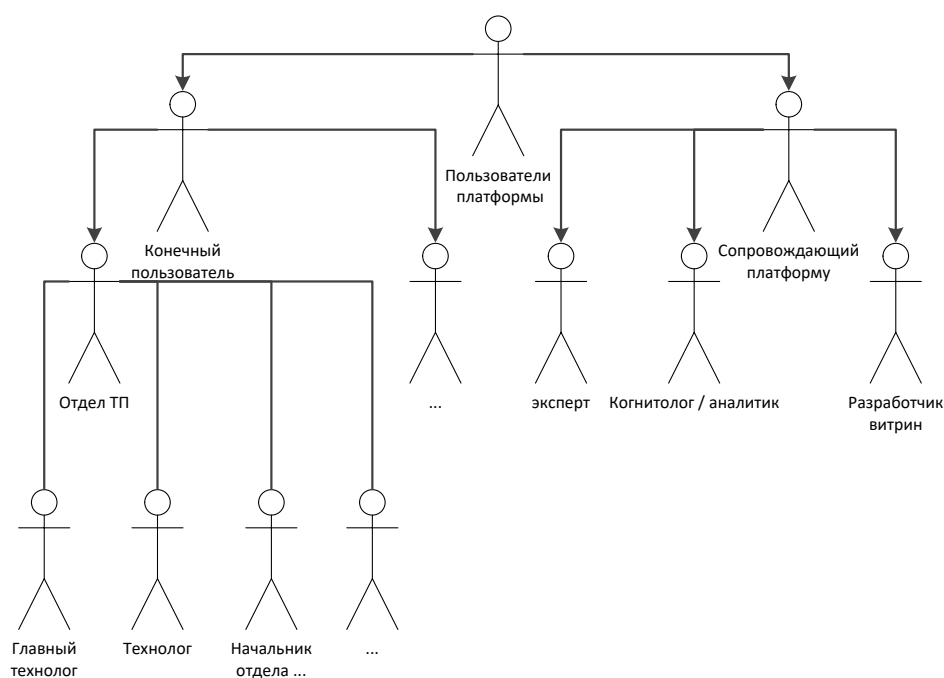


Рисунок 4.1 – Основные типы пользователей платформы

Бизнес-процесс, модифицированный для решения поставленных задач, представлен на рисунке 4.2. Задача процесса подготовки комплекта ТД покрывает весь бизнес-процесс.

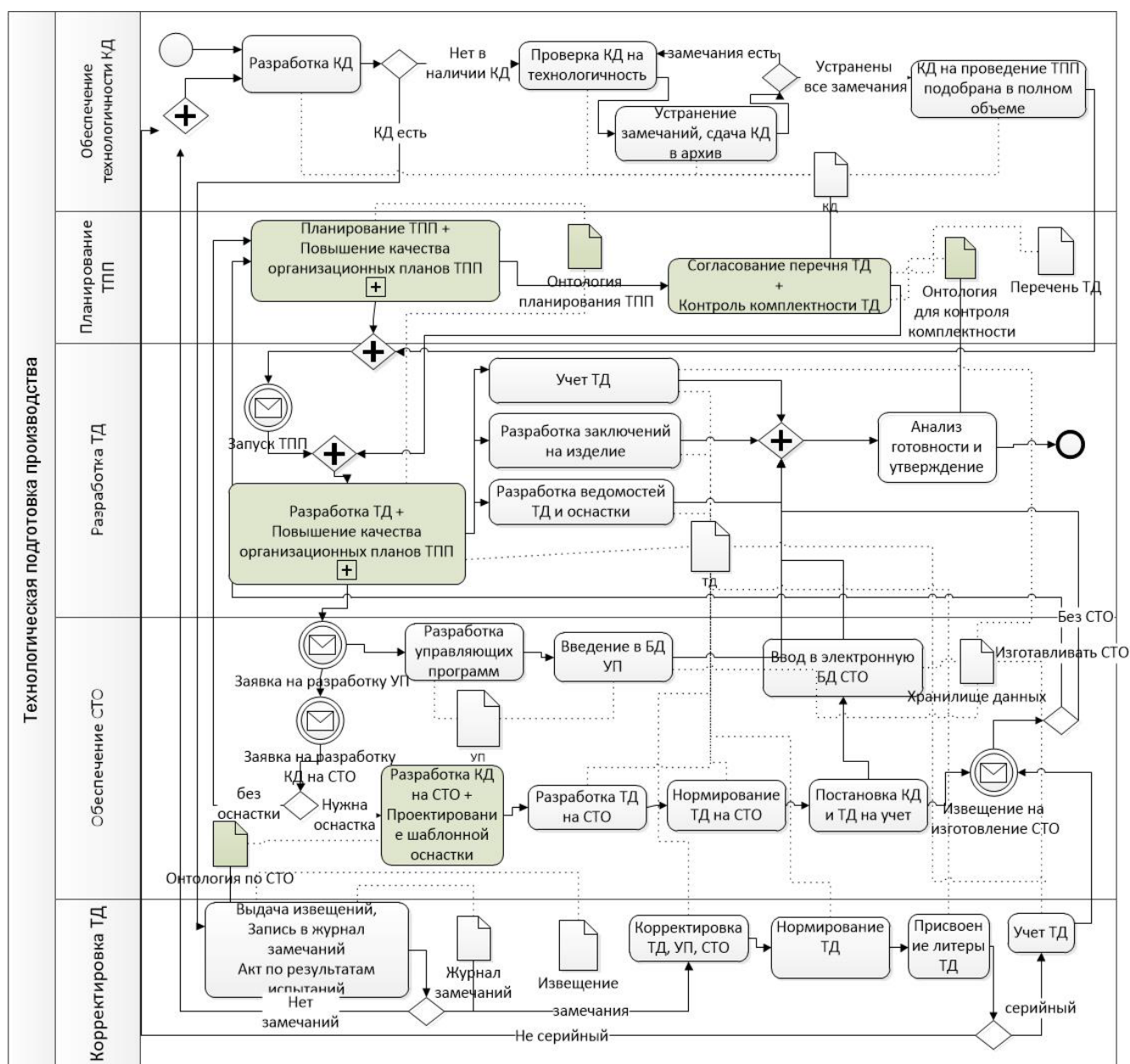


Рисунок 4.2 – Модифицированный бизнес-процесс с учетом решаемых в работе задач

С точки зрения сопровождающего платформу необходимо определить базовые функции, способные обеспечить выполнение вышеописанных задач для конечных пользователей. Представление функционала в разрезе классической трехуровневой клиент-серверной архитектуры не ограничивает применение других архитектур при реализации платформы и используется для удобства классификации ее базовых функций.

Архитектура платформы включает уровень хранения, уровень бизнес-логики и уровень представления (рисунок 4.3).

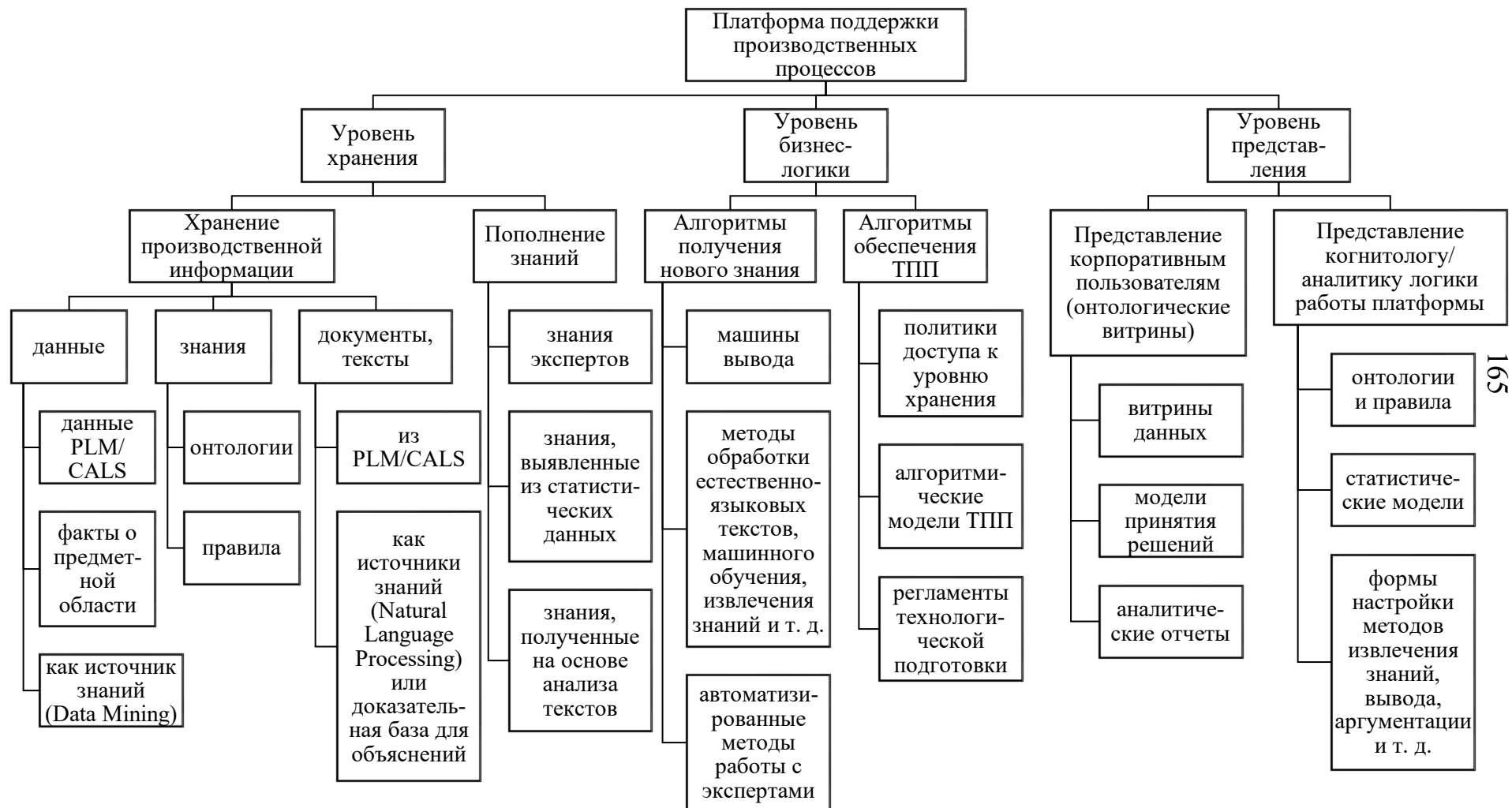


Рисунок 4.3 – Функциональная модель платформы в разрезе уровней клиент-серверной архитектуры

Уровень хранения предназначен для построения репозитория для ТПП. В репозитории должны находиться разные по типу данные: структурированные и неструктурированные. Структурированные данные поступают в репозиторий из систем поддержки жизненного цикла изделия (из PLM / CALS), а также как факты для продукционной модели представления знаний (правил) от пользователей и внешних датчиков. При достаточной репрезентативности данные являются еще и источником знаний (методы Machine Learning, Data Mining).

К неструктурированным данным относятся тексты из корпоративной сети и документы из корпоративных систем. Их можно рассматривать и как данные, и как источники знаний (методы Natural Language Processing).

Знания, хранящиеся в репозитории, имеют некоторое заранее определенное ядро, которое содержит онтологии верхнего уровня с аксиоматикой и правилами. Но знания, как и данные, должны изменяться и расширяться по мере функционирования платформы. Поэтому в репозитории должны быть определены механизмы пополнения знаний (сами методы реализуются на уровне бизнес-логики, но структуры хранения новых знаний определены в репозитории).

Уровень бизнес-логики включает набор моделей и методов, обеспечивающих выполнение функций платформы, а именно работу с данными и знаниями для поддержки процесса ТПП.

Платформа является надстройкой к САПР ТП, дополняя ее функционал интеллектуальными возможностями. Поэтому подсистемы платформы реализуют следующие методы и модели обработки данных и знаний:

для знаний:

алгоритмы вывода на основе имеющихся моделей представления знаний (онтологий и правил),

получение новых знаний из данных,

получение новых знаний из текстов на естественных языках,

получение новых знаний от экспертов, согласование знаний;

для данных и процессов ТПП:

организационная информация о процессах ТПП – политики доступа к уровню хранения, регламенты технологической подготовки,

алгоритмические модели ТПП (контроль, поиск и т. д.).

Уровень представления обеспечивает наглядную визуализацию данных и знаний с учетом производственных норм и взаимодействие с другими уровнями. При этом доступ к содержанию репозитория и функциям платформы должен осуществляться в соответствии с ролями пользователей. Пользователи платформы могут играть большое число разных ролей

в соответствии с должностными инструкциями работников предприятия. Но с точки зрения функционирования платформы важно выделить два типа пользователей: конечный пользователь, который получает доступ к функциям платформы в соответствии с бизнес-процессом ТПП, и когнитолог / аналитик, отвечающий за расширяемость репозитория платформы и контролирующий процессы пополнения данных, знаний и текстов.

Для конечных пользователей формируется срез репозитория в соответствии с их ролями в ТПП. Под онтологической витриной данных подразумевается программный комплекс, включающий:

набор данных (срез из репозитория), относящийся к текущей задаче;

набор знаний (онтологии или онтологию репозитория), относящийся к текущей задаче;

набор функций по представлению знаний, данных, аналитических отчетов для решения текущей задачи.

Онтологическая витрина включает как сами данные и знания, так и модели их использования и представления.

Реализация онтологической витрины может быть осуществлена как физически, так и виртуально.

При создании физической онтологической витрины наборы данных и знаний копируются и хранятся отдельно, при создании виртуальной витрины реализуется политика разграничения прав доступа к общим данным и знаниям репозитория.

Когнитологу / аналитику необходимо предоставить доступ к функциям настройки моделей и методов работы с данными и знаниями, к просмотру имеющихся моделей представления знаний и данных и к конкретным данным и знаниям, а также к инструменту формирования аналитических отчетов.

Далее рассмотрим информационную часть гибкой платформы. При наличии на предприятии хранилища данных его использование платформой осуществляется совместно с онтологическим модулем.

По классификации аналитиков Forrester Research, корпоративные хранилища данных занимают промежуточное положение между базовыми технологиями интеграции данных и средствами бизнес-аналитики. На уровне интеграции данных обеспечивается выборка, преобразование и загрузка данных из различных источников в базы, хранилища данных или приложения. Инструментарий бизнес-аналитики отвечает за предоставление информации, полученной в результате аналитической обработки данных из баз и хранилищ, бизнес-пользователям для поддержки принятия управленческих решений. Между средствами интеграции данных и бизнес-аналитики находится уровень так называемого

продолжительного (persistence) хранения данных, который и образуют корпоративные хранилища.

Хранилище данных обеспечивает консолидацию структурированных данных в предметно-ориентированные, интегрированные, неизменяемые, но отражающие историю изменения данных репозитории и контролирует распределение этих данных по различным оперативным хранилищам, витринам и средам бизнес-аналитики. Хранилище данных содержит метаданные, описывающие предметные области, модели данных и сами данные, платформу хранилища образуют несколько функциональных компонентов.

Если аналитические механизмы занимают центральное место в выработке стратегий бизнес-анализа, то механизмы хранилищ данных превращаются в полноценные платформы BI. Занимающиеся их поставками компании Teradata, HP, Netezza, Greenplum, DATAlegro, Dataupia и ParAccel расширяют возможности проведения «анализа внутри данных» и развивают функционал других приложений, разрабатываемых как своими силами, так и силами партнеров и клиентов.

Архитектура области хранения данных корпоративного хранилища данных, как правило, состоит из следующих областей (рисунок 4.4):

область временного хранения данных, которая включает:

- данные, извлеченные из систем-источников;
- область обмена данными с другими системами (данные для передачи) –

таблицы БД, в которых хранятся подготовленные для передачи в другие информационные системы компании данные из области постоянного хранения данных;

область постоянного хранения данных, включающая:

- детальные данные – данные, приведенные к структуре модели данных хранилища, прошедшие очистку и обогащение;
- агрегаты – сгруппированные детальные данные;
- витрины данных – тематические наборы данных, хранящиеся в виде, пригодном для их анализа;

метаданные – это данные, описывающие правила, по которым «живет» хранилище. Например, с точки зрения базы данных хранилища, метаданными являются описания структур таблиц, взаимосвязей между ними, правил секционирования, описание витрин данных и т. п. С точки зрения ETL, метаданными служат описания правил извлечения и преобразования данных, периодичность выполнения ETL-процессов и т. п.

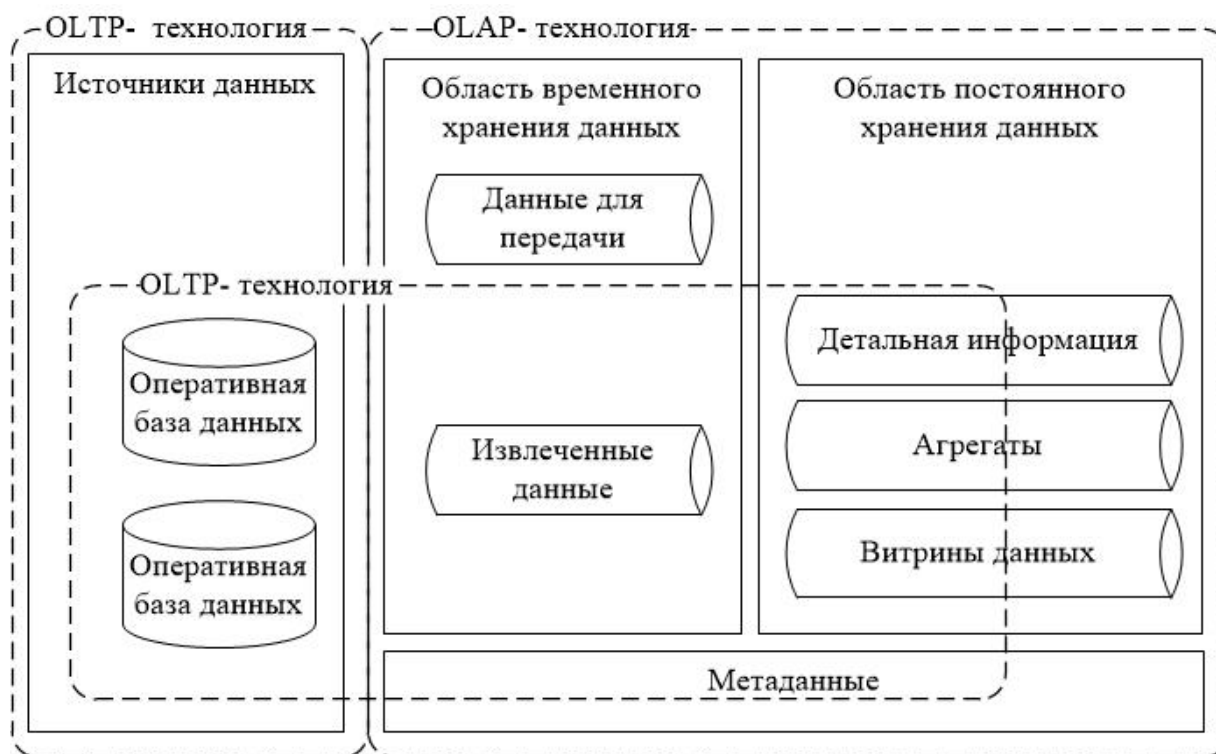


Рисунок 4.4 – Структура традиционного корпоративного хранилища данных

Метаданные хранилища можно разделить на следующие типы:

метаданные исходной системы (источников данных):

спецификации источников данных, таких как репозитории;

описательная информация (например, частота обновления, юридические ограничения и методы доступа);

информация о процессах, таких как график заданий и коды извлечения;

метаданные преобразования данных:

информация о получении данных (например, планирование передачи данных и результатов, а также сведения об использовании файлов);

управление таблицами измерений (например, определение измерений и присвоение суррогатных ключей);

преобразование и агрегирование (например, расширение и отображение данных, программы (скрипты) загрузки СУБД, определение агрегатов данных);

документирование проверок, работ и журналов, например журналов преобразования данных и записей слежения за происхождением данных;

метаданные СУБД хранилища:

содержание системных таблиц СУБД;

рекомендации по обработке.

Метаданные можно использовать тремя способами:

пассивно, обеспечивая четкую документацию о структуре, процессах разработки и использования хранилища;

активно, путем хранения конкретных семантических аспектов (например, правил преобразования) в виде метаданных, которые можно интерпретировать и использовать во время исполнения процессов;

полуактивно, за счет хранения статической информации (например, определений структур, спецификаций конфигураций), которую будет считывать другой программный компонент во время выполнения.

Метаданные системы хранилища данных содержатся в репозитории – структурированной системе хранения и извлечения, реализованной на основе СУБД. Для интерпретации метаданных необходимо хранить структуру репозитория (то есть схему метаданных) и их семантику.

Метаданные в хранилище выполняют функции:

представления соответствия данных источников и данных хранилища;

управления данными во времени;

поддержки версионности;

интерпретации данных в терминах бизнес-пользователей;

обеспечения открытости (доступности для других информационных систем) системы хранения данных для ее интеграции с другими аналитическими системами.

В случае репозитория гибкой платформы требуется модификация хранилища и добавление новых блоков (рисунок 4.5), а именно хранилища онтологий.

Онтология, если ее рассматривать как отдельный документ, может быть представлена как графовая xml-база данных, содержащая триплеты, к которым могут строиться запросы. Это свойство онтологии можно использовать при построении онтологической витрины, тогда онтология становится одним из гетерогенных источников данных в общем корпоративном хранилище.

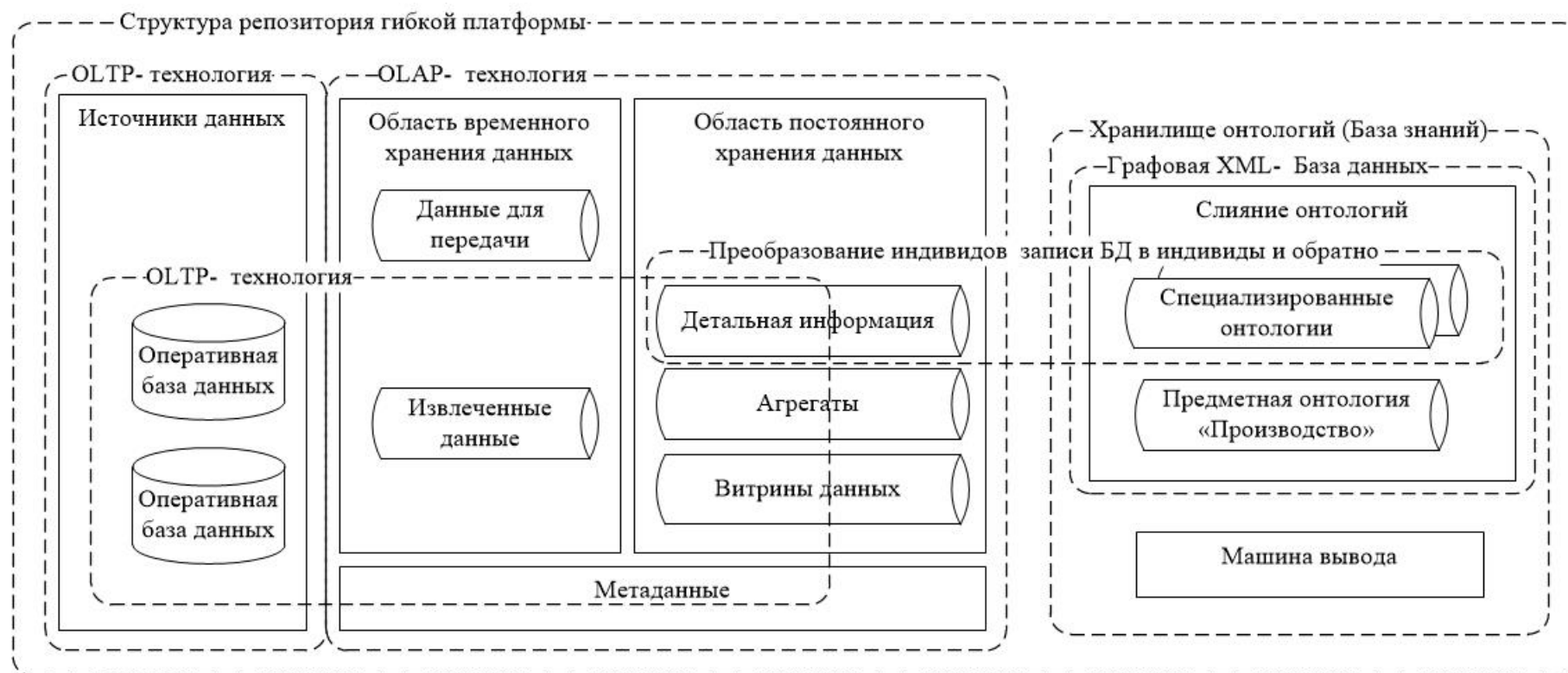


Рисунок 4.5 – Структура репозитория гибкой платформы

Если рассматривать онтологию совместно с аксиоматикой и расширяющими ее правилами, то, используя семантическую машину вывода, можно получить новое знание, а также ответ не только на запрос к данным, но и на запрос по поддержке принятия решений. В этом случае онтология рассматривается как модель представления знаний и как система поддержки принятия решений.

Онтология может быть не одиночной, а совокупностью онтологий, которые хранятся совместно в хранилище и при необходимости подвергаются слиянию. Хранилище онтологий содержит наборы онтологий, их можно организовывать различным образом в зависимости от реализации и имеющихся в наличии готовых онтологий. Наиболее очевидными способами организации онтологий являются иерархический (рисунок 4.6) и графовый (рисунок 4.7).

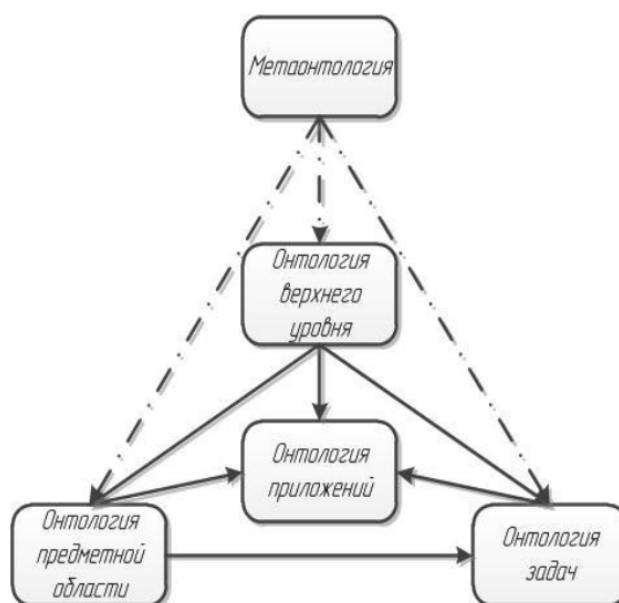


Рисунок 4.6 – Иерархическая организация онтологий в хранилище онтологий [99]

Иерархический способ можно применять при последовательной разработке онтологий, начиная с онтологий верхнего уровня и до онтологий отдельных задач.

На практике может возникнуть ситуация, когда часть онтологий уже создана или онтологии создаются независимо друг от друга различными разработчиками (разные отделы, разные отрасли). В этих случаях четкую иерархию установить затруднительно, онтологии будут организовываться через произвольные связи и образовывать граф.

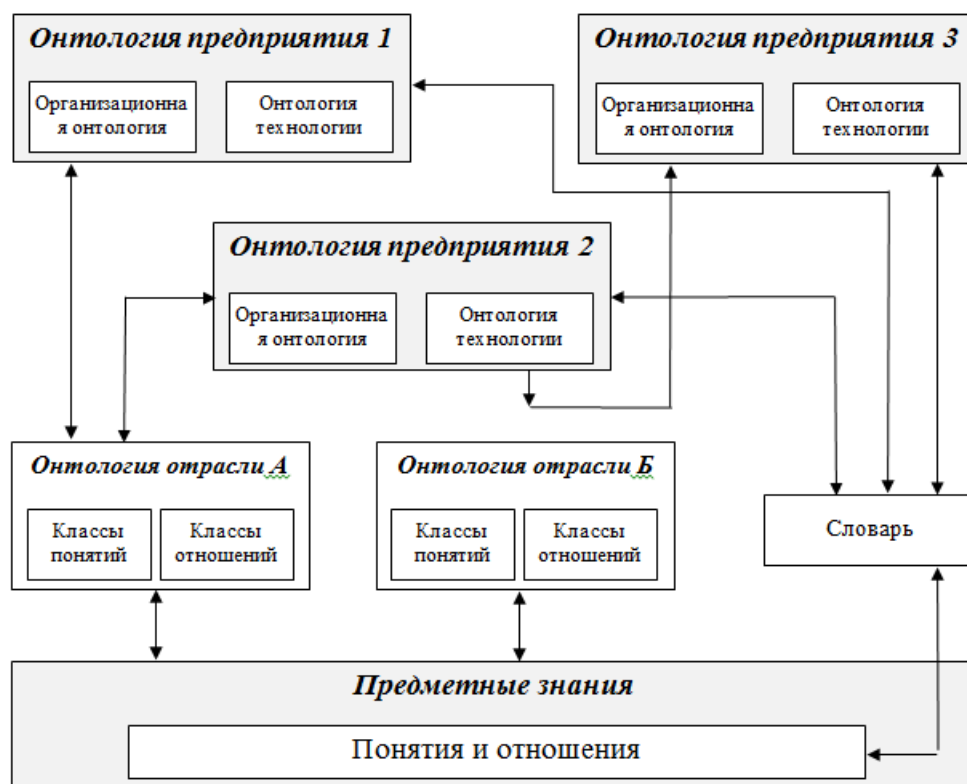


Рисунок 4.7 – Сетевая организация онтологий в хранилище онтологий

Слияние онтологий в одну большую онтологию делать не рекомендуется, так как при построении онтологических витрин понадобятся «онтологические срезы», то есть онтологии одной задачи. Кроме того, при большом количестве элементов в онтологии возникает вопрос об эффективной работе машины вывода (о времени обработки онтологии алгоритмами семантического вывода).

Для репозитория гибкой платформы рекомендуется выделить одну предметную онтологию «Производство» и онтологии низкого уровня, решающие различные задачи технологической поддержки производства.

Взаимосвязь между моделями представления данных и моделями представления знаний в репозитории можно представить в виде иерархии (рисунок 4.8) и в виде взаимосвязанных моделей через концепты гибкой платформы (рисунок 4.9).

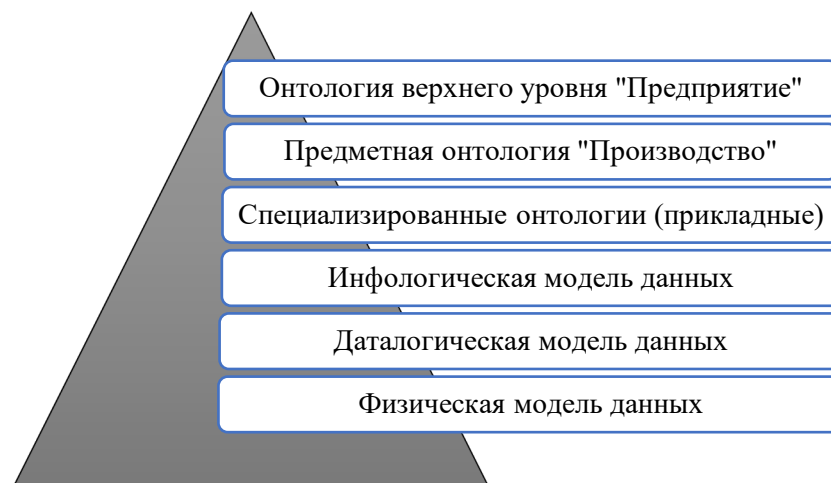


Рисунок 4.8 – Взаимосвязь моделей репозитория гибкой платформы

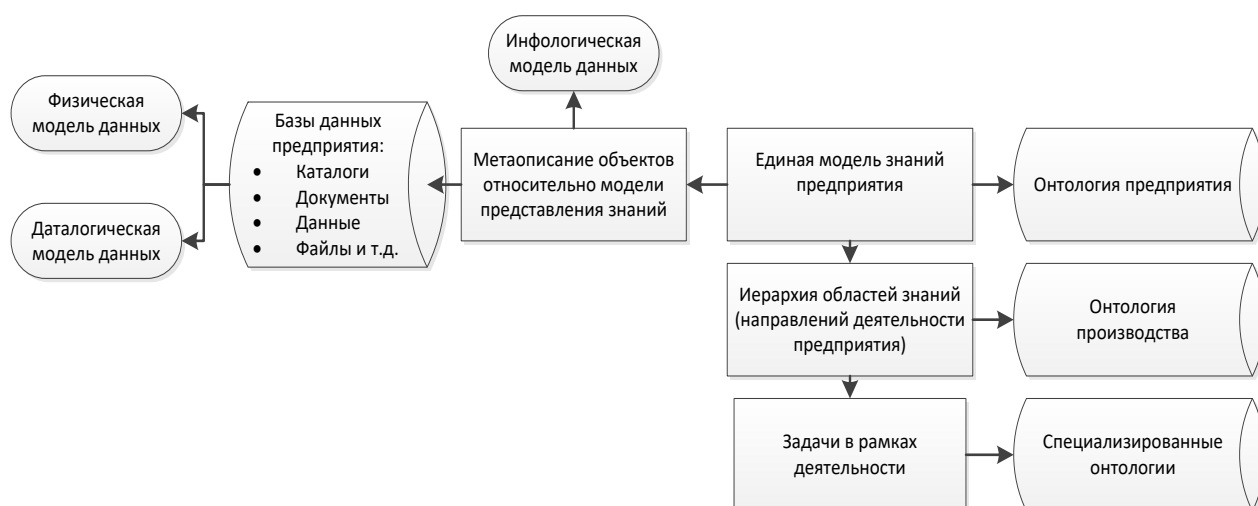


Рисунок 4.9 – Взаимосвязь элементов репозитория гибкой платформы и моделей описания данных и знаний

Если платформа не будет масштабироваться на другие производственные процессы (не только на технологическую подготовку), то добавление верхнего уровня не обязательно.

Далее рассмотрим структурную часть интегрированной модели. Для построения платформы необходимо определить ее основные модули. Кроме репозитория, для обеспечения вышеописанных функций необходимы и другие подсистемы (рисунок 4.10): редактирования и ведения онтологий, модули статистических моделей, создаваемые онтологические витрины и средства взаимодействия с корпоративными системами (API).



Рисунок 4.10 – Структурная схема гибкой платформы

С учетом распределения функций по уровням клиент-серверной архитектуры можно использовать эти уровни и для описания модулей платформы.

Уровень хранения – репозиторий, источниками данных для которого являются корпоративные системы информационной среды предприятия, в первую очередь системы поддержки жизненного цикла изделия, а источником знаний – экспертный опыт, вносимый в систему посредством редактора онтологий, и формируемые модели знаний на базе анализа данных (data mining, deep leaning).

Уровни бизнес-логики и представления формируют программные онтологические витрины и онтологические плагины для корпоративных систем.

Программные онтологические витрины представляют собой независимый от корпоративных систем программный продукт, использующий часть онтологий и данных и решающий одну или несколько однотипных задач для одного или нескольких типов пользователей. Плагин онтологических витрин отличается тем, что он встраивается в корпоративное приложение и его функции доступны из интерфейса корпоративной системы.

Функционал онтологических витрин может быть различным, так как они ориентированы на решение разных задач и на разных типов пользователей. Но есть ряд общих функций, которые должны поддерживаться всеми онтологическими витринами гибкой платформы (рисунок 4.11).

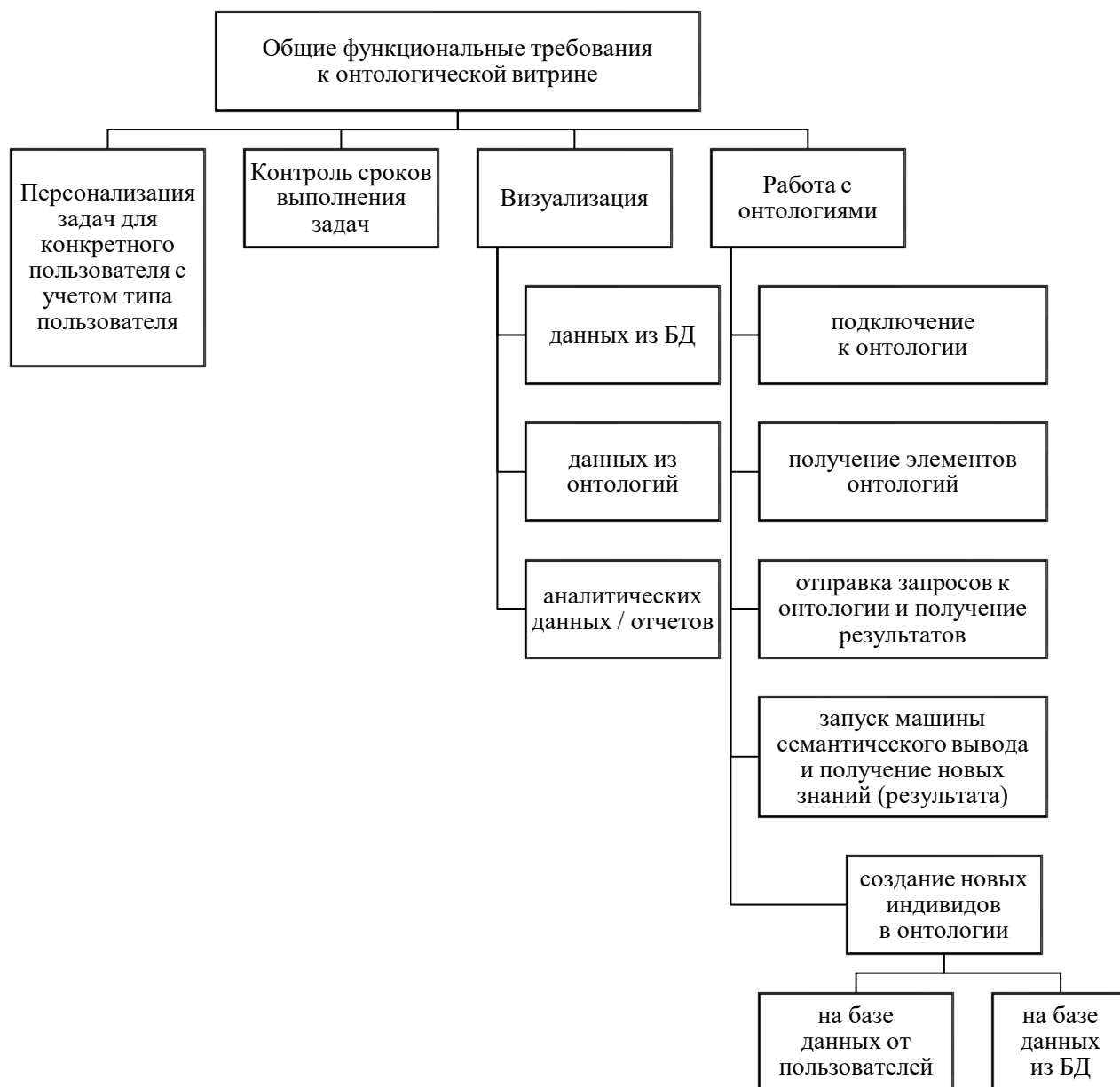


Рисунок 4.11 – Общие требования к онтологическим витринам

4.2. Анализ интегрированной модели гибкой онтологической платформы для ГИС ОТС ТПП

Под платформой понимается основа или база, на которой из аппаратно-программных компонентов строится здание информационной системы, при этом фундамент платформы обеспечивает возможность создания на ней многовариантных архитектур разной функциональности.

Построение платформы осуществляется на основе следующих принципов:

принцип обеспечения потенциальной эффективности – предельно достижимого значения некоторого показателя производственного процесса для заданных исходных и ограничивающих данных о ней (принцип оптимальности);

принцип гибкости: система, построенная на основе платформы, должна обладать гибкостью, то есть способностью к изменениям как в структурном, так и в алгоритмическом (программном) отношении при сохранении в ней базовых компонентов платформы;

онтологический принцип – принцип множественности существования реализаций получения решений разнообразных задач производственного характера.

Реализация данных принципов для платформы позволит создавать множество решений важнейших задач ТПП и интеллектуализировать сам этот процесс, а также воплощать заложенные методологические основы.

Рассмотрим принцип обеспечения потенциальной эффективности. В задаче принятия решения под принципом оптимальности понимается совокупность правил, при помощи которых лицо, принимающее решение (ЛПР), определяет свое действие (решение, альтернативу, стратегию), наилучшим образом способствующее достижению преследуемой им цели. Решение ЛПР, удовлетворяющее выбранному принципу оптимальности, называется оптимальным решением. Конечная цель исследования любой задачи принятия решения – это нахождение оптимальных решений для всех ЛПР.

Наиболее распространенной классификацией способов принятия решения является деление их на рациональные решения; решения, основанные на суждениях, и интуитивные решения. Выделяются и другие классы методов (рисунок 4.12).

Существует несколько подходов к принятию решений:

оптимальный подход ориентирован на выбор наилучшей альтернативы из всех допустимых альтернатив;

эвристический подход направлен на выбор в качестве решения одной из допустимых альтернатив (необязательно наилучшей);

запрограммированные решения – решения в стандартных, повторяющихся ситуациях;
интуитивные решения;

решения, основанные на аналогии.

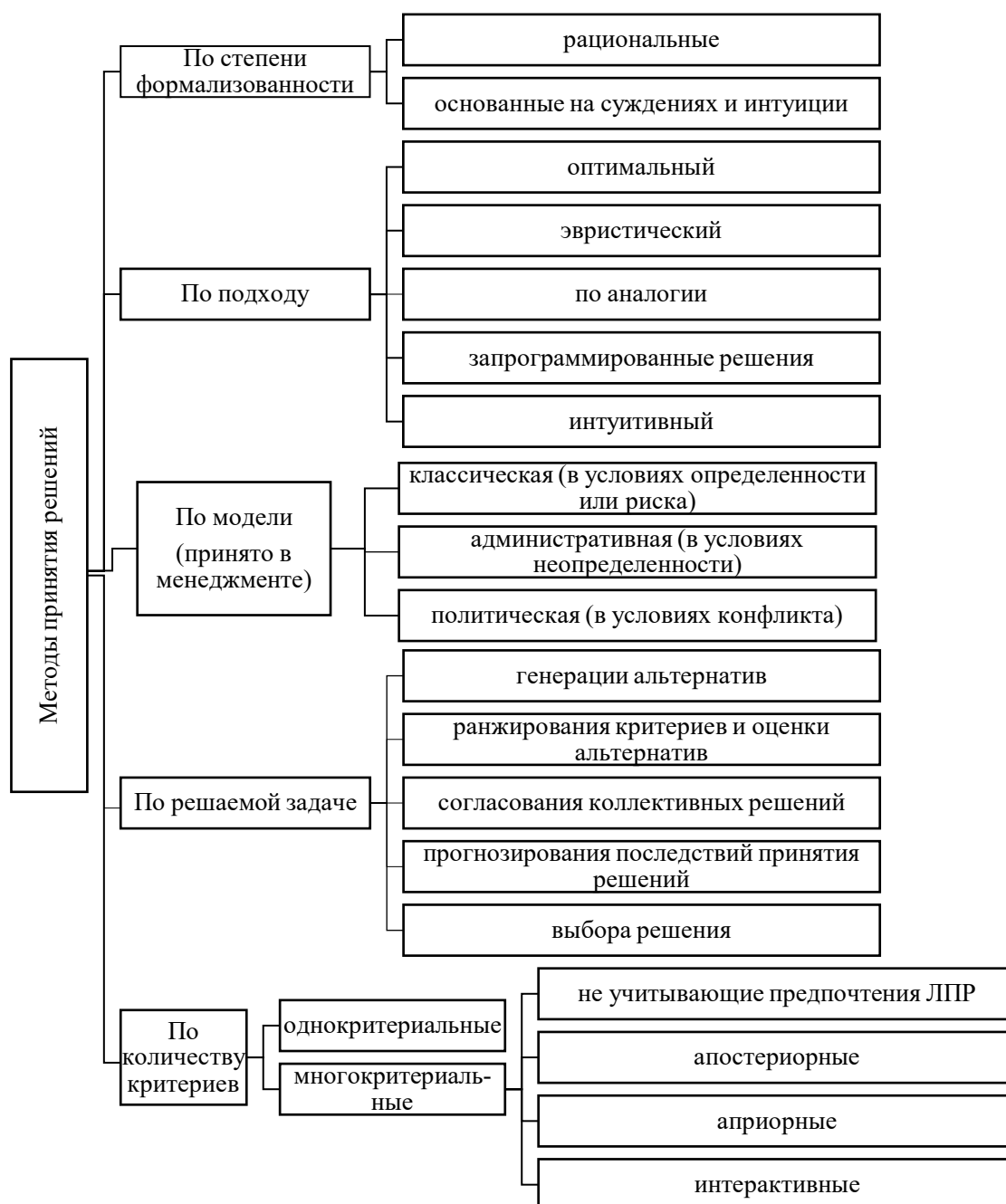


Рисунок 4.12 – Классификация методов принятия решений

Методы, не учитывающие предпочтения ЛПР, не предполагают учета в той или иной форме информации о предпочтениях ЛПР.

Апостериорные методы предполагают внесение ЛПР информации о своих предпочтениях после того, как получено некоторое множество недоминируемых решений. Основной недостаток апостериорных методов заключается в том, что они требуют больших вычислительных затрат.

Априорные методы призваны преодолеть основной недостаток апостериорных методов, связанный с построением всего множества достижимости. Здесь предполагается,

что ЛПР вносит дополнительную информацию о своих предпочтениях до начала решения задачи, априори. Чаще всего эта информация формализуется таким образом, чтобы свести многокритериальную задачу к однокритериальной (метод свертки, метод главного критерия, метод уступок, лексикографического упорядочения и целевого программирования). На практике априорные методы в «чистом» виде используются не часто в связи с тем, что нередко ЛПР очень сложно сформулировать свои предпочтения до начала решения задачи.

Интерактивные методы состоят из совокупности итераций, каждая из которых включает в себя этап анализа, выполняемый ЛПР, и этап расчета, выполняемый методом многокритериальной оптимизации. По характеру информации, получаемой от ЛПР на этапе анализа, можно выделить классы интерактивных методов, в которых ЛПР:

- непосредственно назначает весовые коэффициенты частных критериев оптимальности;

- накладывает ограничения на значения частных критериев оптимальности;

- выполняет оценку предлагаемых альтернатив.

По сложности и условиям решения задачи можно классифицировать разными способами. Г. Саймон и А. Ньюэлл в 1958 г. предложили использовать степень структурирования проблемы для ее классификации:

- хорошо структурированные, или количественно сформулированные, проблемы;

- слабоструктурированные, или смешанные, проблемы содержат как качественные, так и количественные элементы;

- неструктурированные проблемы – проблемы, в которых известен только перечень основных параметров, но количественные связи между ними установить нельзя (нет необходимой информации).

Слабоструктурированные и неструктурированные проблемы исследуются в рамках научного направления, называемого принятием решений при многих критериях, при этом выделяют задачи (рисунок 4.13):

- в условиях определенности (если имеется достаточное и достоверное количество информации, пример – задачи оптимизации);

- в условиях риска (возможные исходы можно описать с помощью некоторого вероятностного распределения; такое описание может быть получено либо статистическими, либо экспертными методами);

- в условиях неопределенности (информация о задаче неполная, неточная, формальные методы либо отсутствуют, либо слишком сложны и трудоемки);

- в условиях противодействия или конфликта (когда существует сила, имеющая противоположные ЛПР цели).

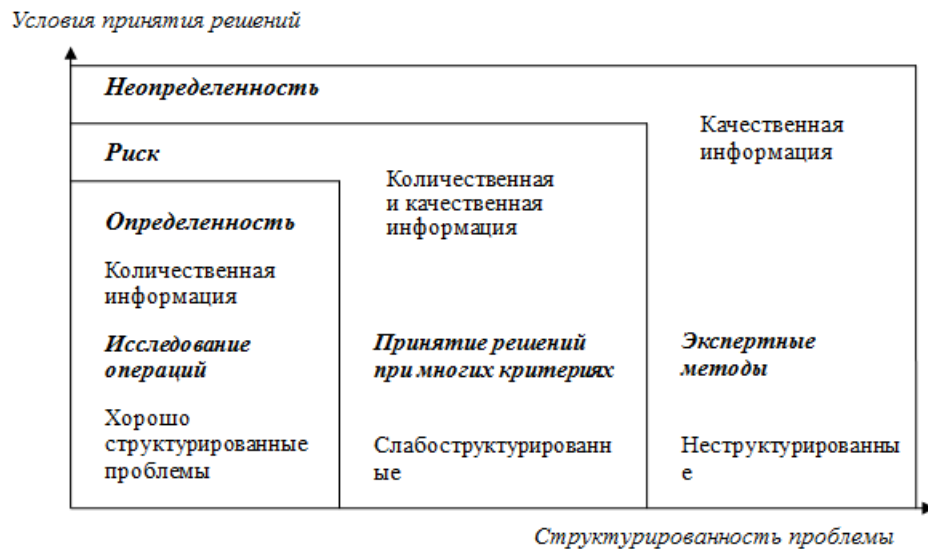


Рисунок 4.13 – Взаимосвязь условий, степени структурированности и методов принятия решений

Принцип оптимальности выбирается исходя из учета конкретных условий принятия решения: количества участников, их возможностей и целей, характера столкновения интересов.

Критерий принятия решений – это функция, выражающая предпочтения лица, принимающего решения, и определяющая правило, по которому выбирается приемлемый или оптимальный вариант решения. Существует множество критериев принятия решений, которые можно применять в зависимости от условий задачи.

Критерии можно использовать поочередно, причем после вычисления их значений среди нескольких вариантов приходится произвольным образом выделять некоторое окончательное решение. Это позволяет, во-первых, лучше проникнуть во все внутренние связи проблемы принятия решений и, во-вторых, ослабить влияние субъективного фактора. Набор критериев, применяемый при принятии решений, должен по возможности обладать следующими свойствами:

полнота: набор считается полным, если, зная значение n -мерного критерия, связанного с общей целью, ЛПР имеет полное представление о степени достижения общей цели;

действенность: ЛПР должен понимать смысл критериев и их влияние на обсуждаемую проблему;

разложимость: формальный анализ решения проблемы требует, чтобы было найдено количественное выражение как предпочтений руководителя, так и его суждений о неоднозначно оцениваемых событиях;

неизбыточность: критерии должны быть определены так, чтобы не дублировать одни и те же аспекты;

минимальность: набор критериев должен быть настолько малым, насколько это возможно.

Для повышения надежности принятия правильного решения следует сформулировать ряд принципов и критериев, которыми целесообразно пользоваться (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Принципы принятия решений

Название принципа	Условия	Описание
Принцип руководящих критериев	В любых условиях	Позволяет осознанно решать проблему принятия решений (не исключает принятия решений на основе интуиции проектировщика или исследователя)
Принцип ограниченной рациональности		На практике ЛПР склонно находить и использовать не оптимальное решение, а временно удовлетворительные, так как не в состоянии оптимизировать их, поэтому при принятии решения следует использовать системы поддержки решений (в виде специального коллектива или автоматизированной среды)
Принцип формализации	В условиях определенности	Предполагает строгую формулировку целей, условий и ограничений экстремальных задач при принятии решений; адекватная формализация является определяющим фактором при решении детерминированных прикладных задач
	В условиях неопределенности	Основан на методах и алгоритмах принятия решений в различных условиях на основе адекватного описания неполной информации о классе неопределенности в рамках обобщения логических заключений о критериях выбора решения на основе формализованной постановки задачи принятия решений в условиях объективно существующей неопределенности
Принцип объективной неопределенности		Предполагает адекватное описание совокупности неизвестных факторов, образующих класс неопределенности (определение класса неопределенности позволяет принимать решение на основе адекватных методов и алгоритмов для заданного класса неопределенности)
Принцип крайнего пессимизма (критерий Вальда)		Игра с природой (принятие решения в условиях неопределенности) ведется как с разумным агрессивным противником, делающим все для того, чтобы помешать нам достигнуть успеха; оптимальной считается стратегия, при которой гарантируется выигрыш не меньший, чем «разрешенный природой»

Название принципа	Условия	Описание
Принцип минимаксного риска (критерий Сэвиджа)		При выборе оптимальной стратегии советует ориентироваться не на «выигрыш», а на риск (риск определяется как разность между максимальным выигрышем при условии полной информации о состоянии природы и реальным выигрышем при незнании состояния природы); оптимальной стратегией является та, при которой величина риска минимальна
Принцип минимизации риска	В условиях риска	Предполагает минимизацию опасности, угрозы, связанных с принятием решений
Принцип Байеса		Предполагает, что игроку известно распределение вероятностей появления реакций системы; наиболее объективной оценкой значения выигрыша для каждого варианта действий будет математическое ожидание, его максимальное значение соответствует оптимальному решению
Принцип пессимизма-оптимизма (критерий Гурвица)		Согласно этому критерию максимизируется взвешенное среднее между выигрышами крайнего пессимизма и крайнего оптимизма. Причем «вес» выбирается из субъективных соображений об опасности ситуации
Принцип минимакса	В условиях конфликта	Каждое ЛПР сначала для каждой своей стратегии вычисляет «гарантированный» результат, затем – стратегию с максимальным значением результата (такое действие не дает максимального «выигрыша»)
Принцип равновесия по Нэшу		Пусть число ЛПР есть n . Набор выбранных стратегий (прямого противостояния нет) $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ называется равновесным, если одностороннее отклонение любого ЛПР от этой ситуации может привести разве лишь к уменьшению его же «выигрыша» (участники не получают максимального «выигрыша»)
Принцип оптимальности по Парето		Данный принцип предполагает в качестве оптимальных те ситуации $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$, в которых улучшение «выигрыша» отдельного участника невозможно без ухудшения «выигрышей» остальных участников. Этот принцип предъявляет более слабые требования к понятию оптимальности, чем принцип равновесия по Нэшу
Принцип недоминируемости исходов	В условиях конфликта	Все участники объединяются и совместными согласованными действиями максимизируют общий «выигрыш». Принцип недоминируемости – один из принципов «справедливого» дележа между участниками общего выигрыша. Это та ситуация, когда ни один из участников не может аргументированно возразить против предлагаемого дележа (элемента «ядра»)

Название принципа	Условия	Описание
Принципы устойчивости (угрозы и контругрозы)		Каждая коалиция участников выдвигает свое предложение, сопровождая его реальной угрозой: если предложение не принимается остальными участниками, то будут предприняты такие действия, которые ухудшают положение остальных участников и не ухудшают (возможно, улучшают) положение угрожающей коалиции. Оптимальным считается то решение, в условиях которого против всякой угрозы любой коалиции найдется контругроза со стороны какой-то коалиции
Арбитражные схемы		Вводится независимая сторона (отдельное лицо или система голосования), называемая арбитром. В теории игр оптимальное, в смысле арбитражной схемы, решение строится при помощи системы аксиом, включающих такие понятия, как статус-кво, оптимальность по Парето, линейность альтернатив, независимость от рангов и т. д.
Концепция динамической устойчивости	Для динамических систем	В динамических системах необходимо, чтобы тот или иной принцип оптимальности, выбранный в начальном состоянии процесса (в начальный момент времени), оставался содержательным в любом текущем состоянии (в любой момент времени) вплоть до конца динамического процесса. Это свойство, называемое динамической устойчивостью принципов оптимальности, можно рассматривать как принцип реализуемости «статических» принципов оптимального поведения в динамических моделях принятия решения

Рассмотрим принцип гибкости. Понятию «гибкость» сопутствуют следующие основные признаки: воздействие на систему; изменение свойств или поведения системы, включая адаптацию; наличие пределов изменения. Совокупность этих признаков позволяет дать определение:

Гибкость – способность системы, подвергнутой определенному воздействию, нормативно или адаптивно изменять свое состояние и (или) поведение в пределах, обусловленных критическими значениями ее параметров.

Гибкость системы может рассматриваться в разных аспектах:

функциональном как реализующем некоторый процесс;
структурном, описывающем элементы системы и их взаимосвязи.

Гибкость процесса обусловлена:

повышением уровня его управляемости;
гибкостью системы, обеспечивающей данный процесс;
информативностью процесса, обеспечивающей полноту и своевременность поступления информации;

восприимчивостью процесса к воздействиям со стороны субъекта управления;
 оперативностью процесса, определяющей своевременность изменений;
 формированием многовариантных структур реализации процесса;
 интервальностью значений длительности процесса и его отдельных стадий.

Гибкость структуры системы связана с гибкостью процесса, так как система является средством реализации процесса, и обусловлена:

повышением уровня ее управляемости при необходимости перестройки процесса;
 восприимчивостью системы к влияниям среды и изменениям инфраструктуры системы;

многовариантностью структур, реализующих процесс.

Процесс и структурная организация также могут рассматриваться через набор разных аспектов гибкости (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Типы гибкости системы

Тип		Описание
Процесс (функционал)	Организация процесса	Процесс допускает: возможность действия механизма саморегуляции, самокорректировки процесса (могут изменяться общие параметры процесса); согласованность между собой отдельных стадий процесса (могут изменяться параметры отдельных стадий, но при этом процесс останется устойчивым); надежность выполнения процесса: при возникновении сбоев могут быть своевременно внесены соответствующие коррективы
	Ориентация процесса	Процесс допускает: смену приоритетов и частных целей при сохранении групп; пересмотр поставленных задач; корректировку состава и содержания выполняемых функций; изменение направленности в случае отклонения от установленных ориентиров
	Реализация процесса	Процесс способен к изменению: форм и способов реализации; состава и последовательности стадий; таких параметров, как длительность, интервалы между стадиями, скорость, интенсивность и др.
Структурная организация	Технологическая	Технологическая (производственная) гибкость требует: оценивания технологии производства и определения, насколько быстро можно перестроиться на выпуск новой продукции; обеспечения требуемого уровня квалификации сотрудников

Тип		Описание
	Коммуникационная	Требует: обеспечения надежной и устойчивой коммуникации между элементами системы; использования современных протоколов и средств связи; обеспечения регламентов и протоколов взаимодействия персонала (как элемента системы): стиля руководства, организационной культуры, психологического климата в коллективе, наличия неформальных групп и т. д.
	Структура	Структура характеризуется: вариабельностью связей, соединений и конфигураций; заменяемостью отдельных структурных блоков; формированием вторичного контура структурных связей: дополняющих, дублирующих, контрольных, корректирующих

Рассмотрим онтологический принцип. При построении онтологических моделей реализуют следующие требования:

открытость (модель открытого мира) дает возможность гибкого описания предприятия с разных точек зрения;

расширяемость онтологии за счет слияния / выравнивания онтологий;

повторяемость использования знаний с точки зрения накопления компетенций и при изменении требований к продукту разработки и условий производства;

прозрачность: с помощью онтологий определяется контекст и выбирается значение термина для конкретного производственного процесса;

связность: в онтологии достаточно легко описать связи между разными объектами производственной деятельности и задать аксиоматику, обеспечивающую отсутствие конфликтов;

независимость от синтаксиса и удобство для пользователя: онтология описывает концептуальный уровень на естественном языке;

эффективность машинной обработки (правила и аксиомы позволяют решать прикладные задачи и контролировать непротиворечивость знаний);

стандартизация терминологии и единая информационная, коммуникационная основа для всех участников производства.

7Совокупность перечисленных требований образует онтологический принцип.

4.3 Метод формирования данных для интегрированной модели гибкой онтологической платформы ГИС ОТС ТПП

Все принципы анализа модели должны быть выполнены в ТПП. Принцип гибкости обеспечивается расширяемостью набора программных онтологических витрин и их плагинов. При появлении новых задач или изменении логики решения имеющихся создается новая витрина или изменяется имеющаяся.

Структура единого корпоративного хранилища отличается от структуры хранилища данных наличием дополнительного онтологического блока.

Принцип обеспечения потенциальной эффективности реализуется на уровне бизнес-логики при решении конкретной задачи оптимальным способом. Примером реализации принципа является поиск оптимального релевантного технологического процесса, произведенный в нижеописанном макете платформы (то есть использование оптимальных решений при реализации бизнес-логики).

Для реализации онтологического принципа необходимо построить онтологии, обеспечить их хранение в репозитории и использование в онтологических витринах.

Онтологический принцип реализуется в онтологическом блоке, который состоит из следующих разноуровневых онтологий:

онтология предприятия, или производственная онтология, которая для других онтологий будет онтологией верхнего уровня, и именно она будет основой для слияния онтологий при необходимости;

онтологии прикладных технологических задач – онтологии нижнего уровня, которые кроме таксономии будут содержать правила;

машина вывода, использующая правила и аксиомы онтологий и генерирующая новые знания.

Сначала для формирования гибкой платформы надо выбрать конкретную методологию создания онтологий. Анализ существующих методологий построения онтологий, проведенный в п. 4.2, позволил сделать вывод об отсутствии общей методологии. Вопрос выбора методологии построения онтологии тесно связан с вопросом выбора приложения для реализации платформы, так как один из существенных признаков классификации методологий – зависимость от приложений (часто методология создавалась на основе полученного опыта разработки онтологического приложения). Другой существенный признак методологии – исходные данные для разработки. Схематически выбор методологии по признакам классификации существующих методологий можно представить в виде вопросно-ответного дерева (рисунок 4.14).

Из схемы ясно, что, несмотря на достаточно большое количество онтологий, для реализации онтологий гибкой платформы может не найтись подходящей (например, независимая разработка с исходной онтологией) или базовая модель выбранной онтологии не будет подходить к вашей реализации (например, Сус с логическим программированием). В этом случае можно придерживаться этапов жизненного цикла методологии, соединив с выбранной моделью жизненного цикла и моделью реализации онтологии.

Сравнительный анализ методологий позволяет определить обобщенные этапы разработки онтологий для гибкой платформы.

Все методологии носят поэтапный характер, но содержание этих этапов различно. Общим для всех методологий является этап реализации (кодирования) онтологии, выраженный в том или ином виде. Остальные этапы различаются. В таблице 4.3 приведено сопоставление основных этапов разработки онтологий наиболее распространенных методологий.

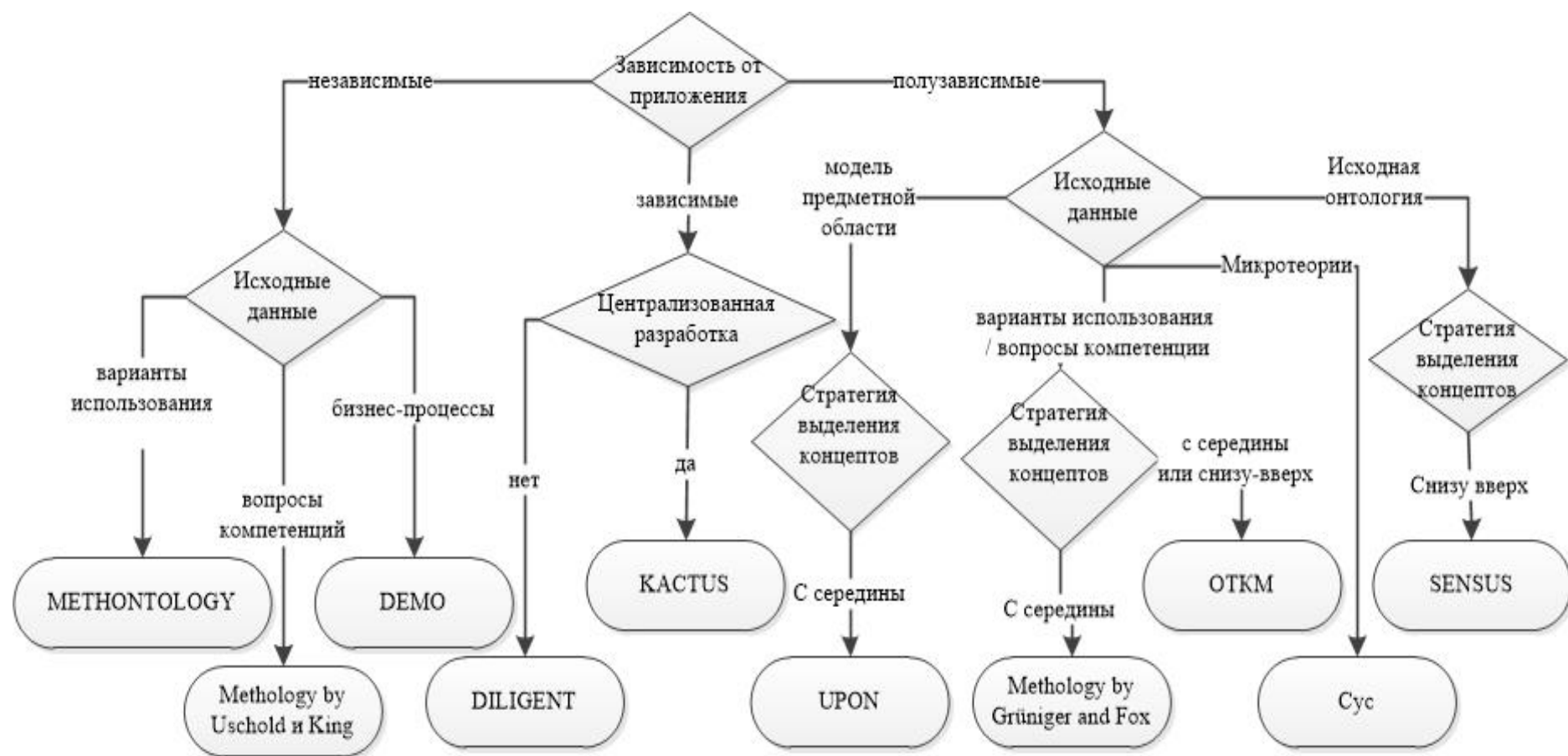


Рисунок 4.14 – Схема выбора методологии

Таблица 4.3 – Примерное сопоставление этапов основных методологий создания онтологий

Methology by Uschold и King	KACTUS	SENSUS	METHONTO- LOGY	Cyc	Methology by Grüniger and Fox	IDEF5
Определение цели	Спецификация приложения		Управление, контроль качества		1. Фиксация мотивационного сценария	Изучение и систематизирование начальных условий
Построение онтологии	Предварительный проект онтологии (поиск онтологий, разработанных для других приложений, их уточнение и расширение для использования в новом приложении)	Выбирается последовательность терминов в качестве начальных (исходных), вручную связываются с онтологией SENSUS	Приобретение знаний, спецификация, концептуализация	«Ручное» кодирование явных и неявных знаний, содержащихся в источниках знаний	2. Формулирование неформальных вопросов проверки компетенции. 4. Формулировка вопросов оценки компетенции с использованием терминологии онтологии	Сбор и накопление данных
Фиксация онтологии: выявление (идентификация) ключевых понятий и отношений; разработка точных текстовых определений для каждого понятия и отношения; выявление терминов, относящихся к каждому понятию и отношению; согласование всех знаний, полученных в процессе фиксации	Уточнение и структурирование онтологии, приведение к окончательному варианту (используются принципы	Все понятия на пути от начальных терминов до корня SENSUS включаются в онтологию, добавляются пропущенные термины		«Ручное» кодирование знаний с помощью программных средств,		Анализ данных

Methology by Uschold и King	KACTUS	SENSUS	METHONTO- LOGY	Сус	Methology by Grüniger and Fox	IDEF5
разрабатываемой онтологии	минимальной связанности)	Для тех вершин, через которые проходит много путей, в ряде случаев добавляется полное поддерево		используя знания, уже присутствующие в БЗ Сус		
Кодирование онтологии			Формализация, реализация	Полуавтоматиче- ская фаза, когда разработчик «рекомендует» программным средствам источники знаний для обработки и «объясняет» им наиболее сложные места обрабатываемых текстов	3. Спецификация терминологии онтологии на формальном языке (получение неформальной онтологии, спецификация формальной терминологии). 5. Спецификация аксиом для терминов онтологии на формальном языке. 6. Задание условий полноты онтологии	Начальное развитие онтологии
Интеграция существующих онтологий			Интеграция			Уточнение онтологии
Оценка онтологии			Оценивание			Утверждение онтологии
Документирование онтологии			Документирование и управление конфигурациями, сопровождение, поддержка разработки			

После выбора методологии построения онтологий надо спроектировать этапы жизненного цикла онтологии. Несмотря на кажущиеся значительные отличия методологий и разную модель их жизненного цикла (итерационную, каскадную, спиральную и т. д.), все они укладываются в схему основных этапов жизненного цикла любой системы (рисунок 4.15): анализ, разработка, тестирование, сопровождение, эксплуатация, утилизация.

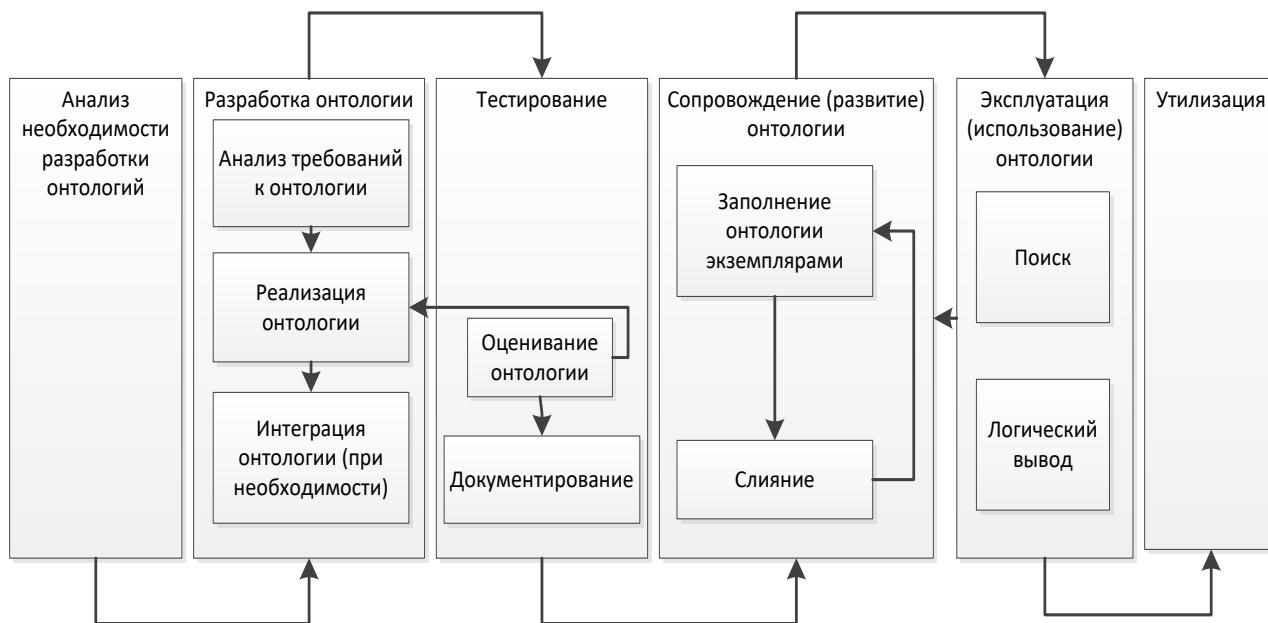


Рисунок 4.15 – Методика формирования данных для модели гибкой онтологической платформы на этапах жизненного цикла онтологии

Разработка онтологии – это обязательно итеративный процесс: несмотря на то что на схеме не показаны все обратные связи, в процессе эксплуатации гибкой платформы онтологии неизбежно будут перестраиваться.

Итеративный процесс не только связан с жизненным циклом платформы, но и привязан к жизненным циклам предприятия, знания и изделия. В связи с этим изменение в структуре предприятия и его бизнес-процессах, появление новых изделий в производстве, снятие с производства изделий, изменение компетенций у компетентов и т. д. запускают процесс реинжиниринга онтологий, то есть цикл итераций жизненного цикла.

Единственно верного способа моделирования предметной области не существует – всегда находятся жизнеспособные альтернативы, поэтому в процессе построения и тестирования онтологий остается место субъективности и творчеству. Лучшее решение почти всегда зависит от предполагаемого приложения и ожидаемых расширений и может быть рассмотрено лишь совместно с платформой и информационной средой предприятия.

Далее каждый из этапов жизненного цикла онтологии будет рассмотрен подробно.

Анализ необходимости разработки онтологий

Так как гибкая платформа объединяет все задачи ТПП, то для реализации каждой конкретной задачи следует определить необходимость построения и использования онтологии. Для этого выбирается один из следующих вариантов ответов на вопрос, нужна ли онтология:

не нужна, задача эффективно решается алгоритмическим способом с использованием традиционных языков программирования;

нужна, при этом:

имеющихся в платформе онтологий достаточно, создавать новую онтологию нет необходимости;

имеющихся в репозитории гибкой платформы онтологий недостаточно, требуется создать:

- новые концепты в существующих онтологиях;

- новую онтологию.

Для выбора ответа необходимо:

Определить метод решения задачи. Если он состоит в вычислении рациональным способом, методом сопоставления данных из имеющихся баз данных, то такой метод эффективнее реализовать как функцию, процедуру на традиционном языке программирования или языке запроса к данным.

Если такой метод не найден и требуется экспертное знание или модель представления знаний, то рекомендуется использовать онтологии платформы.

Для проверки наличия имеющихся знаний в уже созданных онтологиях, следует сформулировать несколько синонимичных запросов к онтологиям (в разной терминологии) и проанализировать результаты:

если получены полные ответы, то существующих онтологий достаточно для решения текущей задачи;

если получены общие ответы, но они недостаточно вариативные или недостаточно детальные, то рекомендуется расширить уже имеющуюся онтологию;

если ответы не получены, то необходимо разработать новую специализированную онтологию.

Рассмотрим применение метода формирования данных для интегрированной модели гибкой онтологической платформы для ТПП.

Проведем анализ требований к онтологии

Для формирования требований к онтологиям, кроме общих требований, необходимо сформулировать и другие, в частности:

- границы предметной области;
- ограничения онтологии;
- требования к понятиям (концептам);
- требования к реализации онтологии и связанные с этим требования к инструментам, использующим онтологии.

Границы предметной области и ограничения онтологии вытекают из функциональных требований к гибкой платформе.

Для описания требований к функциональной части следует вернуться к модифицированному бизнес-процессу. В нем обозначены три точки обращения к онтологии гибкой платформы, соответствующие разным задачам ТПП. Схематично онтологические элементы можно представить в виде иерархии (рисунок 4.16).

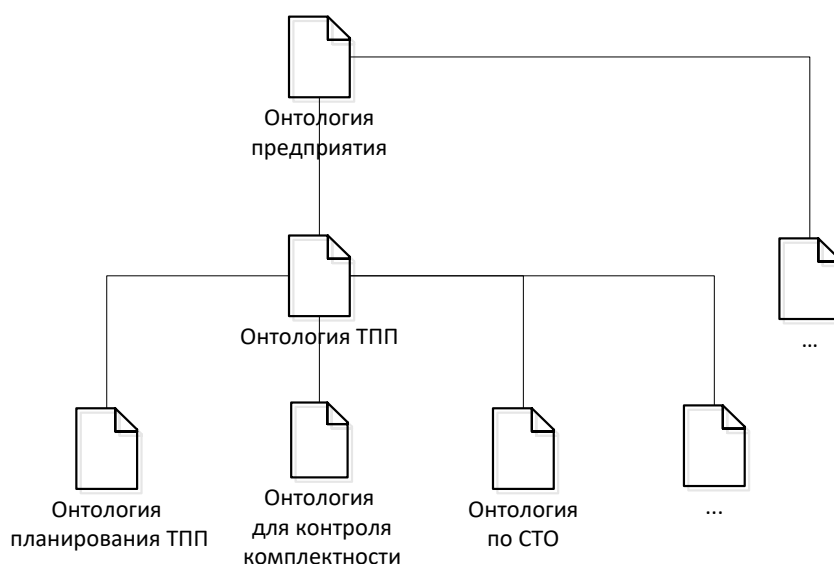


Рисунок 4.16 – Схема иерархии онтологий гибкой платформы поддержки ТПП

Так как эти задачи не единственные и могут быть сформулированы другим образом, а бизнес-процесс конкретного предприятия может иметь отличия от приведенного, то и структура онтологий может быть другой.

После определения структуры онтологий необходимо для каждой прописать собственные функциональные требования. Эти требования могут быть сформулированы с разной степенью детализации в зависимости от проработанности задачи и номера итерации жизненного цикла разработки.

Часть требований к онтологиям являются требованиями к понятиям. На первых итерациях могут быть обозначены примерные рамки описания предметной области задачи, на последующих добавлены согласованные документальные источники для описания концептов предметной области, на завершающих – списки базовых концептов и уровень их детализации. Пример таких требований к задаче «Комплектность ТД» приведен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Пример описания перечня концептов для построения онтологии «Комплектность технологической документации»

Перечень концептов	Документ	Детализация
Тип производства	ГОСТ 3.1119–83. Единая система технологической документации (ЕСТД). Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на единичные технологические процессы; ГОСТ 3.1121–84. Единая система технологической документации (ЕСТД). Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на типовые и групповые технологические процессы (операции)	Все типы производств, влияющие на комплектности
Стадия разработки технологической документации		Все стадии, регламентированные ГОСТом
Степень детализации описания технологического процесса		Все степени, регламентированные ГОСТом
Полнота комплекта ТД		Минимальные требования к полноте согласно ГОСТу
Комплект ТД		Определение с учетом вариативности состава комплекта ТД
Типы технологических документов		Все типы, регламентированные ГОСТом

Кроме требований к концептам онтологии, должны быть выдвинуты требования к аксиоматике и правилам онтологий (перечень микротеорий, правил на естественном языке и т. д., описывающих продукционные знания), именно они описывают функционал поставленных задач. Для задачи комплектности данные требования выражены в табличном виде (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Фрагмент таблицы, описывающей правила комплектности для ТД
(ГОСТ 3.1119–83)

Тип производства	Стадия разработки технологической документации	Степень детализации описания технологического процесса	Номер варианта комплекта	Условное обозначение видов документов по ГОСТ 3.1102–81 и их применение										Указания по применению
				ТЛ	МК	КТП	ВО	КК	КПИ	ВОП	ОК	КЭ	ТИ	
Единичное, мелко-серийное	Предварительный проект	Маршрутное	1	○	●		○	○				○		МК выполняет роль основного документа, где все операции описывают в технологической последовательности без указания переходов и режимов обработки, например ЕТП слесарных, слесарно-сборочных работ
	Разработка документации опытного образца (опытной партии), опытного ремонта		2	○	●		○	○	●			○		МК выполняет роль основного документа, где все операции описываются в технологической последовательности без указания переходов и режимов обработки. КТИ разрабатывается к отдельным операциям или к ЕТП, где указываются данные по режимам, применяемым материалам, их нормам расхода и т.п., например: 1. КТИ к операциям сварки, пайки и т.п. 2. КТИ к ЕТП литья,ковки и горячей штамповки

К онтологическим витринам пользователь будет предъявлять требования по быстродействию системы, поэтому в зависимости от программно-аппаратной реализации платформы могут быть определены требования к размеру онтологии (при большом количестве концептов машина вывода работает медленнее) (рисунок 4.17).

От технических требований будет зависеть реализация платформы, или же они будут диктоваться уже действующей платформой. Чаще эти требования устанавливаются при проектировании онтологии, но могут быть определены сразу, если платформа уже функционирует. К ним относятся требования:

к формату онтологии;

к средству построения онтологии;
к хранилищу онтологий.



Рисунок 4.17 – Классификация онтологий по размерам

Несмотря на многообразие моделей, обозначенных при описании методологий построения онтологий, рекомендуется использовать форматы web-стандартов для онтологий и исходя из этого выбирать один из форматов (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Спецификации онтологий

Имя синтаксиса	Спецификация	Статус	Цель
RDF/XML	Отображение в RDF-графах, RDF/XML	Обязательный	Взаимообмен (может быть записан и считан любым программным обеспечением, совместимым с OWL 2)
OWL/XML	Сериализация XML	Дополнительный	Упростить обработку, используя инструменты XML
Functional Syntax	Структурная спецификация	Дополнительный	Упростить обнаружение формальной структуры онтологий
Manchester Syntax	Манчестерский синтаксис	Дополнительный	Упростить чтение / запись онтологий DL
Turtle	Mapping to RDF Graphs, Turtle	Дополнительный, не от OWL-WG	Упростить чтение / запись RDF-триплетов

Несмотря на то, что они все преобразуются друг в друга (рисунок 4.18), с учетом необходимости в дальнейшем разрабатывать онтологические витрины в виде web-приложений, рекомендуется использовать формат RDF / XML.

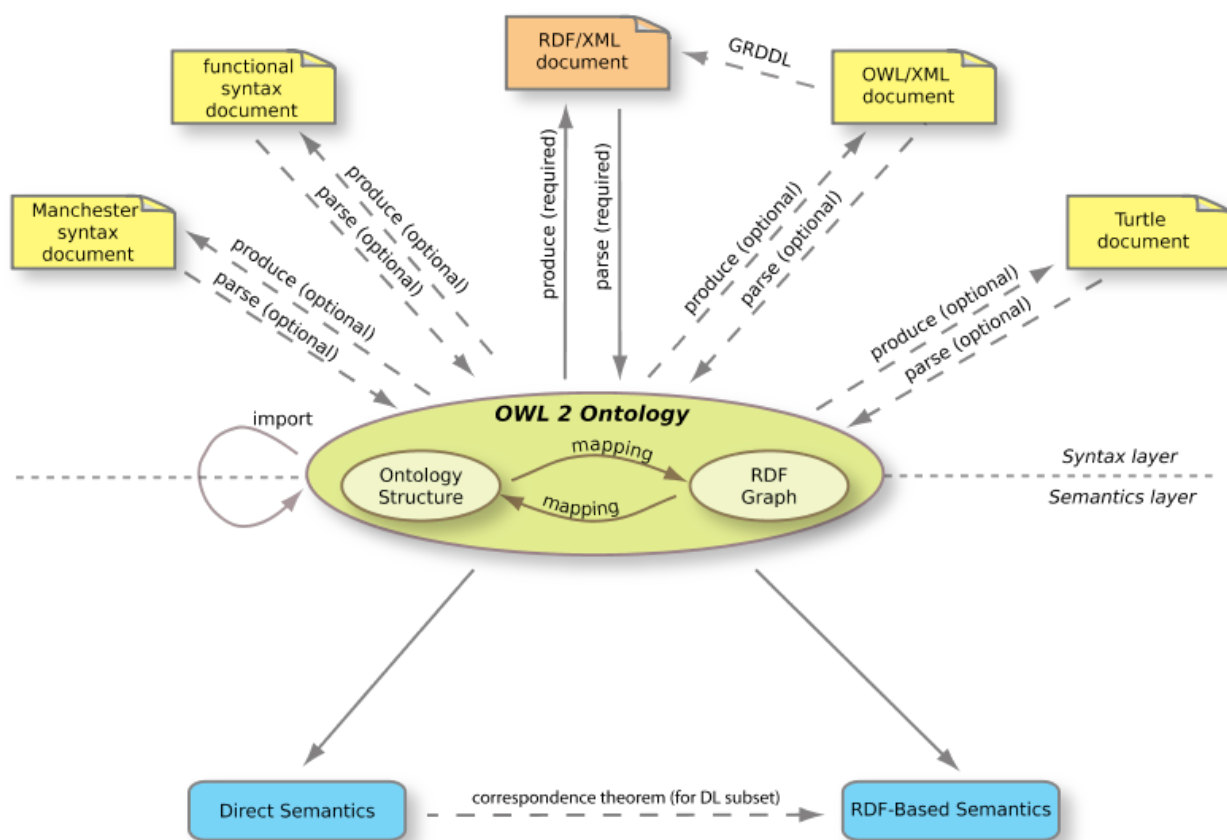


Рисунок 4.18 – Структура OWL 2 [14]

Использование RDF / XML также позволяет рассмотреть более широкий перечень программного инструментария для построения хранилища онтологий.

Требования к онтологиям могут повлиять и на выбор средства построения онтологии, в частности на:

- возможность коллективной разработки онтологии;
- требования к методологии разработки;
- исходные данные для онтологии (бизнес-процессы, готовые онтологии, варианты использования и т. д.);
- требования к машине семантического вывода.

Рассмотрим алгоритм реализации онтологии.

Процесс реализации онтологии можно представить в виде алгоритма (рисунок 4.19). Данный процесс является итеративным. Под итеративным процессом понимается неоднократный проход по онтологии с целью ее уточнения, то есть на начальном этапе строится черновой вариант, далее добавляются детали, уточнения, пересматривается предыдущий вариант.

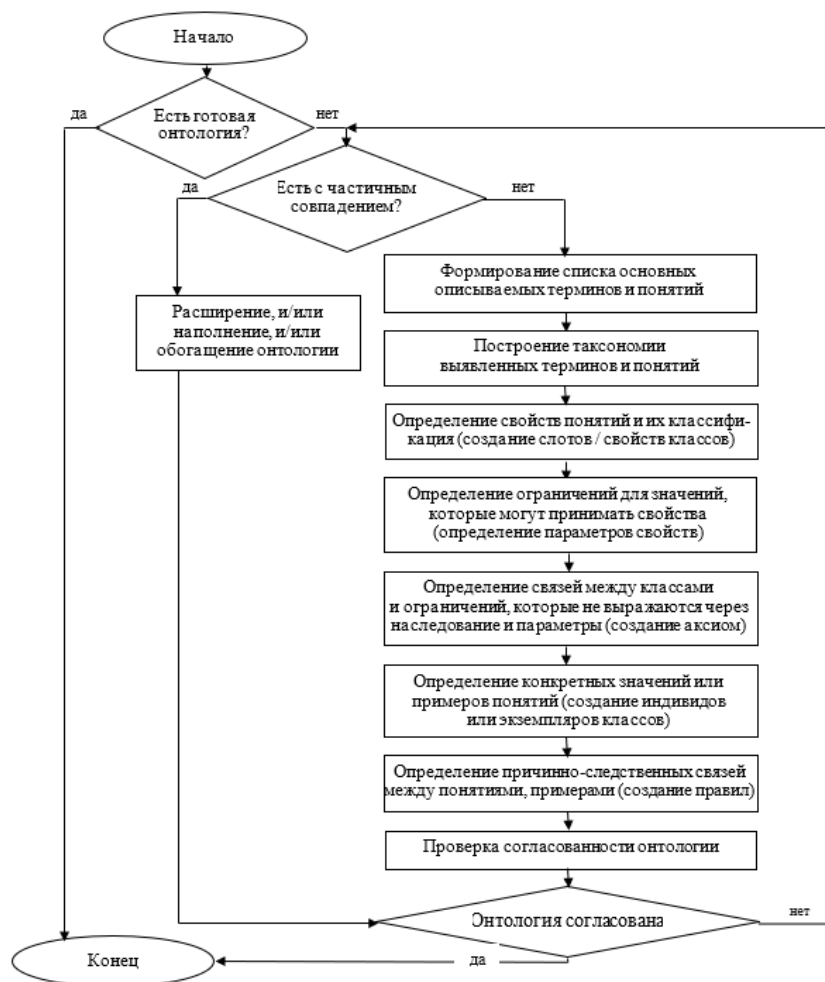


Рисунок 4.19 – Общий алгоритм построения онтологии

При отсутствии существующих онтологий процесс запускается «с нуля».

Формирование списка основных описываемых терминов и понятий. На начальной стадии важно составить перечень всех терминов и понятий, необходимых для решения задачи, которыми оперируют эксперты в данной предметной области, не боясь произвести дублирование и перекрытие между понятиями. Элементы онтологии должны быть близки к объектам (физическим или абстрактным).

Построение таксономии выявленных терминов и понятий (создание классов).

Важную роль при построении онтология играет иерархическая структура. Существует несколько подходов к определению иерархии:

процесс создания сверху вниз, то есть от самых общих понятий домена с последующим детализированием объектов в иерархии;

процесс создания снизу вверх – от определения самых детализированных и специфических классов (концов дерева иерархии) с последующей их группировкой в более общие понятия;

процесс создания с середины: прежде чем искать наиболее общие и наиболее частные понятия, нужно определить наиболее важные понятия, которые будут использоваться для достройки иерархий путем обобщения и специализации;

комбинированный процесс – от понятных объектов к их группам и затем к более специфическим объектам.

Все понятия (или концепты) делятся на ряд классов (по семантической зависимости) [53], им можно сопоставить элементы онтологии, которые их выражают (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Соответствие элементов онтологии зависимостям и понятиям предметной области

Зависимость	Понятия	Элемент онтологии
От отображения вида или рода предметов	Видовые и родовые	Классы и подклассы (в виде иерархии)
От отображения части или целого предметов	Части и целые	Классы, подклассы (могут быть как в виде одной иерархии, так и в виде независимых иерархий), слоты / свойства
От количества отображаемых предметов	Единичные и общие	Индивиды и классы
От отображения предмета или свойства	Конкретные и абстрактные	Индивиды или вид класса (абстрактный или конкретный)

При построении иерархии также необходимо использовать принцип наследования в онтологии: объекты, находящиеся на одной ветке, являются детализацией выше располагающегося узла и имеют одну и ту же природу (относятся к одному классу). Поэтому объекты наследуются от одного класса «Thing» или создается несколько иерархий. Неиерархическая взаимосвязь между терминами предметной области выражается через их свойства.

В связи с существующей вариативностью, в построении онтологии остается место субъективному, и онтологии, построенные на основе разных когнитологий, или разных алгоритмов, или разных источников знаний, будут отличаться.

Определение свойств понятий и их классификация (создание слотов / свойств классов). Каждый класс в иерархии имеет набор свойств. Эти свойства могут быть разной природы:

внутренние свойства (неразрывно связаны с объектом);

внешние свойства (описывают данный объект, исходя из каких-то внешних предположений, связей);

части объекта (физические или абстрактные), если он структурирован;

отношения между экземплярами данного класса;

отношения между экземплярами разных классов из разных ветвей иерархии.

При формировании свойств возможно изменение таксономии (иерархии), так как часть изначально определенных классов может перейти в свойства, а добавляемые свойства могут оказаться подклассами. Для определения того, чем является термин, подклассом или свойством, нужно учитывать, что подкласс может:

иметь свойства, которые не имеет суперкласс;

иметь другие ограничения на свойства, в отличие от ограничений в суперклассе;

принимать участие в других взаимодействиях между классами, в отличие от суперкласса.

Значение свойства может быть атомарным (простым типом) или индивидом другого либо этого же самого класса.

Определение ограничений для значений, которые могут принимать свойства (определение параметров свойств). Определение ограничений на характеристики объектов идет параллельно с процессом определения самих свойств. Для определения свойств используют фацеты или типы ограничений (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Ограничения свойств

Тип ограничения	Описание
Допустимые значения	Перечень значений или аксиома (логическое правило, определяющее принадлежность к классу)
Тип значения	Числовой, строковый, булевый, нумерованный. Может задаваться перечислением или указанием класса, из которого будут браться значения, являющиеся экземплярами
Количество допустимых значений	Функциональные свойства (Functional): если свойство является функциональным, то для данного индивида (экземпляра) может существовать не более одного индивида, который имеет отношение к первому индивиду через это свойство Обратные функциональные свойства (Inverse functional): если свойство является обратным функциональному свойству, то это значит, что свойство является обратным функциональным; может быть указана мощность домена
Транзитивность (Transitive)	Если свойство транзитивное и свойство связывает индивида а и индивида b, а также индивида b связывает с индивидом с, то можно заключить, что индивид а связан с индивидом с через это свойство

Тип ограничения	Описание
Рефлексивность	Рефлексивные свойства (Reflexive): свойство называется рефлексивным, когда индивид <i>a</i> связан этим свойством с собой
	Иррефлексивные свойства (Irreflexive): если свойство <i>p</i> иррефлексивное, то оно может быть охарактеризовано как свойство, которое связывает индивида <i>a</i> с индивидом <i>b</i> , где индивид <i>a</i> и индивид <i>b</i> обязательно разные
Симметричность	Симметричные свойства (Symmetric): если свойство <i>p</i> симметричное и связывает индивида <i>a</i> с индивидом <i>b</i> , то индивид <i>b</i> связан также с индивидом <i>a</i> через свойство <i>p</i>
	Асимметричные свойства (Asymmetric): если свойство <i>p</i> асимметричное и связывает индивида <i>a</i> с индивидом <i>b</i> , то индивид <i>b</i> не может быть связан с индивидом <i>a</i> через свойство <i>p</i>

Определение связей между классами и ограничений, которые не выражаются через наследование и параметры (создание аксиом). Аксиомы – высказывания, которые всегда истинны. Иерархия онтологии тоже может быть описана через аксиомы (наследования); свойства и их ограничения тоже представляются аксиомами (таблица 4.9). Но на данном шаге подразумевается создание общих аксиом (с использованием сложных / составных концептов). Они могут быть включены в онтологию для:

определения комплексных ограничений на значения атрибутов, аргументы отношений;

проверки корректности информации, описанной в онтологии;

вывода новой информации.

Таблица 4.9 – Основные типы аксиом

Объект	Аксиомы	Описание
Классы	Тождественность и	Равенство множеств интерпретаций классов
	Наследования	Вхождение множества интерпретаций класса в другой класс
	Несвязности	Множества интерпретаций классов не пересекаются
	Перечисления	Задание класса путем перечисления всех его экземпляров
Свойства	Соответствуют типам ограничений из таблицы 3.8	
Индивиды	Похожесть	Две ссылки URI указывают на одного и того же индивида
	Различие	Две ссылки URI указывают на разных индивидов
	Различие списков	Предоставляет средство для определения списка попарно различных индивидов

Определение конкретных значений или примеров понятий (создание индивидов или экземпляров классов). В онтологию вводятся конкретные объекты классов и задаются значения слотов в этих экземплярах. Они описывают конкретные объекты предметной области, данные и факты. Для разных задач одни и те же объекты предметной области могут быть как классом, так и индивидом, что зависит от степени детализации онтологии и от принципов классификации, выбранных при построении таксономии.

Определение причинно-следственных связей между понятиями, примерами (создание правил). Аксиоматика привязывается непосредственно к классам. Но не все отношения можно задать таким образом, в частности, если они зависят от элементов других классов и имеют отношение к нескольким классам. В этом случае можно использовать правила. Правила не являются элементом онтологии, они представляют собой ее расширение. В связи с этим существует две стратегии объединения онтологии и правил:

семантическая (однородная, гомогенная) интеграция подразумевает, что нет различий между предикатами правил и предикатами онтологий; правила можно использовать для определения классов и свойств онтологии (примерами данного подхода являются SWRL и DLP);

строгое семантическое разделение, или гибридный подход (интеграция со строгим семантическим разделением между двумя слоями), предполагает, что правила не могут определять классы и свойства онтологии, за исключением некоторых специальных отношений (примером данного подхода является Answer Set Programming).

Синхронизация или согласование онтологии. Онтология предметной области может содержать противоречия, если предметная область слабоформализуема. В этом случае онтология не будет согласована (описательные возможности онтологии зависят, например, от выбранного профиля). Но если подразумевается, что онтология не должна содержать противоречий, то отсутствие такой аксиоматики можно проверить, используя машину семантического вывода.

Сейчас активно развиваются различные методы автоматизированного построения онтологий, и качество получаемых онтологий улучшается. Методы автоматического построения онтологий можно условно разделить на:

- методы, основанные на подходах из области искусственного интеллекта;
- статистические методы;
- методы, использующие лингвистические подходы.

Примеры таких методов приведены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Примеры методов автоматизированного построения онтологий [115]

Класс методов	Примеры методов	Описание
Лингвистические	Использование лексико-синтаксических шаблонов	Шаблоны разрабатываются экспертами и позволяют выявить отношения между терминами на основе части текста на естественном языке
	Языковые шаблоны для выявления связей между понятиями на базе анализа корпуса текстов предметной области	Производится разметка корпуса синтаксическими тегами (несущими информацию о морфологии слова), определяются наиболее часто встречающиеся лингвистические структуры, на основе чего строятся лингвистические шаблоны. Далее из текста выделяются фрагменты, соответствующие полученным шаблонам, и после нормализации новое понятие вводится в базовую онтологию. Для оценки релевантности выделенных понятий необходимо мнение эксперта предметной области
	Плагин OntoLT	Используется XML-разметка текста, на основе которой по указанным правилам выделяются кандидаты на роли сущностей и связей. Правила вводятся пользователем до начала работы приложения на специальном языке, названном в документации precondition language
Статистико-лингвистическое	Texterra	Перед вычислением собственно статистик производится предварительная обработка корпуса, включающая в себя приведение документов к единому формату, токенизацию, лемматизацию и исключение стоп-слов. Затем производится статистическая обработка и на основе количественных показателей строится онтология
Опирающиеся на способ хранения информации	Кластеризация	Документы представляются в виде набора терминов и разбиваются на кластеры по тематике. Определяется частота встречаемости каждого термина (вес). Терминами онтологии выбираются термины с частотой выше средней, а термины с максимальным весом являются понятиями (концепциями). Представляя коллекцию документов в виде дерева, можно задать иерархические отношения в онтологии (таксономию)
	На основе УДК и библиографических баз данных	Термины, используемые для построения онтологии, выбираются из расшифровки УДК, а также ключевых слов, указанных библиографами в описании статьи

Автоматизированно полученные онтологии могут быть построены неэффективно (разные критерии разбиения таксономий для разных задач), поэтому они могут рассматриваться как черновой вариант для дальнейшей работы когнитолога.

Особенности реализации онтологии для предметной области «Технологическая подготовка производства»

Полного или частичного совпадения существующей онтологии для предметной области «ТПП» нет, значит, построение будет осуществляться «с нуля».

Первый шаг – формирование списка основных понятий и терминов. Для этого следует обратиться к источникам знаний о ТПП. Из всех рассматриваемых источников наиболее доступный и дешевый – нормативные документы. Выбирается тип документации, содержащий наиболее общие термины и их описания, относящиеся к ТПП, – это ЕСТД и ЕСТПП.

Существует более 40 ГОСТ для ЕСТД и ЕСТПП. Можно использовать их все, но некоторые из них не обновлялись достаточно давно, например ГОСТ 3.1701 от 1979 г. Поэтому на данной стадии рекомендуется обратиться к экспертам и разделить нормативную документацию по классам: применяемая, не применяемая на текущем предприятии, не применяемая на текущий момент времени в современном производстве.

После этого из класса применяемой документации следует выделить разделы ГОСТ «Термины, определения и сокращения», исключить повторения (рисунок 4.18). На рисунке 4.20 приведено изображение «Алгоритм подготовки словаря для ТПП».



Рисунок 4.20 – Алгоритм подготовки словаря для ТПП

Второй шаг – построение таксономии, определение объектных свойств (связей между классами, ссылок на индивидов) и части индивидов. Если термины предметной области связаны с объектами, по которым можно получить формальное описание (признаки объектов измерены в сильных шкалах), возможно оценивать похожесть через евклидово расстояние между точками в многомерном пространстве и использовать один из алгоритмов формирования таксономии:

для таксономии класса FOREL: FOREL, FOREL-2, SKAT, KOLAPS, BIGFOR;

для динамичной таксономии: DINA, SETTIP;

для таксономии с суперцелью: ROST.

Существуют специализированные программные продукты от таких производителей, как Autonomy, Convera, Endeca Technologies и TeraGram, которые позволяют строить таксономии и тестировать их.

На практике чаще всего такое описание объектов отсутствует и построение выполняется на базе знаний экспертов. Предлагаемые далее рекомендации для построения являются одним из возможных вариантов построения таксономии.

При построении иерархии предлагается исходить из следующих утверждений:

индивидом является конкретная ТД;

каждый технический документ характеризуется множеством параметров. Эти параметры могут быть категорией (тип / вид / класс), которая определяется через новое свойство класса или наследуется от родителя;

категориальность представляется в общем случае через иерархию (отдельными классами и подклассами) и должна характеризовать индивидов.

Тогда рекомендуется следующий алгоритм работы (рисунок 4.21):

выявить все синонимы и объединить термины;

выявить все связи типа «это», «являться», на их основе определить суперклассы и подклассы и сформировать независимые иерархии (могут наследоваться от абстрактного класса «Thing»), которые обозначить как основные (например, иерархия комплекта документов и процесса (рисунок 4.22));

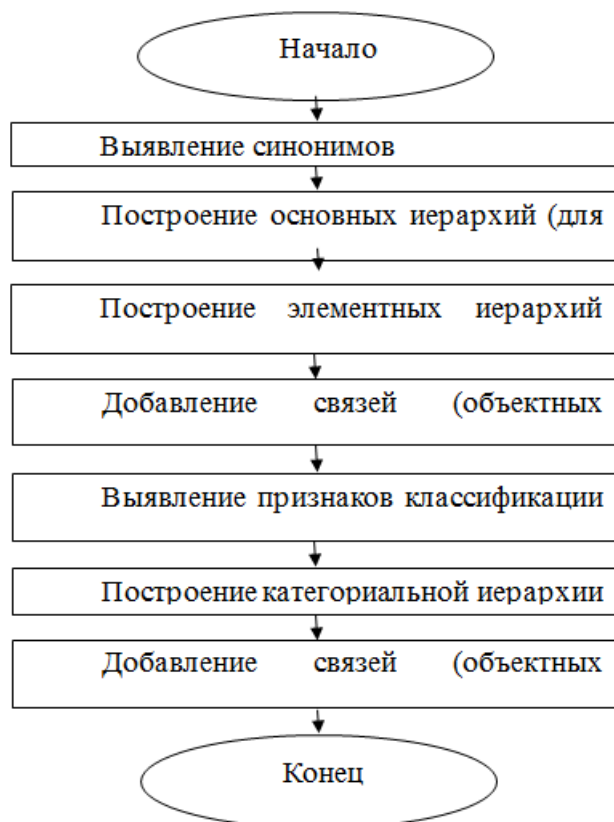


Рисунок 4.21 – Возможный алгоритм построения иерархии классов и задания связей между классами (Object properties)

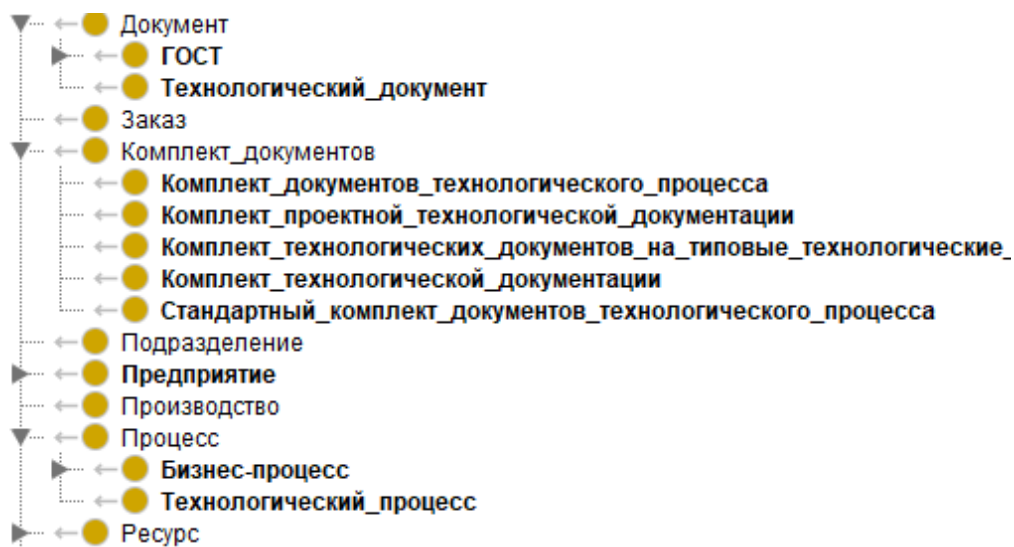


Рисунок 4.22 – Пример основной иерархии классов

Далее надо определить связи «являться частью» и сформировать отдельные классы; связь с целым объектом формируется через свойство «Входит в / Принадлежит / Является частью» (неиерархическая связь); обозначить иерархии элементами (например, элементами документа являются атрибуты, графы, блоки, реквизиты (рисунок 4.23));

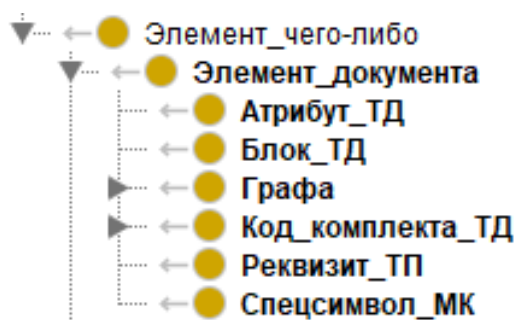


Рисунок 4.23 – Пример элементной иерархии классов

Далее надо ввести связи (объектные свойства) в классы элементов и обозначить принадлежность к целому (если еще не создан индивид-целое, то достаточно обозначить класс как домен в свойстве) (рисунок 4.24).

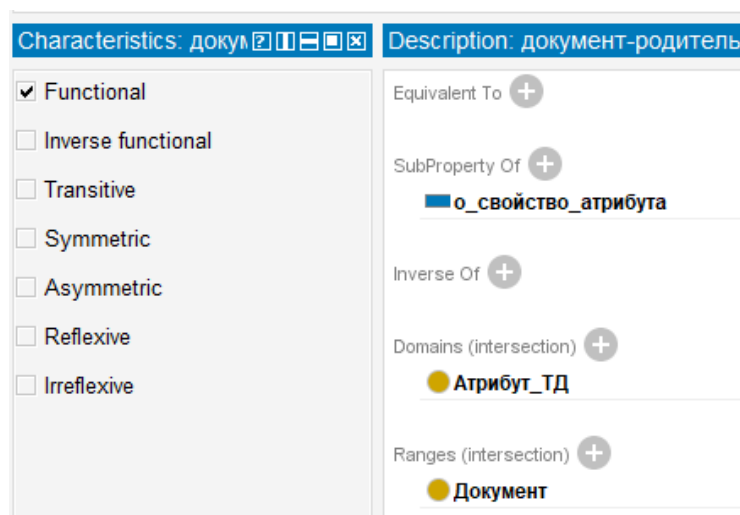


Рисунок 4.24 – Пример объектного свойства для обозначения связи части и целого

Далее выделить все возможные параметры по классификации объектов, которые вошли в иерархии; для них построить отдельную иерархию, листы которой являются индивидами (так как они становятся значением для свойств индивидов основных иерархий); обозначить эти иерархии как категориальные (например, производство можно разделить с точки зрения объекта производства или с точки зрения масштаба (рисунок 4.25), причем с точки зрения масштаба выделяют единичное, мелкосерийное, среднесерийное, крупносерийное и массовое производство (рисунок 4.26).

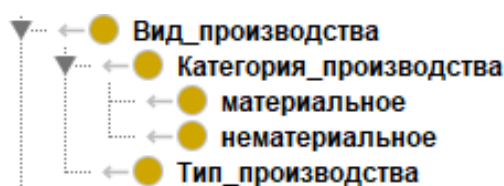


Рисунок 4.25. Пример категориальной иерархии классов

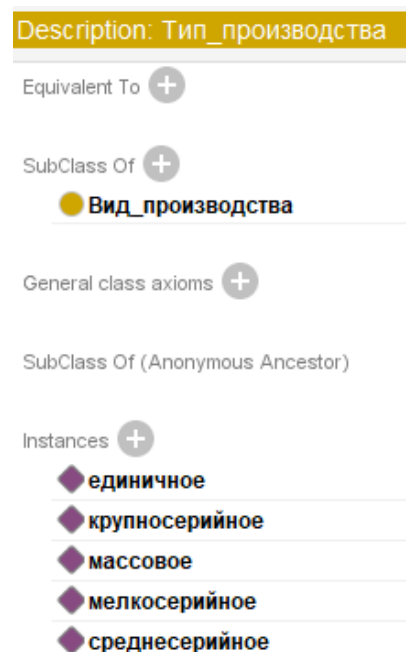


Рисунок 4.26. Пример создания индивидов для описания классификации по выделенному параметру

Надо вести связи (объектные свойства) в основные и элементные классы и обозначить принадлежность к категории (если еще не создан индивид-категория, то достаточно обозначить класс как домен в свойстве (рисунок 4.27)).

Рисунок 4.27 – Пример категориальных связей
(характеристика предприятия по типу капитала)

Шаг третий – определение свойств. Для основных и элементных классов необходимо обозначить свойства, принимающие простые значения (не объектные). Для этого из документов или экспертного знания извлекаются все характеристики (некоторые из них уже могут быть зафиксированы в онтологии через объектные свойства). Эти свойства подобны атрибутам реляционного отношения и формируются таким же образом, можно провести аналогию: класс с набором свойств представляет собой отношение, а индивид с заполненными значениями этих свойств – кортеж отношения (рисунок 4.27). На рисунке 4.28 приведено изображение «Пример простого свойства «Название» для класса «Предприятие»».

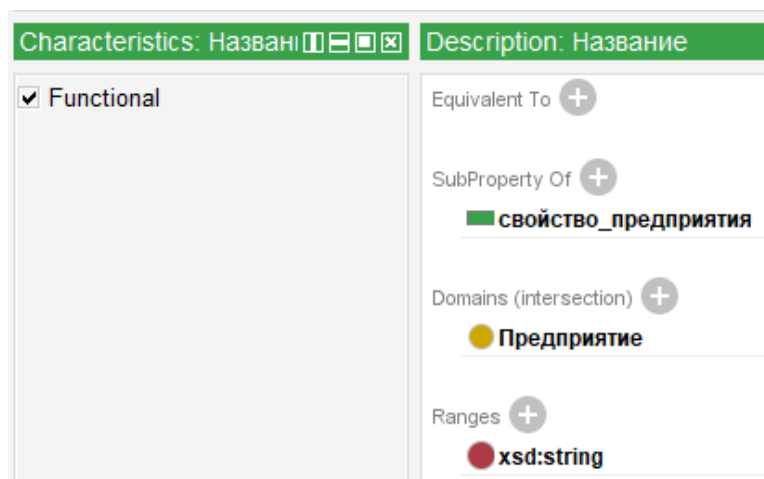


Рисунок 4.28 – Пример простого свойства «Название» для класса «Предприятие»

Существуют следующие способы получения отношений:

интуитивный, на основе собственных знаний разработчика;

повторное использование отношений онтологии верхнего уровня, с которой связана разрабатываемая онтология предметной области, в ряде случаев – с детализацией имеющихся отношений;

выделение отношений на основе текстов на естественном языке.

Шаг четвертый – определение ограничений. При задании классов и свойств не все связи между объектами предметной области можно выразить через иерархию или принадлежность другому, часто требуется уточнение.

Для этого рекомендуется выполнить следующие шаги (рисунок 4.29):

Добавить аксиомы для классов:

класс может принимать ограниченный набор значений индивидов – его можно задать перечислением (добавить индивидов и задать аксиому перечисления, например указать все виды организационно-правовой формы для предприятия (рисунок 4.30));

класс определяется количественным параметром (например, через неравенство для свойства) – добавить аксиому тождественности (добавить свойство и задать условие, например размер крупного предприятия через число работников (рисунок 4.30)).

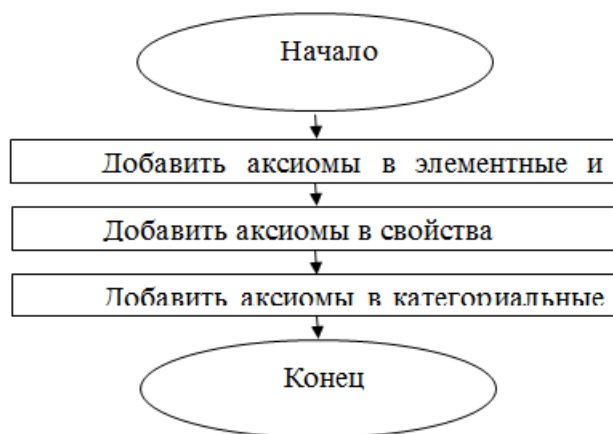


Рисунок 4.29 – Возможный алгоритм добавления ограничений в онтологию для ТПП

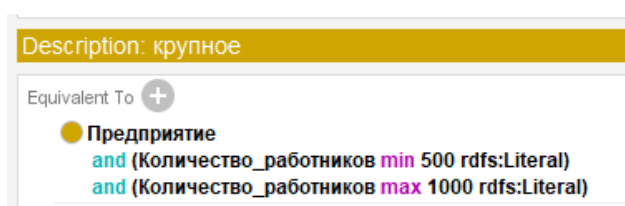


Рисунок 4.30 – Пример задания аксиомы с количественными параметрами

для категориальных классов добавить аксиомы несвязности (две или более категории исключают друг друга), при необходимости – для исключающих друг друга подклассов основных и элементных классов (рисунок 4.31).



Рисунок 4.31 – Пример задания аксиомы непересекающихся классов

Добавить фасеты для свойств (таблица 4.31); объектные свойства (например, капитал предприятия может быть разного типа, а тип предприятия – один. На рисунке 4.32 приведено изображение «Пример задания разных фасетов для объектных свойств».

Рисунок 4.32 – Пример задания разных фасетов для объектных свойств

Могут быть простые свойства (например, репутация бренда предприятия задана строковым типом и может иметь одно значение (рисунок 4.33)).

Рисунок 4.33 – Пример задания фасета для простого свойства

Добавить аксиомы для категориальных индивидов: аксиомы различия для индивидов одного категориального признака (рисунок 4.34); аксиомы сходства для индивидов одного категориального признака.

Description: Полное_товарищество

Types +

- {Акционерное_общество, Общество_с_дополнительной_ответственностью, Общество_с_ограниченной_ответственностью, Полное_товарищество, Производственный_кооператив,
- ☰ Организационно-правовая_форма

Same Individual As +

Different Individuals +

- ◆ Акционерное_общество, Общество_с_дополнительной_ответственностью, Общество_с_ограниченной_ответственностью, Производственный_кооператив, Товарищество_на_вере, Унитарное_предприятие

Рисунок 4.34 – Пример аксиомы различия индивидов одного класса

Шаг пятый – определение индивидов, которое в гибкой платформе должно выполняться при функционировании на основе данных их баз данных корпоративных систем.

Шаг шестой – определение правил. Правила в онтологиях гибкой платформы рекомендуется использовать для решения прикладных конкретных задач, они описывают производственную модель, используя в акцидентах и консеквентах элементы онтологий (классы, индивиды и свойства). Пример построения такой модели для задачи проверки комплектности ТД. На рисунке 4.35 приведен пример одного правила.

Edit
×

Name

gost3_1121_koef

Comment

ГОСТ 3.1121: коэффициент закрепления операций

Status

Ok

tp2019:Производство_Число_рабочих_мест_на_которых_выполняются_различные_операции(?x, ?n) ^ tp2019:Производство_Число_различных_операций_в_месяц(?x, ?k) ^ swrlb:divide(?b, ?k, ?n) ^ tp2019:Производство(?x) -> tp2019:Производство_Кoeffициент_закрепления_операций(?x, ?b)

Cancel

Ok

Рисунок 4.35 – Пример правила онтологии

Шаг седьмой – синхронизация. С учетом выбранного редактора и семантической машины вывода необходимо запустить машину и в случае нахождения противоречий их разрешить (например, машина вывода Pellet в редакторе Protégé (рисунок 4.36).

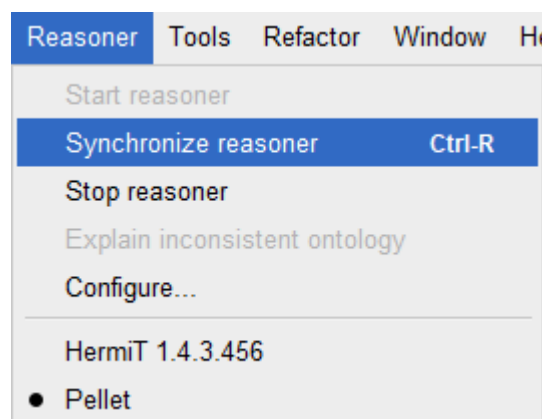


Рисунок 4.36 – Элемент меню в Protégé для запуска синхронизации онтологии

Оценку и тестирование целесообразно вести в рамках единого программного продукта, хотя возможна и самостоятельная оценка по метрикам.

Оценивание онтологии – проверка онтологии перед использованием. В рамках онтологических витрин должно проводиться тестирование с учетом выполняемой задачи.

В случае автоматического или полуавтоматического наполнения необходимо проверить адекватность экземпляров категориям, их уникальность, согласованность, полноту и отсутствие избыточности.

Распространенный критерий оценки качества онтологии основан на оценке работы приложения, использующего онтологию. В связи с этим оценка автоматически построенных онтологий является отдельной сложной задачей.

Документирование онтологии подразумевает контроль изменений и взаимного соответствия версий. В процессе документирования описывается процедура наполнения онтологии и использованные приемы.

Под наполнением онтологии (ontology population) понимают добавление в нее индивидов с их свойствами, а под обогащением (ontology enrichment) – добавление новых отношений и аксиом, использующих эти отношения.

В онтологической витрине заполнение выполняется автоматизированно из баз данных и пользовательских данных.

Выводы по главе 4

1. Теоретически обоснована и практически реализована интегрированная модель гибкой онтотехнологической платформы поддержки производства, состоящая из функциональной, информационной и структурной частей. Функциональное представление гибкой платформы поддержки технологической подготовки производства осуществлено с

точки зрения конечного пользователя платформы, обладающего определенными функциональными обязанностями. Набор таких функций различен и определяется направлением реализации платформы и потребностями конкретной задачи. Разработано информационное представление гибкой платформы. Показано, что архитектура области хранения данных корпоративного хранилища данных состоит из следующих базовых областей: область временного хранения данных, извлеченных из систем-источников; область постоянного хранения данных, приведенных к структуре модели данных хранилища, прошедших очистку и обогащение; область метаданных, описывающих правила, по которым функционирует информационное обеспечение. Предложено структурное представление гибкой платформы на основе репозитория. Для обеспечения вышеописанных функций в нее также включены модуль редактирования и ведения онтологий, модуль статистических моделей, создаваемые онтологические витрины и средства взаимодействия с корпоративными системами.

2. Проведен анализ интегрированной модели гибкой платформы для ГИС ОТС ТПП как объекта проектного производства на основе принципов эффективности, гибкости и количественной оценки онтологических элементов.

3. Разработан метод формирования данных для интегрированной модели ГИС ОТС ТПП на всех этапах жизненного цикла онтологии.

4. В итоге разработана методология информационного управления ТПП на основе онтологического подхода, состоящая из интегрированной модели гибкой онтотехнологической платформы поддержки производства, метода формирования данных для интегрированной модели ГИС ОТС ТПП на всех этапах жизненного цикла онтологии, системы управления ТПП на основе принципов эффективности, гибкости и количественной оценки онтологических элементов.

Глава 5. ФОРМИРОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТПП НА ОСНОВЕ СОГЛАСОВАННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ГИСТПП И ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

5.1 Систематизация процесса технологической подготовки производства для создания инструментария в ГИС ОТС ТПП

Порядок формирования комплекта технологической документации (КТД) представлен на рисунке 5.1.

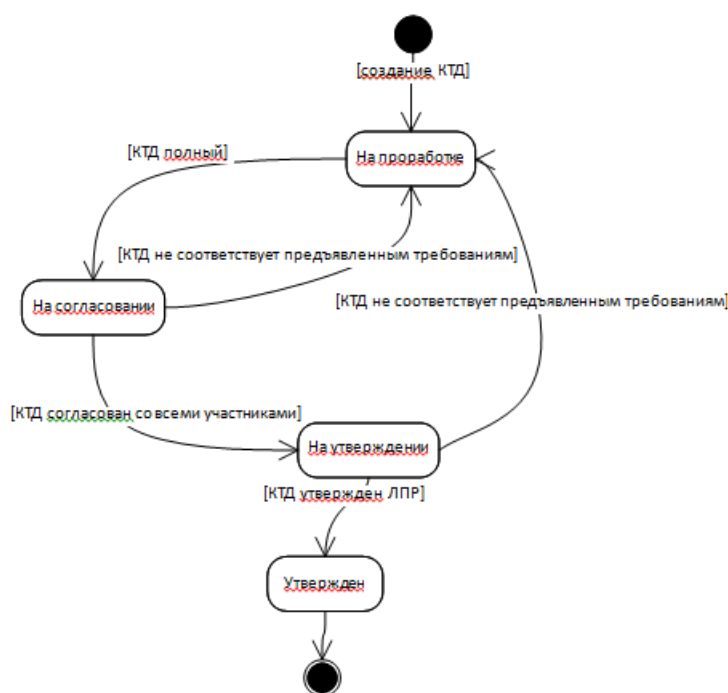


Рисунок 5.1 – Диаграмма состояний для КТД

В процессе подготовки КТД роли распределяются следующим образом (рисунок 5.2): утверждающий комплект ТД и инициализирующий процесс подготовки КТД (рисунок 5.3);

исполнитель (разработчик КТД) (рисунок 5.4);

согласующий комплект ТД (рисунок 5.5).

Программный комплекс для реализации согласующего комплекта конструкторско-технологической документации (СК КТД) представлен на рисунке 5.6.

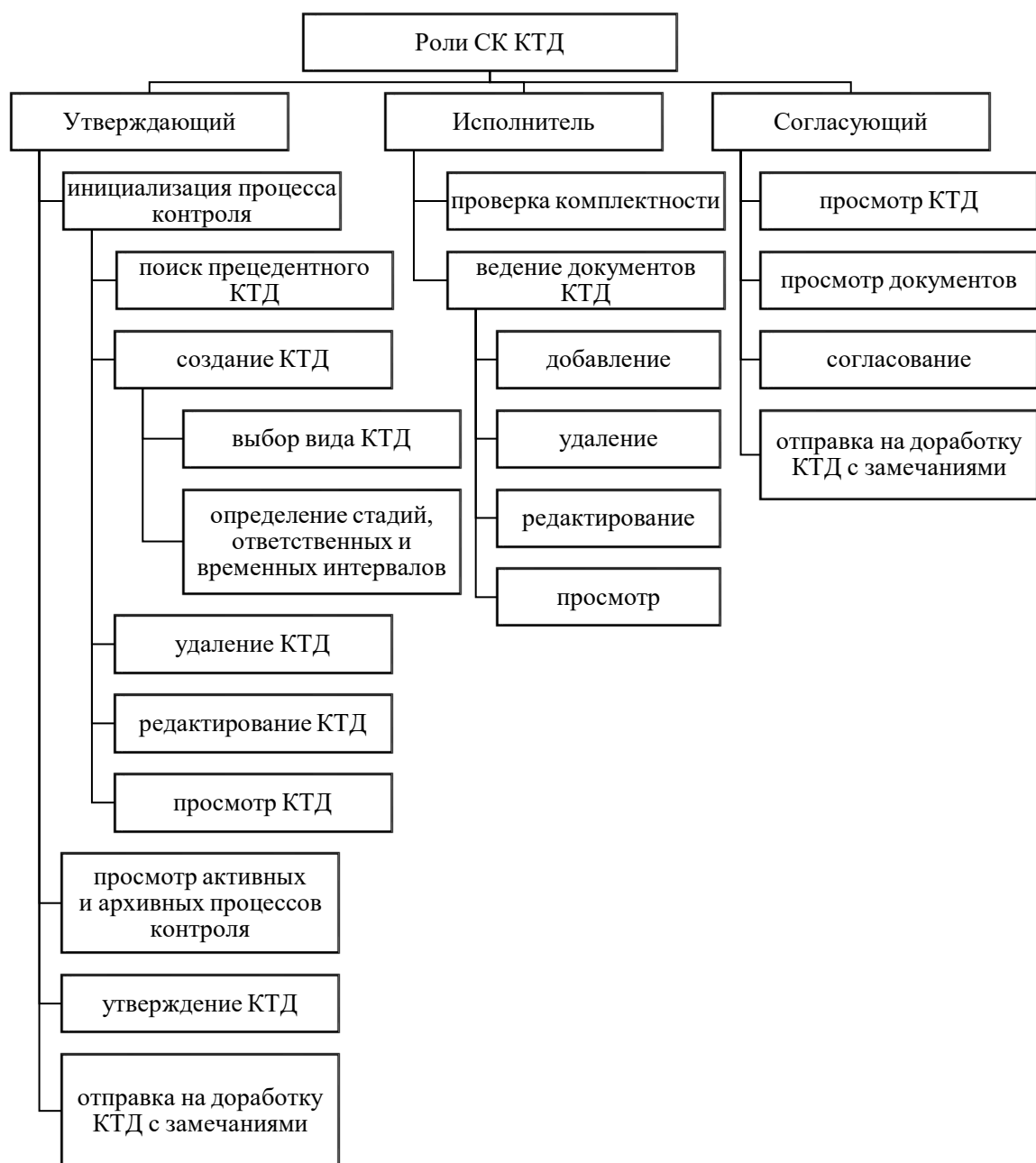


Рисунок 5.2 – Функциональное описание согласующего комплекта конструкторско-технологической документации

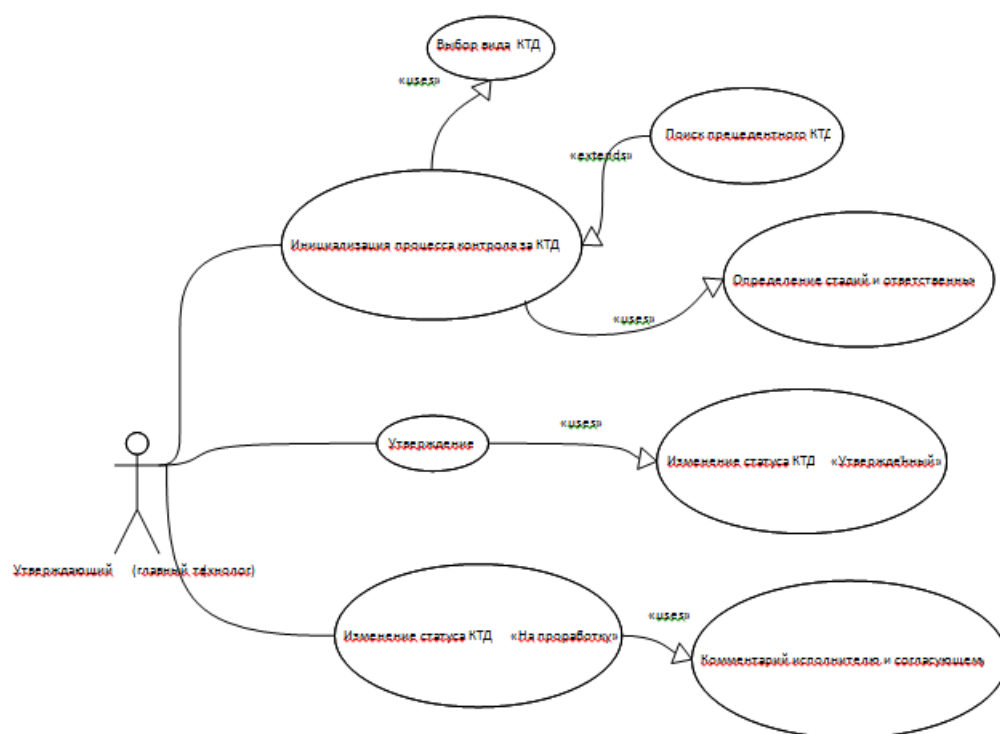


Рисунок 5.3 – Диаграмма вариантов использования
для роли «Утверждающий»

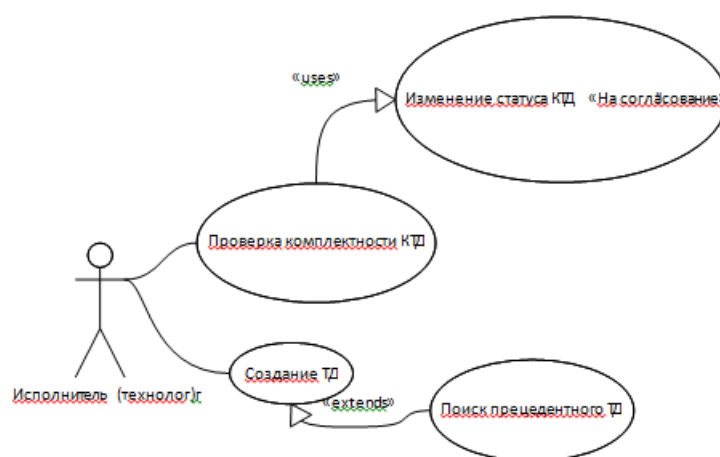


Рисунок 5.4 – Диаграмма вариантов использования для роли «Исполнитель»

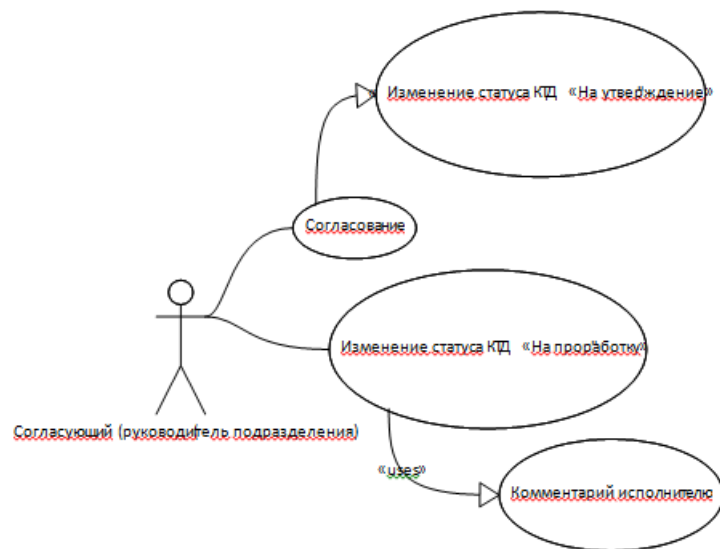


Рисунок 5.5 – Диаграмма вариантов использования для роли «Согласующий»

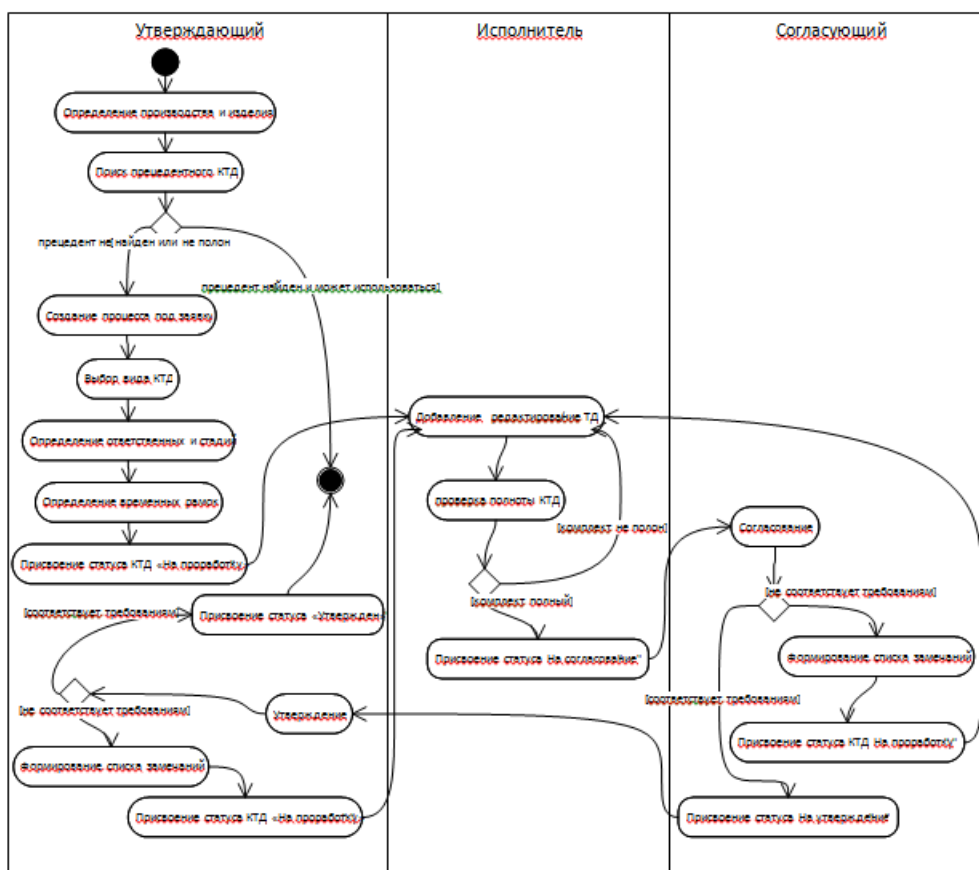


Рисунок 5.6 – Диаграмма реализации процесса подготовки КТД

На рисунке 5.7 приведено изображение «Структура программного комплекса для реализации СК КТД».

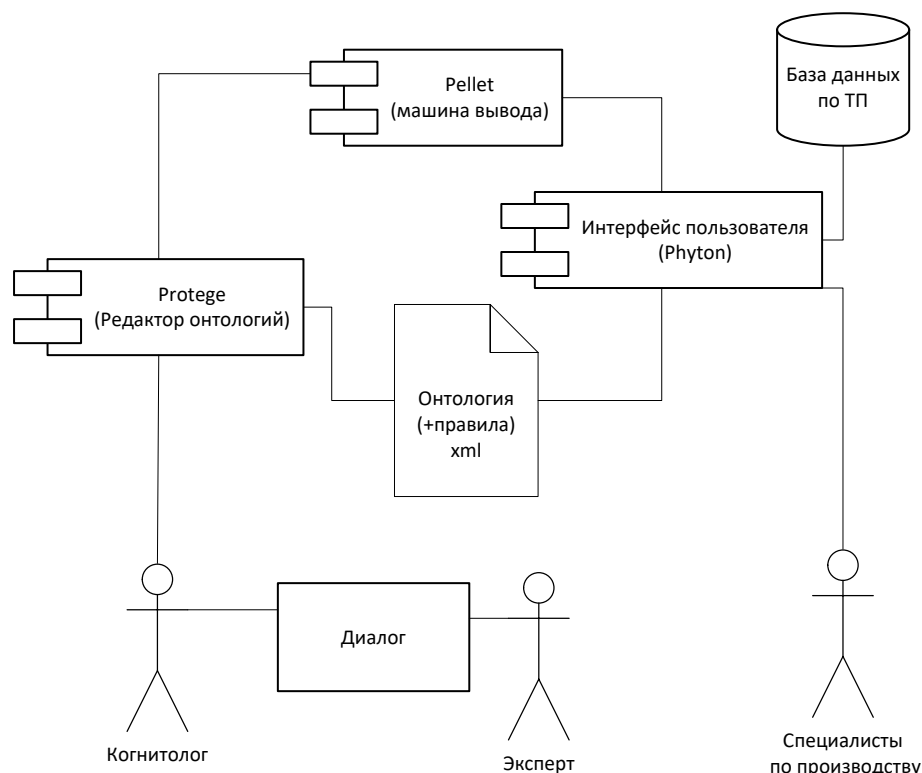


Рисунок 5.7 – Структура программного комплекса для реализации СК КТД

5.2 Формализация элементов в ГИС ОТС ТПП на основе алгоритма поиска комплектов технологической документации

Под прецедентным комплектом ТД понимается:

созданный ранее комплект ТД по запрашиваемому изделию;

комплект типовой ТД по изделию;

комплект ТД информационного назначения по изделию.

Комплект технологической документации кодируется с учетом кода организации-разработчика, кода характеристики документа и порядкового регистрационного номера [33].

Код организации-разработчика в рамках проведения поиска не имеет существенного значения (если поиск производится в архиве одной организации, то код у всех комплектов ТД одинаковый; если в рамках нескольких организаций, то он может указывать на приоритетность релевантных комплектов ТД и использоваться после выполнения поиска).

Код характеристики документа состоит из кода вида документа (таблица 5.1, рисунок 5.8), кода вида технологического процесса (операции) по организации (таблица 5.2) и кода вида технологического процесса по методу выполнения (таблица 5.3, рисунок 5.9).

Таблица 5.1 – Код вида документа

Код	Вид документации	Код	Вид документации
01	Комплект технологической документации	47	Ведомость специфицированных норм расхода материалов
02	Комплект документов технологического процесса (операции)	48	Ведомость удельных норм расхода материалов
04	Комплект временных документов технологического процесса (операции)	50	Карта технологического процесса
05	Комплект проектной технологической документации	55	Карта типового (группового) технологического процесса
06	Комплект директивной технологической документации	57	Карта типовой (групповой) операции
07	Комплект документов технологического процесса (операции) информационного назначения	59	Карта технологической информации
09	Стандартный комплект документов технологического процесса (операции)	60	Операционная карта
10	Маршрутная карта	62	Карта наладки
20	Карта эскизов	66	Карта расчета информации
25	Технологическая инструкция	67	Карта кодирования информации
30	Комплектовочная карта	70	Технологическая ведомость
40	Ведомость технологических документов	71	Ведомость применяемости
41	Ведомость технологических маршрутов	72	Ведомость операций
42	Ведомость оснастки	75	Технико-нормировочная карта
43	Ведомость материалов	77	Ведомость деталей, изготовленных из отходов
44	Ведомость деталей (сборочных единиц) к типовому (групповому) технологическому процессу (операции)	78	Ведомость дефектации
45	Ведомость сборки изделия	79	Ведомость стержней
46	Ведомость оборудования	80	Ведомость держателей подлинников

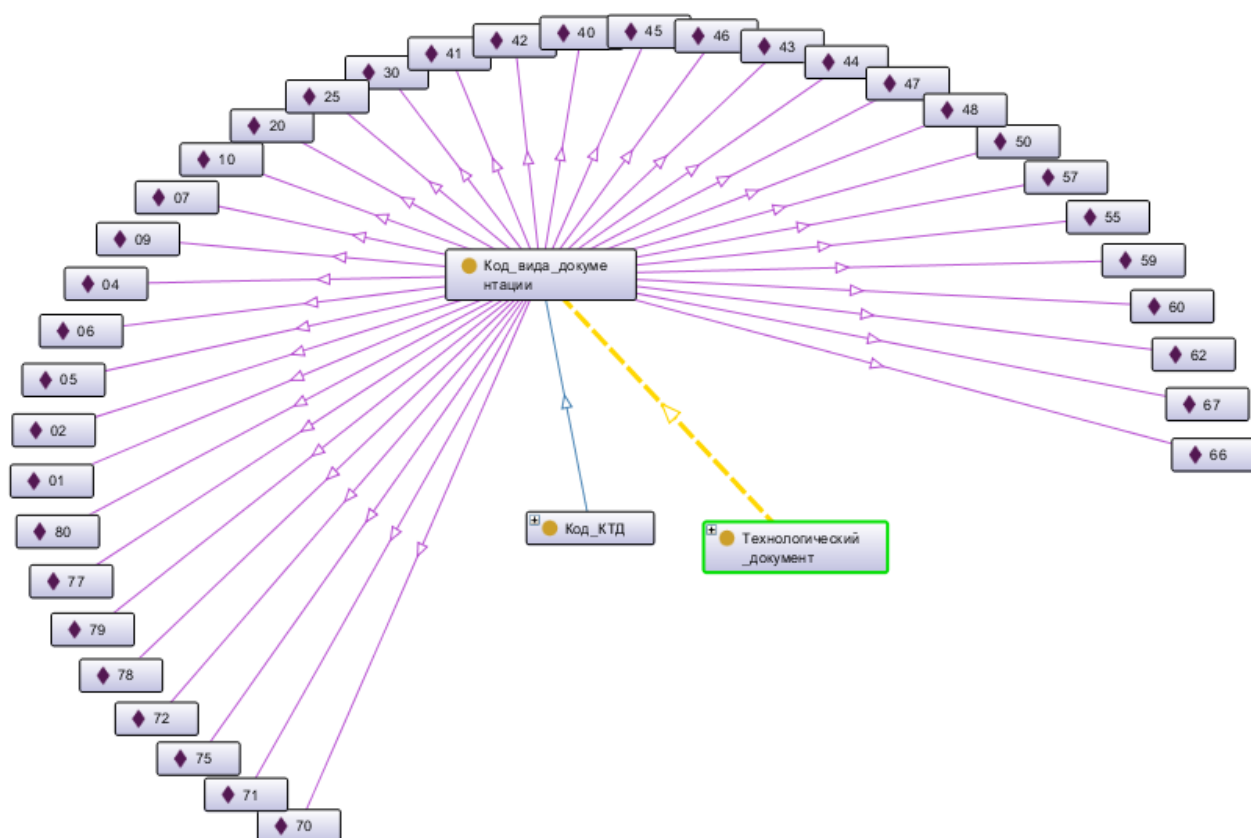


Рисунок 5.8 – Представление в онтологии индивидов – кодов вида документации

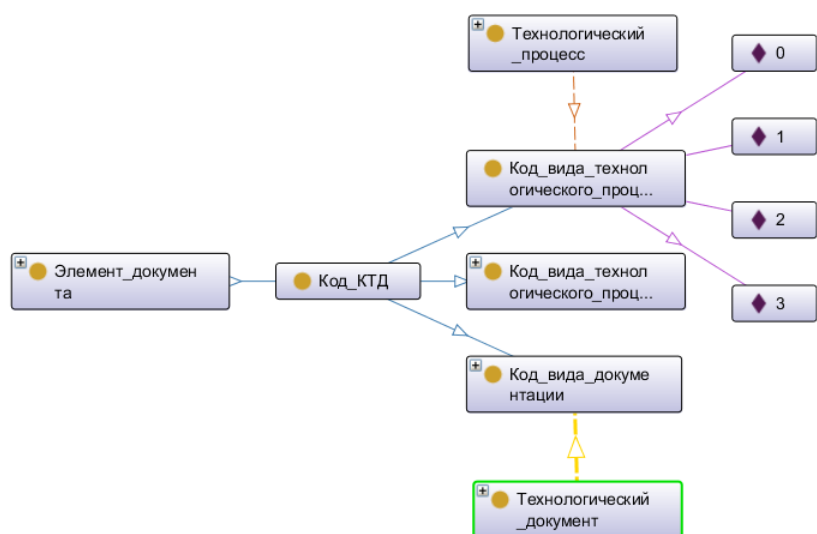
Таблица 5.2 – Коды вида технологического процесса по организации

Код	Вид технологического процесса (операции)	Код	Вид технологического процесса (операции)
0	Без указания	2	Типовой процесс (операция)
1	Единичный процесс (операция)	3	Групповой процесс (операция)

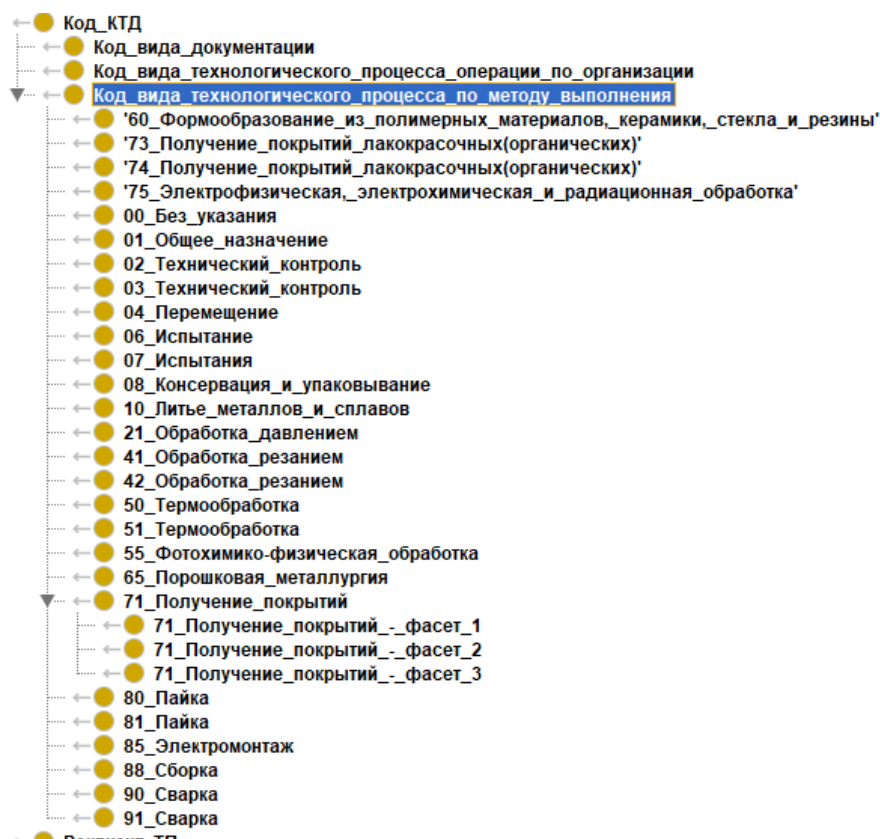
Таблица 5.3 – Первые цифры кода фасета 1

Код	Вид технологического процесса по методу выполнения	Код	Вид технологического процесса по методу выполнения
00	Без указания	55	Фото-химико-физическая обработка
01	Общего назначения	60	Формообразование из полимерных материалов, керамики, стекла и резины
02, 03	Технический контроль	65	Порошковая металлургия

Код	Вид технологического процесса по методу выполнения	Код	Вид технологического процесса по методу выполнения
04	Перемещение	71	Получение покрытия (металлического и неметаллического неорганического)
06, 07	Испытания	73, 74	Получение покрытий лакокрасочных (органических)
08	Консервация и упаковывание	75	Электрофизическая, электрохимическая и радиационная обработка
10	Литье металлов и сплавов	80, 81	Пайка
21	Обработка давлением	85	Электромонтаж
41, 42	Обработка резанием	88	Сборка
50, 51	Термообработка	90, 91	Сварка



А



Б

Рисунок 5.9 – Представление в онтологии классов для кодирования КТД (А, Б)
и экземпляры кодов вида ТП (А)

Код вида технологического процесса по методу выполнения задается согласно классификатору технологических операций машиностроения и приборостроения и состоит из трех фасетов (частей): кода выполняемого действия (рисунок 5.10), кода предмета труда (рисунок 5.11) и кода дополнительной информации (рисунок 5.12). Технологический переход идентифицируется тройкой фасетов, причем первый и второй являются обязательными, а третий может быть пустым. Первый фасет в первых двух цифрах кода содержит указание на вид технологического процесса (рисунок 5.13).

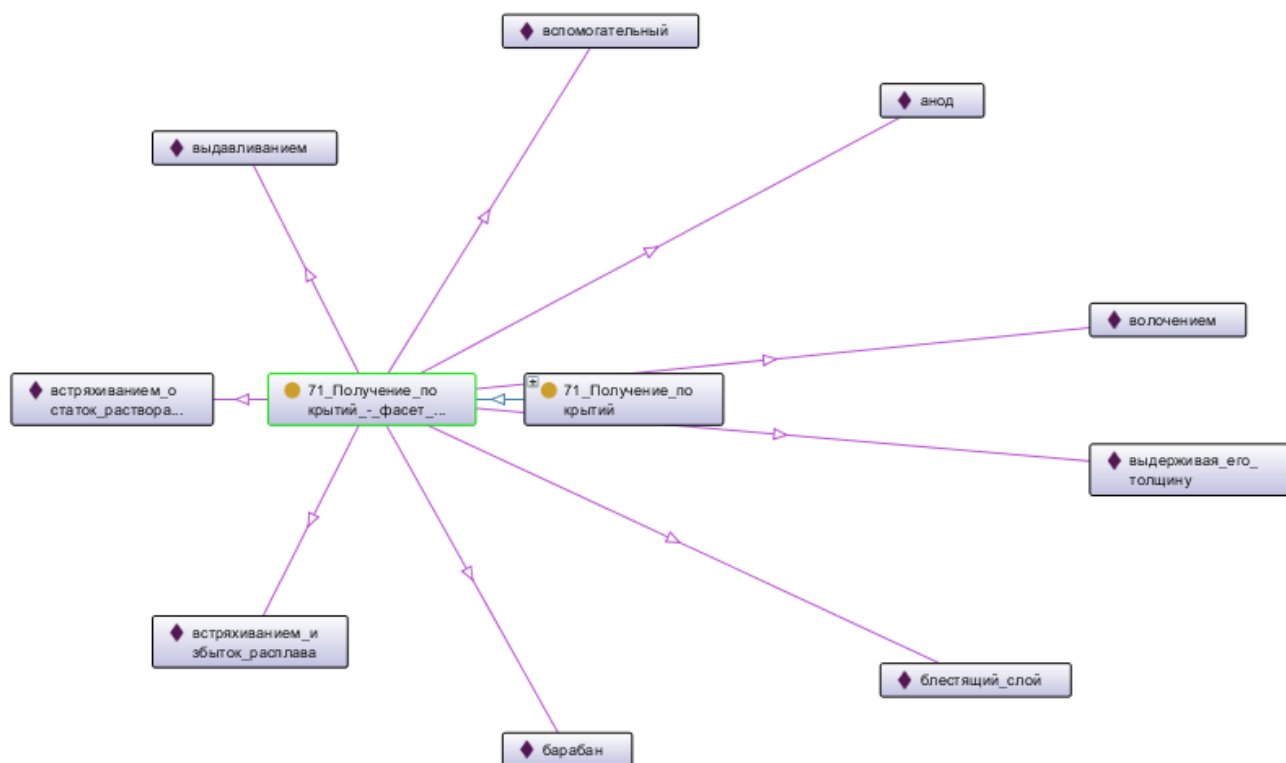


Рисунок 5.12 – Представление кодов вида технологического процесса по методу выполнения для операции 71 «Получение покрытий» – фасет 3

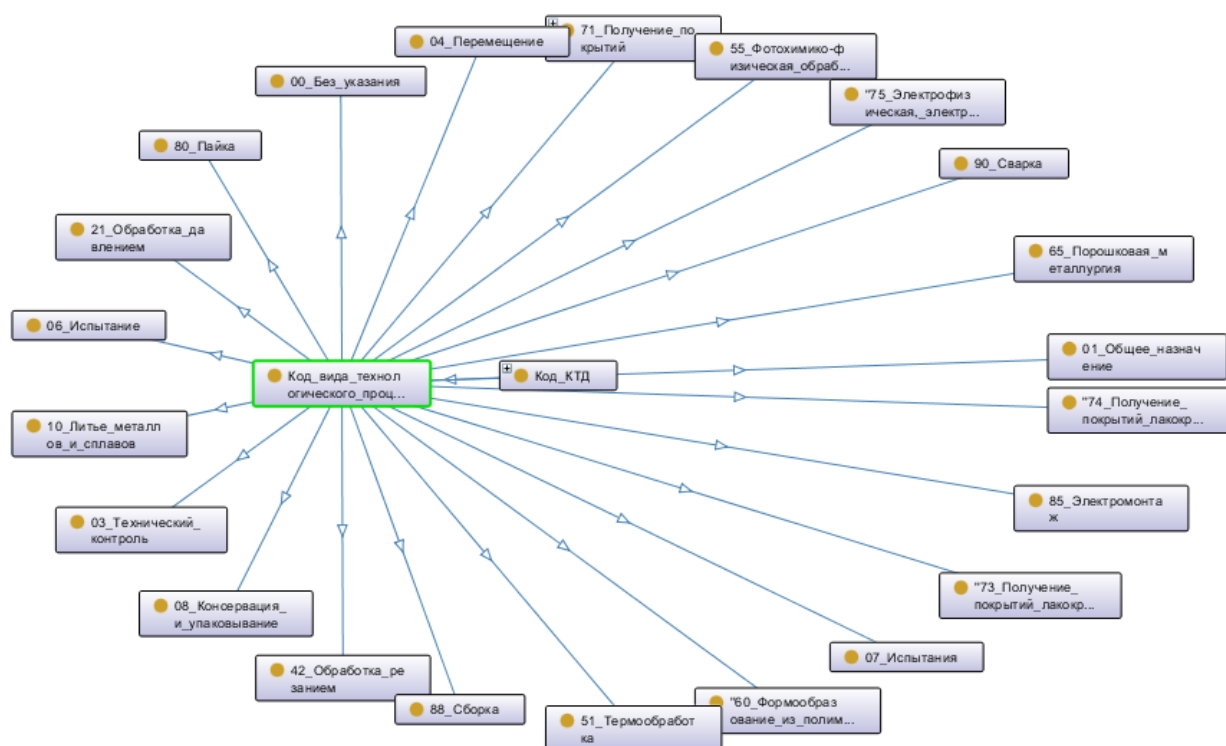


Рисунок 5.13 – Представление классов в онтологии для кодов вида технологического процесса

Для задачи поиска прецедента проводится формализация описания кодирования документа. Пусть $Sets = \{Set\}$,

где $Sets$ – множество прецедентных комплектов ТД,

$Set = \{Name, Type_doc, Type_org, Deg, Step, Ent, Codes\}$,

Set – комплект ТД, состоящий из $Name$ – названия изделия, $Type_doc$ – кода вида документов технологического процесса, $Type_org$ – кода вида технологического процесса или операции по организации, Deg – степени детализации описания технологического процесса, $Step$ – стадии разработки технологической документации, Ent – типа производства и $Codes$ – множества кодов технологических переходов (согласно классификатору технологических переходов),

$Codes = \{F1, F2, F3\}$,

где $F1$ – фасет 1 «Выполняемое действие», $F2$ – фасет 2 «Предмет труда», $F3$ – фасет 3 «Дополнительная информация».

Для поиска прецедента запрашиваются:

название изделия $Name'$ (в виде списка слов);

код вида технологического процесса и операции по организации ($Type_doc'$, $Type_org'$);

Deg' – степень детализации описания технологического процесса;

$Step'$ – стадию разработки технологической документации;

Ent' – тип производства;

список троек фасетов $Codes'$.

Поиск прецедента выполняется в четыре шага:

Во множестве $Sets$ выбирается подмножество элементов Set , в которых $Name$ соответствует $Name'$ (допускается только перестановка слов в названии, слова поиска сопоставляются в заданной при поиске форме: падеж, число не меняются), Deg' равно Deg , $Step'$ равно $Step$ и Ent' равно Ent ; полученное множество обозначается как $Sets'$.

Во множестве $Sets'$ отбирается подмножество элементов Set , в котором $Type_doc'$ и $Type_org'$ соответствуют $Type_doc$ и $Type_org$; полученное множество обозначается как $Sets''$.

Определяются проценты соответствия операций прецедентного комплекта ТД искомому (допустимый процент вхождения переходов искомого комплекта ТД $P1$ и допустимый процент дополнительных операций $P2$). Максимально похожий ТП будет при значениях $P2 = 0$, $P1 = 100$.

Во множестве Sets'' ищется подмножество Codes'' – пересечение Codes' и Codes, для которых выполняется условие

$$\frac{|Codes \cap Codes'| \cdot 100}{|Codes'|} \geq P1 \ \& \ \frac{|Codes/Codes''| \cdot 100}{|Codes'|} \leq P2;$$

полученное множество обозначается как Sets''' – это искомое множество релевантных комплектов ТД. Если множество пустое, рекомендуется изменить параметры Type', P1, P2.

Таким образом, результатом поиска является множество Sets'''. При этом возможны следующие исходы:

Sets''' – пустое множество (комплекты не найдены);

мощность Sets''' равна 1 (найден ровно один комплект ТД);

мощность Sets''' больше 1 (найден несколько комплектов ТД).

В первом случае (при отсутствии готового комплекта ТД) технолог формирует вид комплекта ТД по своему усмотрению. В последнем случае необходимо выбрать лучший комплект среди релевантных.

5.3. Оптимизация ТПП на основе выбора комплекта технологической документации

Выбор лучшего комплекта среди релевантных запросу комплектов ТД является задачей оптимизации: требуется учесть объем или содержание работ, стоимость выполнения ТД, время выполнения и качество полученного продукта.

Объем работ выражается через количество операций в ТП.

Для оценки стоимости производства изделия по выбранному ТП следует оценить:

материальные ресурсы;

трудовые ресурсы.

Для определения стоимости можно применить показатель «нормо-час»:

$$S = \alpha \cdot \sum_{i=1}^N \text{Norm}_i,$$

где Norm_i – нормо-часы i-й операции ТП, N – общее количество операций в ТП, α – коэффициент оплаты по средней квалификации по ТП.

Для оценки времени выполнения используется формула

$$T = \sum_{i=1}^N D_i,$$

где D_i – длительность i-й операции технологического процесса, N – общее количество операций в ТП.

Тогда задачу выбора лучшего комплекта ТД среди релевантных можно представить в следующем виде:

$$\beta_1 V + \beta_2 S + \beta_3 T \rightarrow \min,$$

где $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – настраиваемые коэффициенты, которые зависят от используемой стратегии управления производством.

Другой вариант целевой функции для выбора лучшего комплекта ТД среди релевантных:

$$\frac{S T}{V} \rightarrow \min.$$

Этот вариант используется в случае близости выбранных критериев.

Выделяются следующие подходы к автоматизированной технологической подготовке: модифицированный и генеративный.

При модифицированном подходе задача состоит в поиске прецедента изделия в существующей базе данных и внесении его в технологическую карту для модификации с помощью групповой технологии.

Суть групповой технологии состоит в классификации деталей в семейства объектов, подобных друг другу.

Отнесение найденного прецедента детали на основе ее формы и размеров к одному из классов дает возможность поиска в технологической базе данных процессов изготовления сходных деталей и возможность модифицировать ее для изготовления другого варианта.

Генеративный подход состоит в распознавании у детали типовых конструктивных элементов и применении к ним типовых техпроцессов (токарная обработка, сверление и пр.).

При генеративном подходе используются известные методы искусственного интеллекта для распознавания элементов и логического вывода.

При отсутствии подходящего готового комплекта ТД необходимо сформировать новый. Первым шагом при этом является определение вида комплекта ТД.

Комплектность определяется требованиями ГОСТ и зависит от:

вида ТП (единичный или групповой);

типа производства;

текущей стадии разработки ТД;

степени детализации описания ТП.

Учет этих параметров допускает несколько вариантов комплектов (рисунок 5.14), в каждом из которых определены обязательные и необязательные документы. Выбор состава документов в комплекте ТД остается за технологом, который осуществляет его на основе своего опыта.

Для формализации опыта по выбору состава документов комплекта ТД и частичной автоматизации этого процесса предлагается следующее:

ввести коэффициенты значимости для каждого вида документа и рассматривать сумму коэффициентов как вес комплекта;

ввести понятие допустимого (W_d) и рекомендованного веса (W_r) комплекта ТД.

Значения коэффициентов расставляются технологом (таблица 5.4), который, исходя из обязательности документов в наборах ГОСТ, должен учесть следующее:

для единичных ТП

$$W_{mk} \approx W_{кти} \approx W_d < W_r;$$

$$W_{ти} \approx W_{кти} \approx W_{ок} \approx W_{воп} < W_d;$$

для типовых

$$W_{mk} \approx W_d;$$

$$W_d \leq W_{mk} + W_{ти} \approx W_{mk} + W_{кти} \approx W_{кти} + W_{ти} < W_r.$$

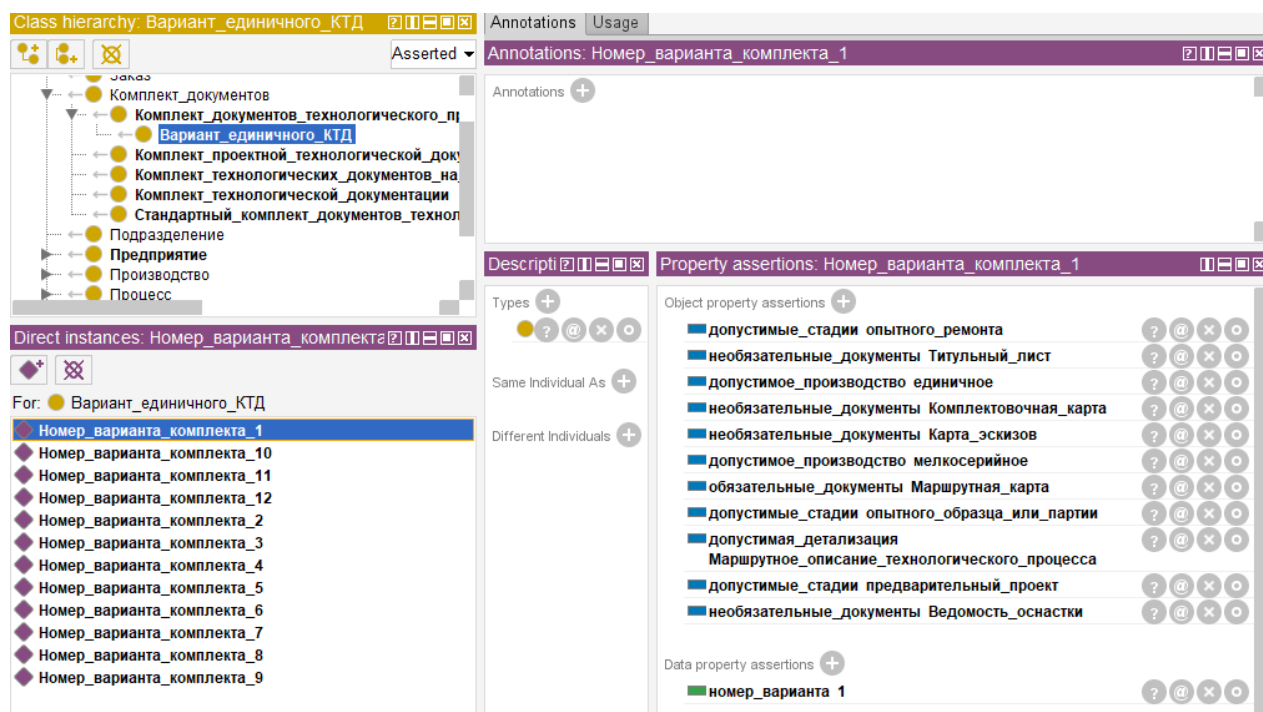


Рисунок 5.14 – Представление вариантов комплектов в онтологии согласно ГОСТ

3.1119

Таблица 5.4 – Пример коэффициентов для видов ТД

Вид документа	Код вида документа	Коэффициент		
		Обозначение	Значение	
			Ед.	Тип.
Титульный лист	ТЛ	W _{ТЛ}		
Карта эскизов	КЭ	W _{КЭ}		
Технологическая инструкция	ТИ	W _{ТИ}		
Маршрутная карта	МК	W _{МК}		
Карта технологического процесса	КТП	W _{КТП}		
Карта типового (группового) технологического процесса	КТТП	W _{КТТП}		
Операционная карта	ОК	W _{ОК}		
Карта типовой (групповой) операции	КТО	W _{КТО}		
Карта технологической информации	КТИ	W _{КТИ}		
Комплектовочная карта	КК	W _{КК}		
Технико-нормировочная карта	ТНК	W _{ТНК}		
Карта кодирования информации	ККИ	W _{ККИ}		
Карта наладки	КН	W _{КН}		
Ведомость технологических маршрутов	ВТМ	W _{ВТМ}		
Ведомость оснастки	ВО	W _{ВО}		
Ведомость оборудования	ВОБ	W _{ВОБ}		
Ведомость материалов	ВМ	W _{ВМ}		
Ведомость специфицированных норм расхода материалов	ВСН	W _{ВСН}		
Ведомость удельных норм расхода материалов	ВУН	W _{ВУН}		
Технологическая ведомость	ТВ	W _{ТВ}		
Ведомость применяемости	ВП	W _{ВП}		
Ведомость сборки изделия	ВСИ	W _{ВСИ}		
Ведомость операций	ВОП	W _{ВОП}		
Ведомость деталей (сборочных единиц) к типовому (групповому) технологическому процессу	ВТП (ВТО)	W _{ВТИ}		
Ведомость деталей, изготовленных из отходов	ВДО	W _{ВДО}		
Ведомость дефектации	ВД	W _{ВД}		
Ведомость стержней	ВСТ	W _{ВСТ}		
Ведомость технологических документов	ВТД	W _{ВТД}		
Ведомость держателей подлинников	ВДП	W _{ВДП}		
Допустимый вес		W _d		
Рекомендованный вес		W _r		

Расчет веса комплекта позволяет начинающему технологу ориентироваться в необходимости использования дополнительных документов в текущем комплекте.

В итоге систематизация, формализация и оптимизация ТПП на основе выбора комплекта технологической документации в ГИС ОТС ТПП привела к созданию методики применения онтологической платформы поддержки ТП.

Методика ориентируется на решение производственных задач в двух вариантах: решение задач, имеющих в онтологической платформе и отсутствующих в ней.

А) Решение задач, имеющих в онтологической платформе:

Анализ предметной области решаемых задач.

Подготовка исходной документации по решаемым задачам.

Наполнение репозитория данными, знаниями и документами о предметной области.

Запуск онтологической платформы, авторизация в ней с использованием роли утверждающего.

Создание технологического процесса с указанием сроков выполнения процесса, а также его стадий, включающих роль исполнителя и сроки начала и окончания каждой стадии.

Назначение комплекта документов из репозитория по уникальному идентификатору или наименованию комплекта документов в зависимости от наличия у специалиста знаний (технолога) об уникальном идентификаторе существующего комплекта.

Сохранение в базу данных и запуск технологического процесса путем активации соответствующей подсистемы.

Проработка, согласование и утверждение специалистом ТП, а также, в случае необходимости, выполнение исполнителем доработок по каждой стадии, которые отображаются на интерфейсе взаимодействия технолога и онтологической платформы.

Завершение выполнения ТП, которое отображается в виде изменения статуса технологического процесса.

Б) Решение задач, отсутствующих в онтологической платформе:

Этапы 1–5 те же.

6. Создание комплекта документов нового ТП, которое включает в себя: выбор типа производства, текущей стадии разработки, степени детализации, наименования комплекта, кода вида документа, кода вида технологического процесса по методу организации, типа комплекта, номера варианта комплекта.

7. Формирование состава документов с указанием обязательных и необязательных вариантов заполнения.

8. Поиск ТП для задания прецедентного комплекта ТД.

9. Привязка прецедентного комплекта ТД к создаваемому ТП.

10. Сохранение в базу данных и запуск технологического процесса путем активации соответствующей подсистемы.

11. Проработка, согласование, утверждение специалистом технологического процесса, а также, в случае необходимости, выполнение исполнителем доработок по каждой стадии, которые отображаются на интерфейсе взаимодействия технолога и онтологической платформы.

12. Завершение выполнения процесса, которое отображается в виде изменения статуса ТП.

Выводы по главе 5

1. Исследованы вопросы интеллектуализации контролируемых процессов технологической подготовки производства и организации планов в рамках гибкой онтотехнологической платформы поддержки производства. Показана целесообразность рассмотрения процесса ТПП как сложного информационного объекта. Определена схема систематизации элементов технологической подготовки производства.

2. Проведена формализация элементов ТПП на основе алгоритма поиска множества релевантных прецедентных комплектов технологической документации. Разработано и апробировано определение прецедентного комплекта технологической документации в составе комплекта ТД по запрашиваемому изделию, комплекта типовой ТД по изделию, комплекта ТД информационного назначения по изделию.

3. Проведена оптимизация комплекта технологической документации за счет извлечения релевантных комплектов технологической документации. В основу технологии положены совокупность переменных по объему работ или содержанию, стоимость выполнения, время выполнения и качество полученного результата.

4. Обоснована и разработана методика формирования вида нового комплекта технологической документации, в основе которой лежат характеристики вида технологического процесса, типа производства, текущей стадии разработки технологической документации, степени детализации описания технологического процесса.

Глава 6. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДОЛОГИИ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА ДЛЯ САМОЛЕТОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

6.1 Моделирование процесса ТПП на конкретном предприятии с организацией процесса внедрения согласованного взаимодействия в ГИС ОТС ТПП на основе онтологического подхода

Проектирование шаблонной оснастки на самолетостроительном предприятии до настоящего времени в значительной части выполняется в ручном режиме, при котором конструктор опирается преимущественно на личный опыт и разрозненную нормативно-техническую документацию. Подобная организация работ закономерно сопровождается высокими трудозатратами и повышенной вероятностью ошибок: даже незначительная неточность, допущенная на ранних стадиях, влечет повторное прохождение этапов, переоформление проектной документации и многократную корректировку уже принятых решений. В условиях авиационного производства, где требования к точности и надежности оснастки исключительно высоки, накопление таких издержек становится фактором, напрямую ограничивающим производительность технологической подготовки производства (ТПП).

Основной причиной перечисленных затруднений является отсутствие постоянно актуализируемой базы накопленного производственного опыта и инструментов интеллектуальной поддержки принятия проектных решений. Удачные конструктивные решения, найденные ранее, как правило, не фиксируются в формализованном виде, а потому не могут быть повторно использованы при появлении схожих задач. В качестве системного решения в настоящей работе предлагается перенос процесса проектирования в среду автоматизированного сопровождения производственных процессов, опирающуюся на электронные архивы завершенных проектных решений и механизмы контекстно-зависимых запросов, в которых ранее полученные решения выступают в роли прецедентов. В рамках данной работы установлено, что ключевым сдерживающим фактором выступает не отдельная ошибка исполнителя, а отсутствие системно накапливаемого и формализованного производственного опыта.

Предлагаемая онтологическая поддержка проектирования рассматривается не изолированно, а как составная часть концепции непрерывной информационной поддержки

жизненного цикла изделия (CALS-технологий). В работах, посвященных автоматизации подготовки производства в концепции CALS, эффективность ТПП связывается с формированием единого информационного пространства, в котором конструкторские, технологические и производственные данные об изделии создаются однократно и многократно используются на последующих этапах [35]. Применительно к проектированию шаблонной оснастки это означает, что электронная модель шаблона, однажды сформированная и помещенная в онтологический архив, должна оставаться доступной и пригодной к повторному применению на всем протяжении жизненного цикла – от разработки до изготовления и контроля.

Согласование онтологического подхода с принципами CALS обеспечивает преемственность данных и устраняет дублирование сведений между подразделениями. Электронные архивы завершенных решений, технологические инструкции и управляющие программы рассматриваются как взаимосвязанные информационные объекты единого пространства, а не как разрозненные документы [35]. В этой логике онтология выполняет роль интегрирующего слоя, который связывает разнородные представления изделия – геометрические, логические и программные – в согласованную структуру и поддерживает сквозную прослеживаемость проектных решений. Именно такая интеграция позволяет в дальнейшем формализовать модель шаблона как совокупность взаимодополняющих форм представления.

Корректная цифровая интерпретация шаблона требует его формализованного математического описания, охватывающего весь жизненный цикл прецедента – от постановки задачи до изготовления и контроля изделия. В работе модель шаблона рассматривается как совокупность взаимодополняющих форм представления. Текстовое описание фиксирует содержательную сторону решения, логическая модель PL строится на аппарате логики предикатов, графическая модель PG отражает варианты реализации шаблона в различных проектных ситуациях, семантическое (запросно-ответное) представление организует диалоговое уточнение решения, отдельная форма обеспечивает встраивание сведений в программный код, модель генерации формирует исполняемый код, наконец, интегральная модель прецедента объединяет логическую структуру с полным набором данных, необходимых для применения шаблона. Автором предложено трактовать модель шаблона как взаимосвязанную совокупность форм представления, а не как изолированное геометрическое описание.

Спецификой авиастроения выступает приоритет аэродинамических и технологических требований к оснастке – заданной гладкости поверхностей, требуемых геометрических объемов, размеров и площадей поперечных сечений. Их совместный учет

делает невозможным описание шаблона исключительно средствами текстового тезауруса и обуславливает необходимость декомпозиции производственной онтологии применительно к задачам проектирования шаблонной оснастки. Структурный результат такой декомпозиции представлен на рисунке 6.1.

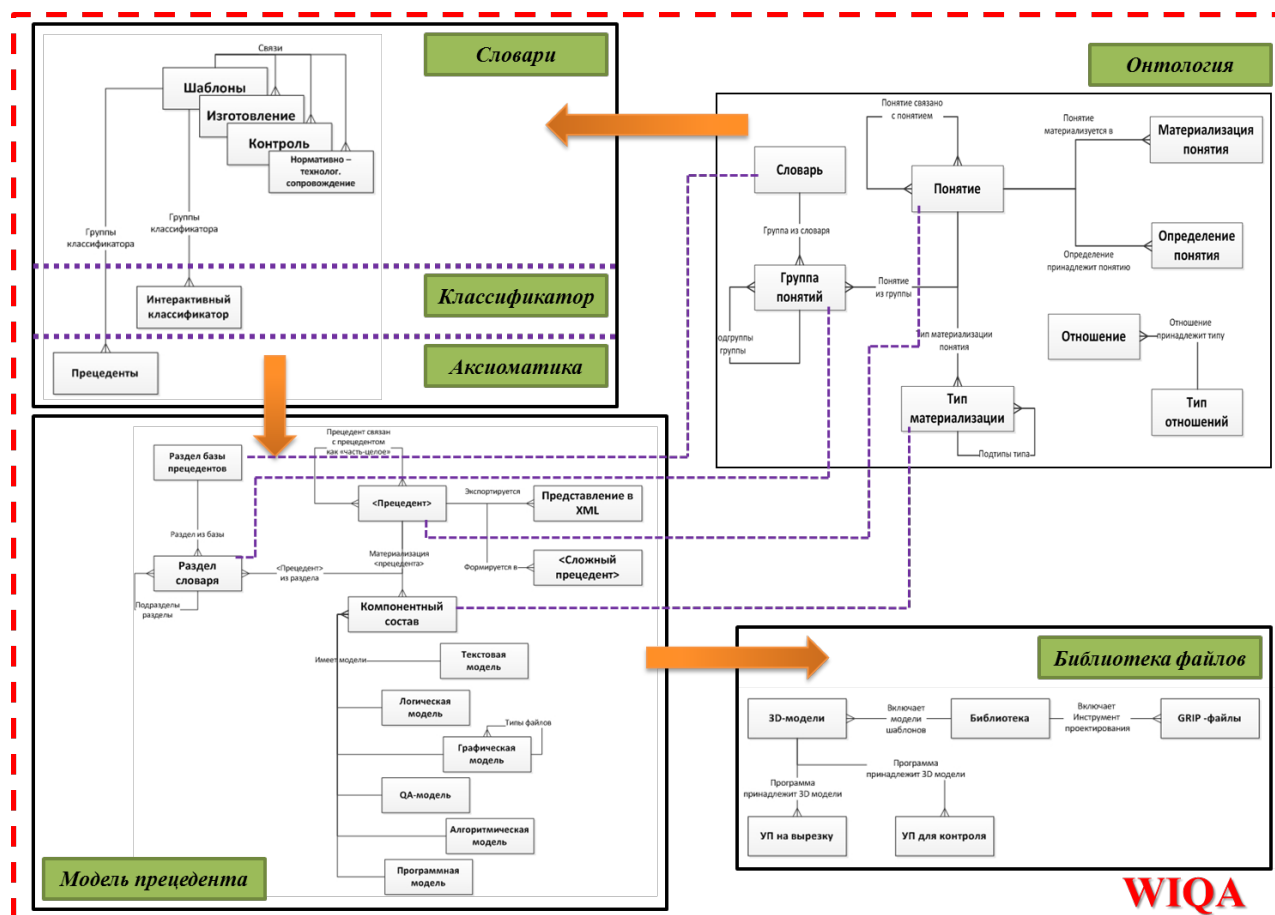


Рисунок 6.1 – Структурная схема модели производственной онтологии

Концептуальная модель производственной онтологии приведена на рисунке 6.1. Ее архитектура объединяет четыре взаимосвязанных блока – систему специализированных словарей, формальное ядро онтологии, классификатор с разделом аксиоматики и блок моделей прецедентов вместе с библиотекой файлов, что позволяет одновременно поддерживать смысловой поиск, классификацию и материализацию проектных решений.

Ядро онтологического поиска образует система специализированных словарей. Словарь «Шаблоны» содержит сведения о разновидностях шаблонной оснастки и служит основой расширенного классификатора, позволяющего использовать типовые решения и разрабатывать новые варианты. Словарь «Изготовление» объединяет термины по производству шаблонов и деталей и имеет отдельные секции для обработки профильных и листовых заготовок. Словарь «Контроль» охватывает параметры проверки, методы оценки

соответствия требованиям и средства фиксации результатов контроля. Раздел нормативно-технического сопровождения хранит технологические инструкции, регламенты, стандарты и иные документы.

Формальное ядро онтологии задает базовые сущности – понятие, группу понятий и словарь – и связывающие их отношения: принадлежность понятия группе и словарю, определение понятия, его материализацию, а также типы материализации и типы отношений. Раздел аксиоматики содержит модели прецедентов шаблонов и их проекционные представления, а интерактивный классификатор связывает группы классификатора с разделами словарей и накопленными прецедентами. Блок моделей прецедентов раскрывает их компонентный состав – текстовую, логическую, графическую, QA-, алгоритмическую и программную модели и допускает экспорт прецедента в представление XML и образование сложного прецедента. Библиотека файлов завершает структуру, обеспечивая хранение трехмерных моделей, GRIP-файлов и управляющих программ для вырезки и контроля.

Эффективность прецедентного проектирования определяется не столько составом словарей, сколько системой контекстных взаимосвязей между понятиями предметной области. Организация таких связей показана на рисунке 6.2. Связи формируются по набору семантических признаков и разделяются на базовые, причинно-следственные, ассоциативные и прагматические, что позволяет описывать как устойчивые иерархические зависимости, так и гибкие смысловые сопоставления между разнородными понятиями разных словарей.

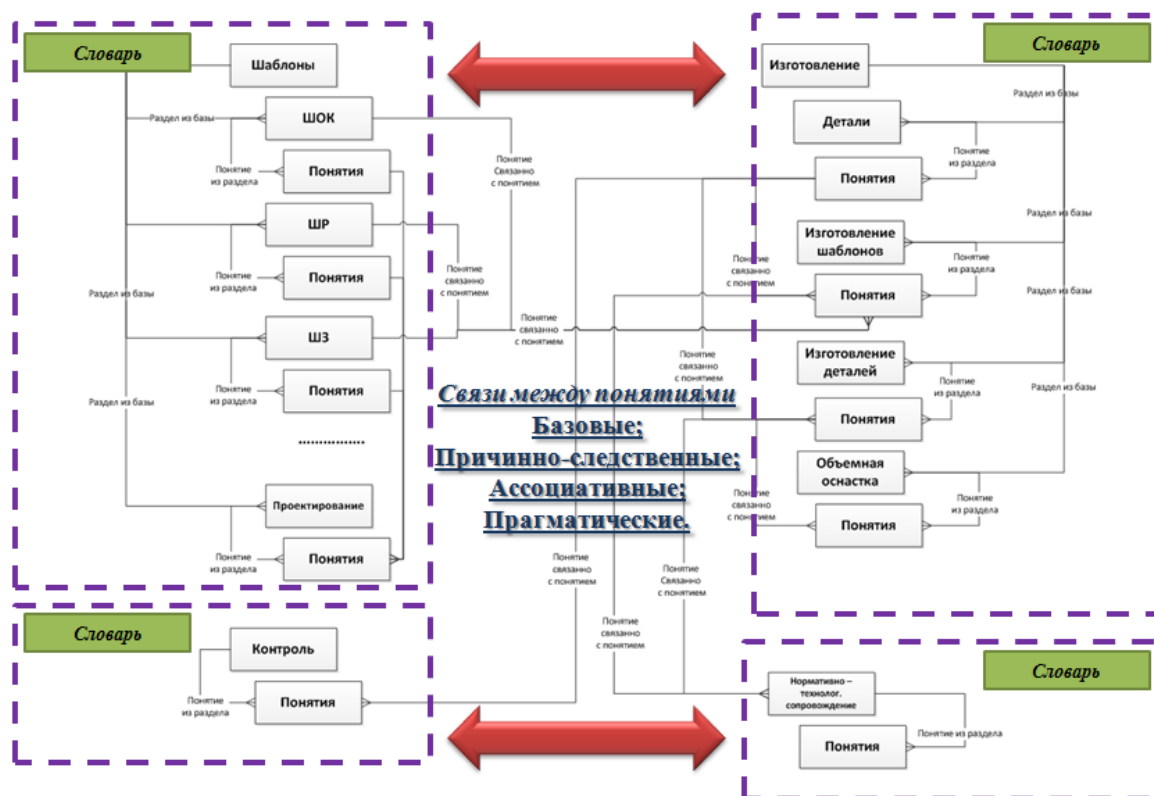


Рисунок 6.2 – Организация связей в модели онтологии

Процесс выбора интерпретаций носит итерационный характер: на различных стадиях проектирования выполняется последовательное уточнение результатов поиска с когнитивной оценкой степени их соответствия решаемой задаче. В реальном самолетостроительном производстве номенклатура оснастки чрезвычайно велика, поэтому существенную долю объема онтологии составляют именно словари и классификаторы, а точность описания семантических связей напрямую определяет корректность и релевантность поиска прецедентов. Формальное описание перечисленных компонентов и связей удобно представить в виде кортежа:

$$O = \{L, C, A, \text{LibF}\},$$

где L – множество словарей проектной онтологии, C – интерактивная классификация. Здесь следует отметить, что классификатор в модели онтологии представлен в двух исполнениях: в виде секции словаря l_{int} и в виде интерактивной классификации C , то есть

$$C \Leftrightarrow l_{\text{int}} \in L,$$

A – раздел аксиоматики, в котором представлены интегральные модели прецедентов P^S , описанные выше, LibF – библиотека файлов.

Множество словарей проектной онтологии можно представить как

$$L = \{l_1, l_2, \dots, l_n\},$$

где l_i – конкретный словарь онтологии.

Каждый словарь подразумевает наличие нескольких разделов, в которых собраны и сгруппированы понятия по определенным признакам:

$$l_i = \{ch_1, ch_2, \dots, ch_n\},$$

где ch_j – разделы конкретного словаря.

Отсюда следует, что в множестве разделов словаря $\{ch_j, j = 1, 2, \dots, n\}$ определяется множество понятий $\{w_i, i = 1, 2, \dots, n\}$, входящих в эти разделы, причем каждое понятие w_i может быть отнесено только к одному из рассматриваемых словарей: $\forall w_i = (w_i \in ch_j)$, где n – количество определений, входящих в конкретный раздел словаря онтологии.

Важное значение в онтологии играет аксиоматика, которая в общем виде задается множеством первичных понятий предметной области проектирования шаблонной оснастки. На следующем уровне выделяется некоторое подмножество высказываний (аксиом) о первичных понятиях, через которые даются определения для всех остальных понятий, чем и интегрируются логические связки в единое целое для всей онтологии.

В проектируемой онтологии аксиоматика A представляет собой совокупность интегральных образцов прецедентов шаблонной оснастки и может быть представлена в виде следующего множества:

$$A = \{P_1^S, P_2^S, \dots, P_i^S\},$$

где P^S – интегральная модель образца прецедента. Как было отмечено выше, интегральная модель прецедента включает несколько специализированных моделей, однако и сама P^S может образовывать так называемый сложный прецедент, состоящий из нескольких интегральных моделей:

$$P^S = \{P_j^S, j = 1, 2, \dots, n\},$$

где n – количество прецедентов, образующих сложный прецедент, и, соответственно, $P_j^S \in A$. Содержательное описание интегральной модели представляется как множество моделей:

$$P^S = \{P^T, P^L, P^{QA}, P^G, P^E, P^I\},$$

где P^T – текстовая модель, P^L – логическая модель, P^{QA} – запросно-ответная модель прецедента, состоящая из цепочки единиц QA = вопросов-ответов,

$$QA = \{qa_1, qa_2, \dots, qa_n\},$$

qa_n – конкретный вопрос-ответ, P^G – графическая модель прецедента, P^I – модель, определяющая исходный код, P^E – модель, определяющая исполняемый код.

Причем $P^I \xrightarrow{\ln k} P^E$, где $\ln k$ – ассоциативные связи между специализированными моделями.

Отношения между элементами кортежа модели могут быть бинарными и соединять технические документы электронного архива с конкретными проектами, такие связи имеют ассоциативную природу. Часть отношений носит априорный характер и задается независимо от уже сформированной онтологии, тогда как другая часть образуется апостериорно – непосредственно в ходе ее построения. Кроме того, модель включает отношение вложенности, связывающее документы по принципу «тип – подтип» [Наместников].

Особенности проектной деятельности накладывают ограничения на структуру, логико-аксиоматическое наполнение онтологии и связи артефактов проектирования шаблонов, а также требуют поиска точных геометрических 3D-представлений моделей шаблонной оснастки. Это не позволяет трактовать создаваемую онтологию лишь как тезаурус предметной области. Специфика изготовления требует хранить в информационной системе не только геометрические 3D-модели, но и программные модули, обеспечивающие завершение технологического цикла на оборудовании с ЧПУ, а также выполнение последующих операций контроля и испытаний. При этом сама трехмерная модель шаблона понимается как интегрированная совокупность программных и геометрических описаний, определяющих процесс создания проектируемой оснастки.

Появление новой цифровой интерпретации шаблона в составе производственной онтологии трактуется как формирование нового прецедента. Сведения о таком прецеденте автоматически становятся частью словарей, классификаторов и иных элементов предметной области, благодаря чему в дальнейшем используются для модернизации существующих конструкций и разработки новых вариантов шаблонной оснастки. В рамках классификационной системы под изделием понимаются различные разновидности технологической оснастки: каждой ее единице и соответствующей конструкторской документации присваивается классификационная характеристика, входящая в обозначение изделия, а кодирование выполняется в соответствии с классификатором технологической оснастки. Полученные результаты показали, что точность описания семантических связей оказывает решающее влияние на релевантность прецедентного поиска.

Разработан специализированный технологический классификатор шаблонной оснастки – структурированная система наименований классификационных групп изделий плоской и объемной оснастки. Классификатор построен по смешанному принципу с последовательными уровнями детализации (классы, подклассы, группы, подгруппы) и опирается на функциональные и конструктивные признаки изделий. Он применяется как информационная основа автоматизированного проектирования и группирования оснастки по

конструкторско-технологическому подобию, что согласуется с принципами организации единого информационного пространства подготовки производства

Работа специалиста с системой выстраивается как последовательность взаимосвязанных шагов. Сначала выполняется предварительный анализ производственной ведомости и формируются первичные запросы, затем выделяются характерные признаки проектируемой оснастки. По этим признакам осуществляется поиск близких прецедентов, которые идентифицируются средствами классификатора и оцениваются на применимость к текущей задаче. Далее проектировщик переходит к итерационной работе по схеме «вопрос – ответ», сопровождаемой одновременным пополнением базы знаний. Итерации продолжаются до получения решения, удовлетворяющего предъявленным требованиям, после чего формируется трехмерное представление оснастки с точными размерами, пригодными для изготовления. Отдельно учитывается ситуация, когда для одной детали допустимо несколько равноправных вариантов исполнения шаблона.

Функционирование системы онтологической поддержки опирается на ряд согласованных процедур. Технологи подразделений-потребителей формируют электронные ведомости шаблонной оснастки, отраслевые подразделения создают технологические электронные модели, конструкторы проектируют электронную модель оснастки, затем формируются заявки на вырезку шаблонов в металле и проводятся операции контроля изготовленной оснастки. Совокупность этих процедур замыкает цикл от постановки задачи до получения и проверки готового изделия и служит организационной основой для последующих диаграмм взаимодействия.

Взаимодействие пользователя с онтологическими словарями формализовано в виде диаграммы вариантов использования, приведенной на рисунке 6.3. Единственным действующим лицом выступает проектировщик, а его деятельность разбивается на две взаимодополняющие группы сценариев, отражающие два пути доступа к накопленным знаниям.

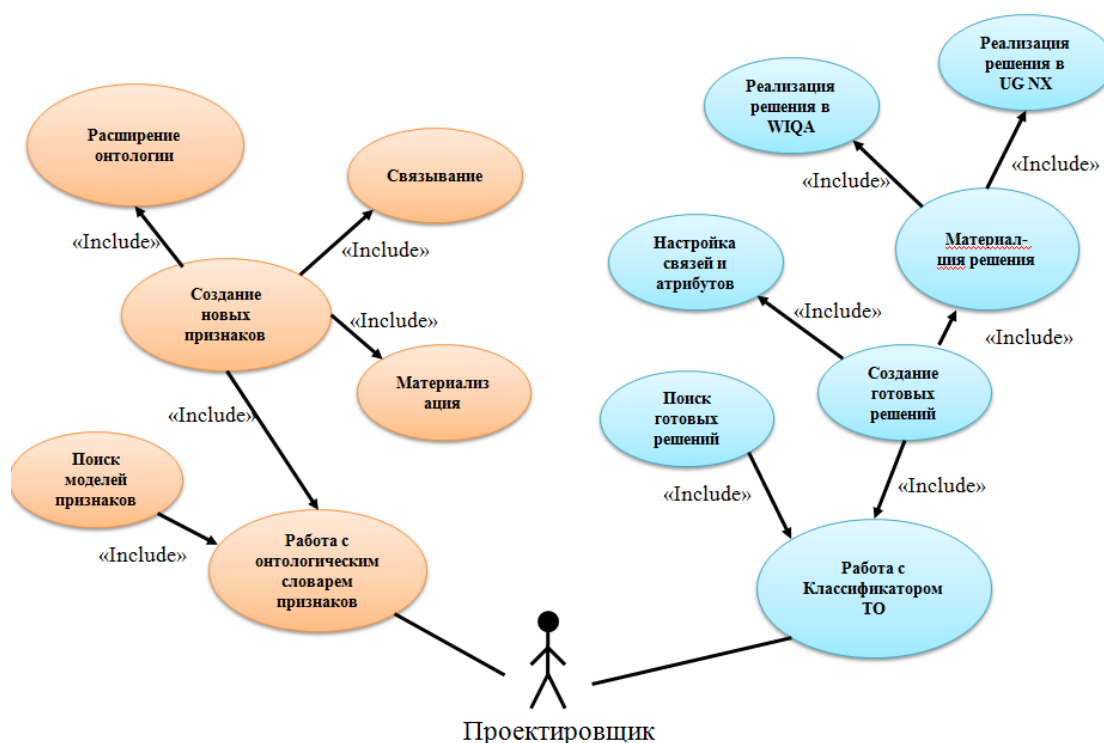


Рисунок 6.3 – Диаграмма вариантов использования онтологических словарей

Первая группа сценариев связана с работой с онтологическим словарем признаков. Она объединяет поиск моделей признаков и создание новых признаков, которое, в свою очередь, включает расширение онтологии, связывание понятий и материализацию. Вторая группа охватывает работу с классификатором технологической оснастки: здесь выполняются поиск готовых решений и создание готовых решений, включающее настройку связей и атрибутов, а также материализацию решения. Завершающим звеном выступает реализация решения, которая включает его воплощение в среде WIQA и в системе UG NX. Тем самым диаграмма наглядно фиксирует, что проектировщик может двигаться как от отдельных признаков, так и от готовых классифицированных решений, получая в итоге материализованный результат.

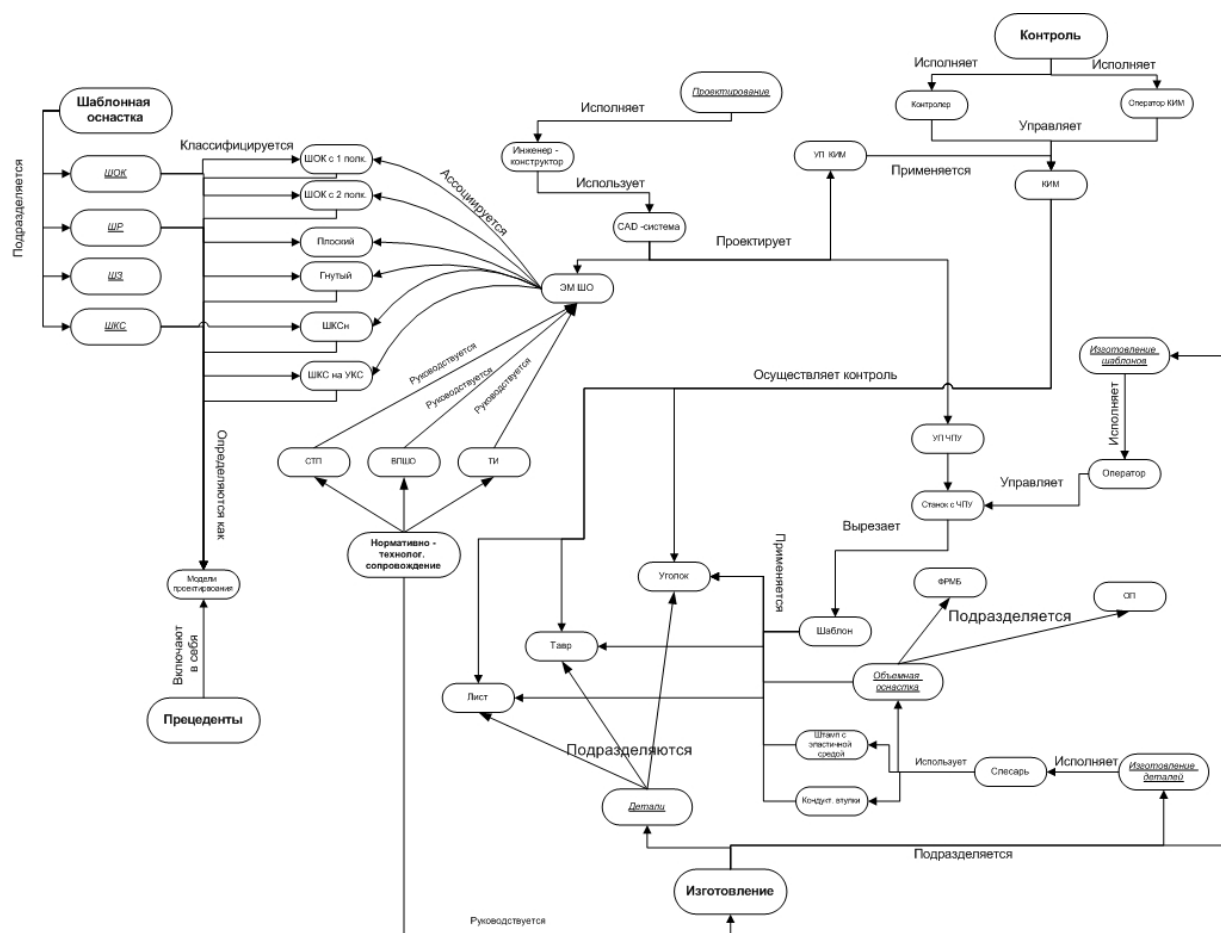


Рисунок 6.4 – Схема формирования моделей прецедентов шаблонов оснастки в интерактивном режиме

Первая группа сценариев связана с работой с онтологическим словарем признаков. Она объединяет поиск моделей признаков и создание новых признаков, которое, в свою очередь, включает расширение онтологии, связывание понятий и материализацию. Вторая группа охватывает работу с классификатором технологической оснастки: здесь выполняются поиск готовых решений и создание готовых решений, включающее настройку связей и атрибутов, а также материализацию решения. Завершающим звеном выступает реализация решения, которая включает его воплощение в среде WIQA и в системе UG NX. Тем самым диаграмма наглядно фиксирует, что проектировщик может двигаться как от отдельных признаков, так и от готовых классифицированных решений, получая в итоге материализованный результат.

Алгоритмическая сторона прецедентного проектирования отражена на рисунке 6.4, где показана схема формирования моделей прецедентов шаблонов оснастки в интерактивном режиме. Построение прецедента начинается с выбора типа шаблонной оснастки (ШОК, ШР, ШЗ, ШКС и их разновидностей), который классифицируется и далее ассоциируется с

электронной моделью шаблонной оснастки (ЭМ ШО) – центральным узлом схемы. На рисунке 6.5 приведено изображение «Схема работы с онтологией и словарями».

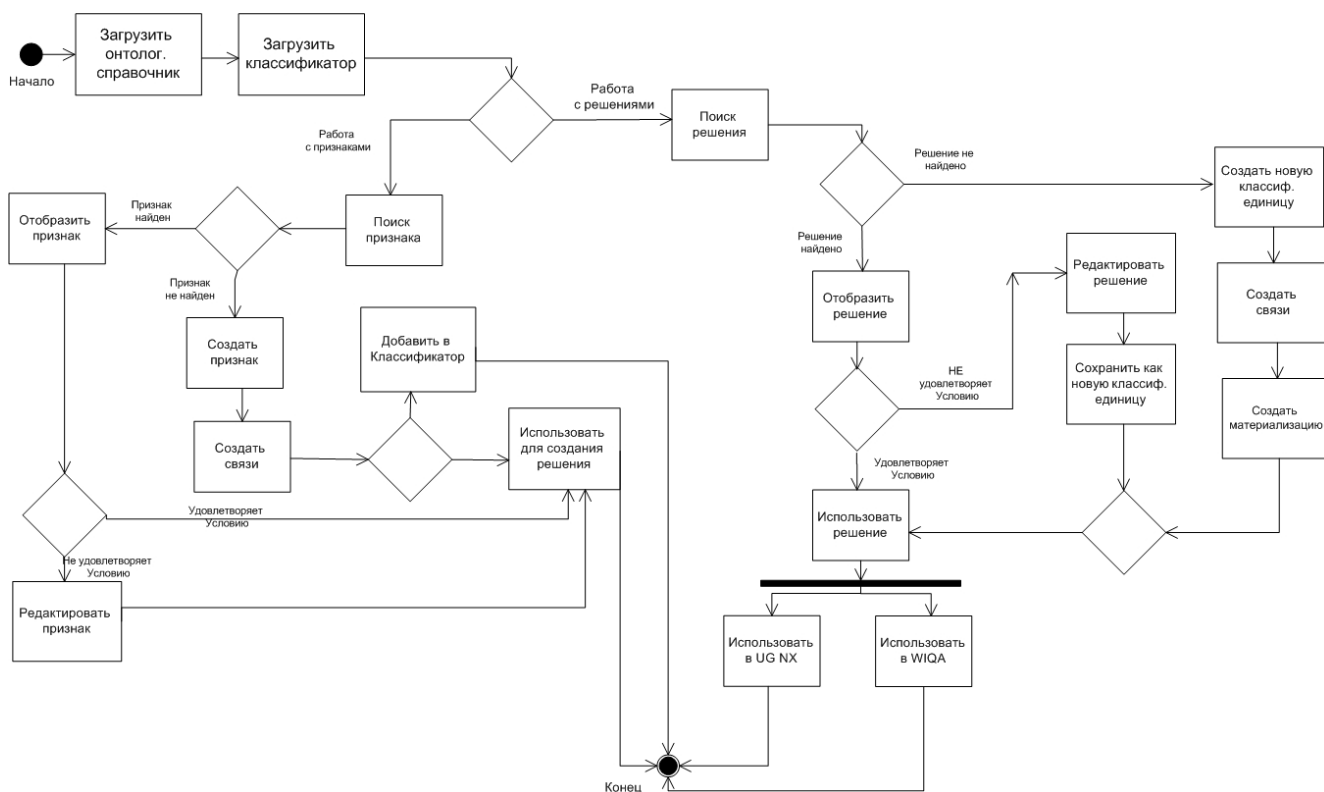


Рисунок 6.5 – Схема работы с онтологией и словарями

От электронной модели схема разворачивается в две технологические ветви. Ветвь проектирования и изготовления связывает модель с инженером-конструктором и CAD-системой, формированием управляющих программ для станка с ЧПУ и вырезкой шаблона, а также с переходом к объемной развертке и изготовлением деталей. Ветвь контроля связывает модель с контрольно-измерительной машиной (КИМ), контролером и оператором КИМ, обеспечивая проверку изготовленной оснастки. Нормативно-технологическое сопровождение служит общим основанием для обеих ветвей, а накапливаемые в ходе работы решения пополняют множество прецедентов и модели проектирования. Благодаря пошаговому, интерактивному характеру схема положена в основу программных средств поддержки проектирования: каждый шаг соответствует уточнению признаков и формированию очередного компонента модели прецедента вплоть до получения завершеного, пригодного к изготовлению описания оснастки.

Под решениями в рамках рассматриваемой методики понимаются ранее сформированные и апробированные прецеденты, уже использовавшиеся в проектной практике. При наличии достаточного опыта проектировщик может применять подобные решения непосредственно для создания новых вариантов шаблонной оснастки, что существенно сокращает время разработки.

Дополнительным преимуществом онтологической среды является использование средств визуализации, обеспечивающих наглядное представление проектных решений и инструментов взаимодействия с онтологией. Это позволяет интегрировать различные формы материализации проектных данных, организовывать интерактивное сопровождение процесса проектирования и повышать эффективность работы специалиста при создании электронных моделей шаблонной оснастки.

Далее рассмотрим пример решения следующей производственной задачи через онтологию проектирования «Формирование запроса на получение ресурсов с места хранения». Схема формирования запроса показана на рисунке 6.6.

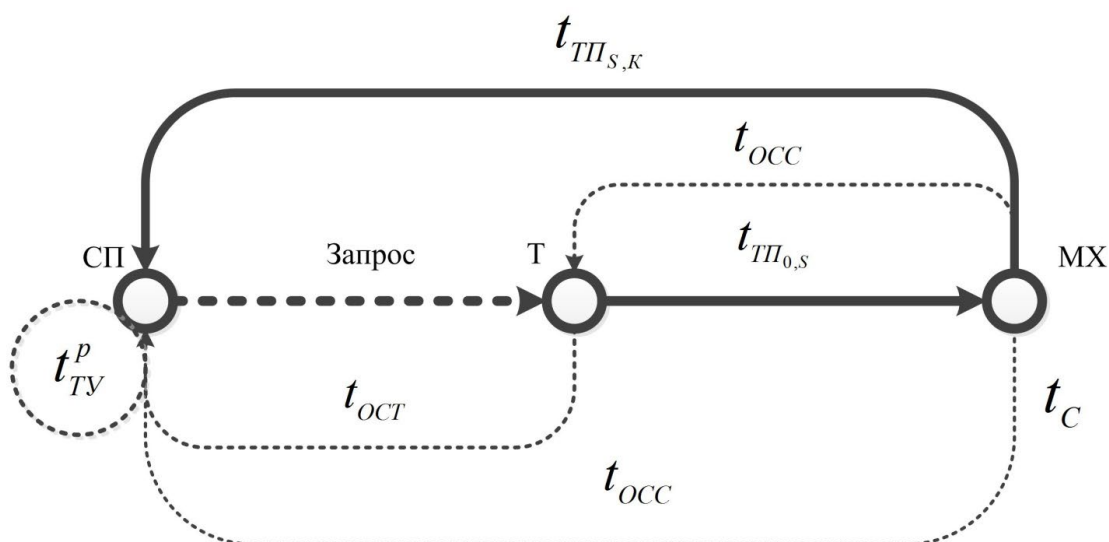


Рисунок 6.6 – Схема формирования запроса на получение ресурсов с места хранения

Общее время обслуживания запроса в процессе транспортировки складывается из времени перемещения транспортного средства с места выполнения последней ТО ТП к s-позиции места хранения – $t_{TP_{0,s}}$, времени обработки на месте хранения – t_C , времени перемещения транспорта от позиции склада s к k-му СП – $t_{TP_{s,k}}$, которое зависит от времени, затраченного на маршрут, и времени обслуживания при передаче ресурсов на СП или РЦ – t_{TU}^p , значение которого определяется спецификой СП. Возможно и появление потерь времени во временной структуре РЦ, связанных с занятостью одного из СП РЦ либо транспорта – t_{OCT} и занятостью склада – t_{OCC} .

На рисунке представлена схема доставки ресурсов транспортом с предыдущей ТО на СП и передача на место хранения (склад).

$$t_{Ne} = f(t_{TP_{0,k}}, t_{TC}^p, t_{OCT}),$$

$t_{TP_{0,k}}^p$ где – время перемещения транспорта от места последнего хранения до СП; – время. Рассмотрим доставку с СП1 на СП2 (рисунок 6.7).

Время занятости СП:

$$t_0 = f(t_{0_{Ne}}, t_{TO_{Ne}}, t_{TP_{0,s}}, t_c, t_{TP_{s,k}}, t_{TY}^p, t_{OCT}, t_{OCC}).$$

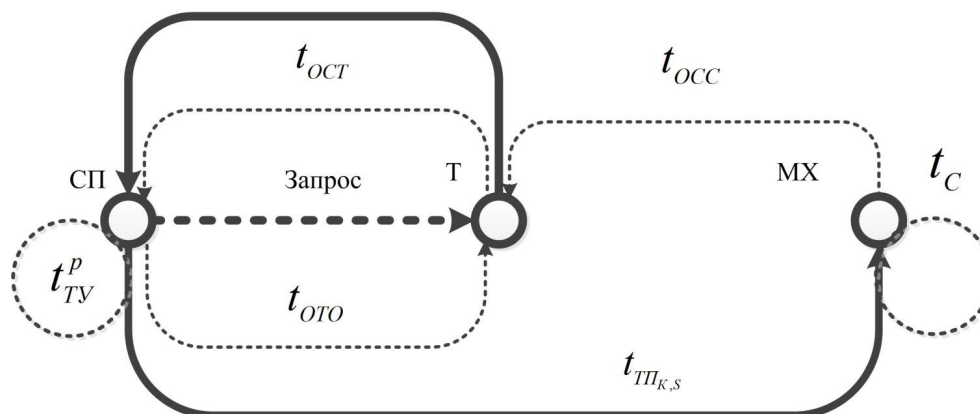


Рисунок 6.7 – Схема доставки единицы планирования (номенклатуры производства) с одного СП (линии) на другое

Описание данных для онтологии перемещения показано в таблицах 6.1 – 6.2.

Таблица 6.1 – Производственные процедуры для функционального описания сетями Петри

Тип объекта	Содержание процедуры	Идентификатор процедуры с параметрами
Линия (группа технологического оборудования)	Простой	$Лп = \{\tau^{HЧ}, \tau^{KH}, i, j, a, t\}$
	Обработка партии деталей объекта планирования	$Ло = \{\tau^{HЧ}, \tau^{KH}, i, j, a, t\}$
	Переналадка	$Лп = \{\tau^{HЧ}, \tau^{KH}, i, j, a, t\}$
	Ремонт	$Лр = \{\tau^{HЧ}, \tau^{KH}, i, j, a, t\}$
	Загрузка партий деталей	$Лзп = \{\tau^{HЧ}, \tau^{KH}, i, j, a, t\}$
	Выгрузка партий деталей	$Лвп = \{\tau^{HЧ}, \tau^{KH}, i, j, a, t\}$
Технологическое оборудование (станок и др.)	Простой	$СП = \{\tau^{HЧ}, \tau^{KH}, i, j, a, t\}$
	Ремонт	$Ср = \{\tau^{HЧ}, \tau^{KH}, i, j, a, t\}$
	Определение маршрута движения	$Сомд = \{\tau^{HЧ}, \tau^{KH}, i, j, a, a1, a2, t\}$
	Перемещение между двумя объектами	$СП = \{\tau^{HЧ}, \tau^{KH}, i, j, a, a1, a2, t\}$
	Транспортировка со склада	$Стсс = \{\tau^{HЧ}, \tau^{KH}, i, j, a, t\}$
	Транспортировка на склад	$Стнс = \{\tau^{HЧ}, \tau^{KH}, i, j, a, t\}$
	Установка на линию	$Су = \{\tau^{HЧ}, \tau^{KH}, i, j, a, t\}$
	Снятие с линии	$Сс = \{\tau^{HЧ}, \tau^{KH}, i, j, a, t\}$

Каждая процедура имеет идентификатор и набор параметров ($\tau^{нч}$, $\tau^{кн}$, $i, j, a, a1, a2, t$), определяющих в общем случае: адрес объекта a ; начальный и конечный адреса маршрута движения объекта планирования – $a1, a2$; моменты начала и окончания действия процедуры – $\tau^{нч}, \tau^{кн}$; длительность процедуры – t . Функциональная полнота процедур такова, что с помощью них можно описать любые логические конструкции процедур.

Таблица 6.2 – Содержательное описание процедуры

№ п/п	Наименование процедуры	Содержание процедуры	Структура процедуры
1	Перемещение объекта проектирования (номенклатуры изготовления) на участок производства (линии)	1. Определение маршрута движения. 2. Перемещение. 3. Перемещение объекта планирования (номенклатуры) со склада. 4. Определение маршрута движения. 5. Перемещение. 6. Установка объекта планирования (номенклатуры) в производственную линию (технологическое оборудование). 7. Загрузка партии объекта планирования (группы деталей конкретной номенклатуры планирования)	Сомд → Сп → Стсс → Сомд → Су → Лзп
2	Перемещение объекта проектирования (номенклатуры изготовления) на другой участок производства (линии)	1. Определение маршрута движения. 2. Перемещение. 3. Выгрузка партии деталей с линии. 4. Определение маршрута движения. 5. Перемещение. 6. Установка объекта планирования (номенклатуры производства) на линию. 7. Загрузка партии деталей	Сомд → Сп → Лвп → Сомд → Сп → Су → Лзп
3	Перемещение объекта проектирования (номенклатуры	1. Определение маршрута движения. 2. Перемещение.	Сомд → Сп → Лвп → Сомд → Сп → Стнс

№ п/п	Наименование процедуры	Содержание процедуры	Структура процедуры
	изготовления) на место хранения (склад)	3. Выгрузка партии деталей с линии (технологического оборудования). 4. Определение маршрута движения. 5. Перемещение. 6. Выгрузка объекта планирования (номенклатуры производства) на склад	

В итоге весь алгоритм преобразования примет вид на рисунке 6.8.

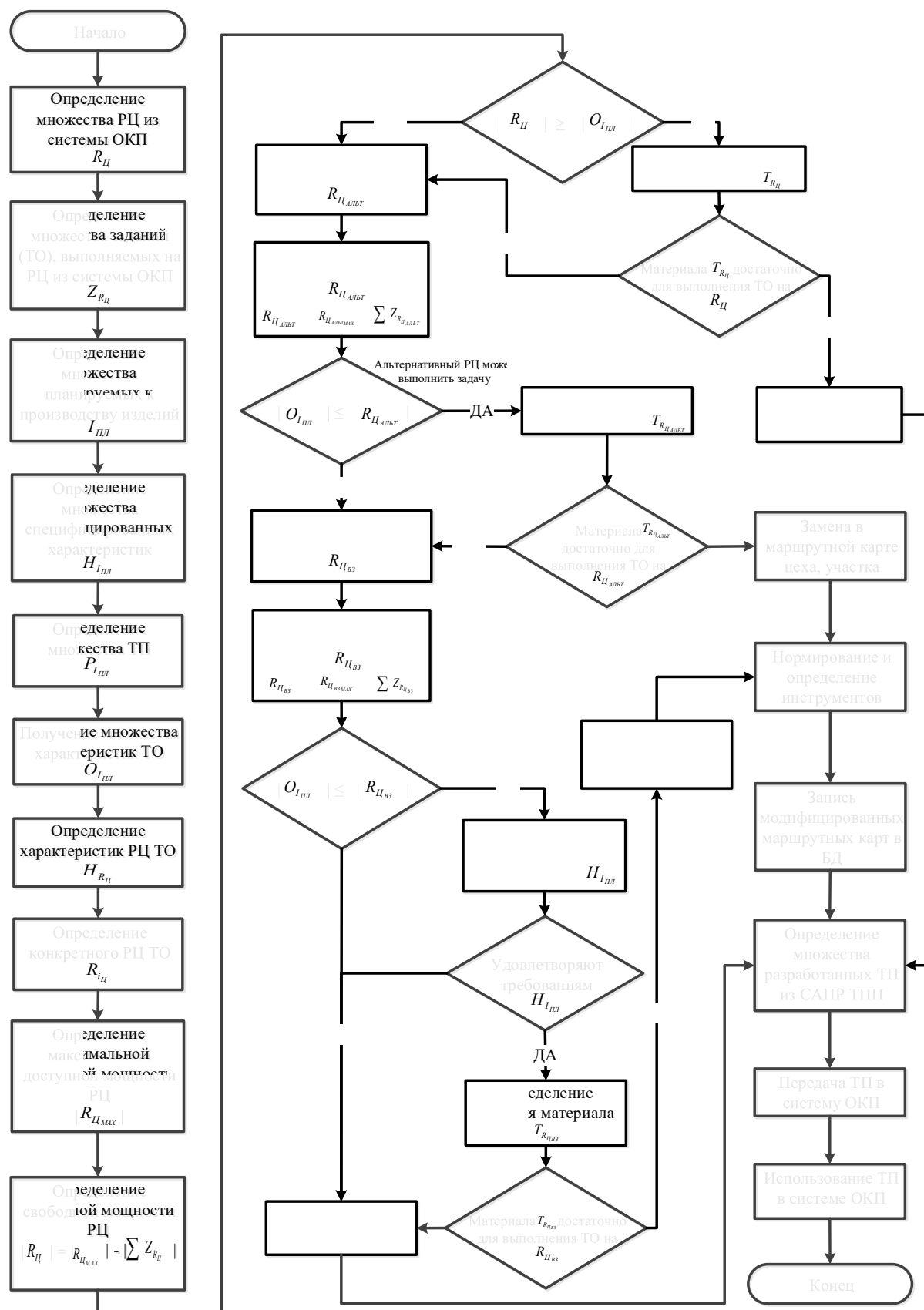


Рисунок 6.8 – Алгоритм преобразования средств производства в технологическом процессе

6.2. Оценка эффективности проектирования инновационной методологии управления проектным производством в ТПП на основе ГИС ОТС ТПП

Рассмотрим пример применения данной модели сбалансированного взаимодействия в ГИС ОТС ТПП.

Пусть при работе с аналогом в информационном отделе показатели качества были получены следующие $p_1 = 0,2; p_2 = 0,3; p_3 = 0,1$. Так как доход системы в относительном виде $D(H, y) = 1$, то распределение стимулирующих воздействий будет следующее: $\sigma_K = 0,34; \sigma_T = 0,51; \sigma_{II} = 0,16$.

В этом случае в целевой функции руководителя конструкторского подразделения стимулирующие выплаты распределятся в равных долях следующим образом (таблица 6.3).

Таблица 6.3 –Показатели в целевой функции руководителя конструкторского подразделения

Показатели	Значения
$\eta_{1K}(\Delta I_{ku_1})$ -стимулирование когнитолога – аналитика в РИО	0,11
$\eta_{2K}(\Delta I_{ku_2})$ -стимулирование эксперта в РИО	0,11
$\eta_{KT}(\Delta I_{KT})$ - стимулирование за согласование интересов между конструкторским и технологическим подразделениями	0,12

В этом случае в целевой функции руководителя технологического подразделения стимулирующие выплаты распределятся в равных долях следующим образом (таблица 6.4).

Таблица 6.4 –Показатели в целевой функции руководителя технологического подразделения

Показатели	Значения
$\eta_{1T}(\Delta I_{Tu_1})$ -стимулирование эксперта в РИО	0,1
$\eta_{2T}(\Delta I_{Tu_2})$ -стимулирование разработчика витрин в РИО	0,1
$\eta_{3T}(\Delta I_{Tu_3})$ -стимулирование диспетчера в последовательности записей ТП в РИО	0,1
$\eta_{KT}(\Delta I_{KT})$ - стимулирование за согласование интересов между конструкторским и технологическим подразделениями	0,1

$\eta_{III}(\Delta I_{III})$ - стимулирование за согласование интересов между производственным и технологическим подразделениями	0,11
--	------

В этом случае в целевой функции руководителя производственного подразделения стимулирующие выплаты распределяются в равных долях следующим образом (таблица 6.5).

Таблица 6.5 – Показатели в целевой функции руководителя производственного подразделения

Показатели	Значения
$\eta_{1II}(\Delta I_{II_1})$ -стимулирование сопровождающего площадки в РИО	0,04
$\eta_{2II}(\Delta I_{II_2})$ -стимулирование разработчика витрин в РИО	0,04
$\eta_{3II}(\Delta I_{II_3})$ -стимулирование диспетчера по последовательности ТП в РИО	0,04
$\eta_{III}(\Delta I_{III})$ - стимулирование за согласование интересов между производственным и технологическим подразделениями	0,04

Находим значения целевых функций в системе по формулам (2.2, 2.3, 2.4), получаем следующие значения:

$$\Phi_K = 0,34 - 0,11 - 0,11 - 0,12 = 0;$$

$$\Phi_T = 0,51 - 0,1 - 0,1 - 0,1 - 0,1 - 0,11 = 0;$$

$$\Phi_{II} = 0,16 - 0,04 - 0,04 - 0,04 - 0,04 = 0.$$

В итоге, благодаря сбалансированному взаимодействию по целевым функциям в ГИС ОТС ТПП с введением в систему нового информационного отдела удалось распределить стимулирующие выплаты в системе и добиться требуемых заказчиком показателей качества (надежности) H и количества изделий y , но это был реализован идеальный случай. В принципе сбалансированное взаимодействие может быть достигнуто и в случае использования нескольких конструкторско-технологических решений в моделях (2.6-2.10), что позволит определить область компромисса при принятии решений в современных условиях, если при текущем уровне производства не получится достигнуть требований заказчика.

Применение гибкой платформы приведет к следующим результатам. Анализ результатов экспериментальной и практической деятельности на реальном производстве свидетельствует об эффективности предлагаемого решения. Так, трудоемкость

проектирования шаблонной оснастки снизилась в среднем на 20 %, а металлоемкость изготовления – на 25 %, в отдельных случаях – на 100 %. Коэффициент релевантности поиска по шаблонной оснастке варьируется в пределах от 0,6 до 0,85, что является хорошим показателем (акт внедрения).

Выводы по главе 6

Положения разработанной методологии для внедрения ГИС ОТС ТПП, оформленные в виде моделей и методов, также применялись при разработке организационной системы управления проектным производством предприятий УНТЦ ВИАМ – НИЦ «Курчатовский институт».

При моделировании организационной системы управления проектным производством указанных предприятий применялись основные положения разработанной методологии:

1. Использование моделей прецедентов шаблонной оснастки в составе проектной онтологии позволяет организовать сопровождение полного жизненного цикла разработки – начиная с подготовки исходных данных и заканчивая формированием управляющих программ для изготовления оснастки. Такой подход обеспечивает возможность централизованного контроля проектных процедур и поддержания требуемого уровня качества продукции авиационного производства;

2. Ключевыми компонентами онтологической поддержки проектирования шаблонной оснастки являются расширяемые онтологические словари, интерактивная система классификации оснастки, средства трехмерной визуализации и материализации проектных решений, а также совокупность методик взаимодействия с данными инструментами. Комплексное применение перечисленных средств обеспечивает соблюдение технологических требований, предъявляемых к процессам разработки и изготовления шаблонной оснастки;

3. Требования к организации построения классификатора шаблонной оснастки как базиса поиска прецедентов в онтологии, позволяющие проводить эффективный семантический релевантный поиск моделей шаблонов в библиотеках и словарях системы проектирования шаблонной и объемной технологической оснастки в авиационной промышленности;

4. Организация проектирования шаблонной оснастки на основе используемой онтологии целесообразна для интегрированных решений, то есть для формирования комплекса прецедентных моделей шаблонной оснастки; в этом случае предлагаемый подход может быть интегрирован в информационную систему проектирования выпускаемых изделий предприятия;

5. Интерактивный классификатор, способствующий повышению рациональности отношения «деталь – оснастка», усовершенствовать тезаурусы и словари новой понятийной базы, что дало возможность применять накопленные производственные знания в сочетании с полученными в процессе проектирования новых изделий;

6. Интегральная модель прецедентов, предназначенная для накопления, структурирования и сопровождения базы проектных решений производственной онтологии. Данная модель обеспечивает возможность модификации и повторного применения ранее сформированных прецедентов при адаптации производственных процессов к изменяющимся условиям, а также способствует разработке более совершенных и технологически эффективных образцов авиационной техники;

7. Математическая модель разработанной онтологии, которая формализует процесс информационной поддержки проектирования на ее основе и позволяет проводить проектирование изделий оснастки в условиях более строго контроля выполнения требований, определяемых поставленными проектными задачами.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Основные научные результаты и выводы диссертационного исследования заключаются в следующем:

1. Решена отраслевая научно-техническая проблема, заключающаяся в обеспечении согласованного взаимодействия подразделений в организационно-технической системе технологической подготовки производства авиационной техники на основе онтологического представления знаний и снижения энтропии информации, что обеспечивает синхронизацию формирования технического облика изделий и их реализации на производственно-технологической базе.

2. Разработана структура гибкой информационной организационно-технической системы технологической подготовки производства (ГИС ОТС ТПП), включающая информационный отдел и формализованные связи взаимодействия между руководителем организационной системы, конструкторским, технологическим и производственным подразделениями, обеспечивающая реализацию механизма согласованного взаимодействия и распределение стимулирующих воздействий по целевым функциям руководителей подразделений для достижения заданных показателей качества N и объёма выпуска изделий y .

3. Разработаны математические модели принятия организационно-технических решений руководителями всех подразделений ГИС ОТС ТПП, позволяющие определять область компромисса равновесных стратегий по Нэшу с учётом ресурсов, стимулов за согласованное взаимодействие и показателей качества технологических процессов; показано, что при росте качества, увеличении объёма выпуска и уменьшении энтропии информации обеспечивается повышение результативности процессов технологической подготовки производства машиностроительного предприятия.

4. Сформирована система показателей качества технологической подготовки производства, включающая количество доработок p_1 , трудоёмкость p_2 и выбор средств производства p_3 , увязанная с изменениями информации и энтропией; на примере формирования нового технологического процесса показано, что значения $p_1=2$, $p_2=6$, $p_3=8$ позволяют количественно оценивать нагрузку и качество решений в конструкторском, технологическом и производственном подразделениях и использовать эти оценки для настройки стимулирующих воздействий.

5. Разработан онтологический подход к поддержке технологической подготовки производства, включающий концептуальную модель предметной области, информационно-логическую модель и онтологию технологических процессов, операций и документации; показано, что применение онтологий при поиске прецедентных комплектов технологической

документации обеспечивает коэффициент релевантности в пределах 0,6–0,85, что существенно сокращает время проектирования и согласования комплектов ТД и повышает качество принимаемых решений.

6. Теоретически обоснована и практически реализована интегрированная модель гибкой онтотехнологической платформы поддержки производства, состоящая из функциональной, информационной и структурной частей с хранилищем онтологий и методикой формирования данных на всех этапах жизненного цикла онтологии (анализ, разработка, тестирование, сопровождение, эксплуатация, утилизация), обеспечивающая интеллектуальную поддержку принятия решений при подготовке комплектов технологической документации, поиске релевантных прецедентов, проектировании шаблонной оснастки и анализе рисков.

7. Разработаны методы и алгоритмы формирования и использования данных в ГИС ОТС ТПП, включая методику выбора источников знаний на основе оценки экспертов и обнаружения скрытых данных, формализацию кодов технологических процессов и операций, а также алгоритм поиска множества релевантных прецедентных комплектов ТД по системе предикатов принадлежности, следования, эквивалентности и предопределения; показано, что реализация указанных методов обеспечивает автоматизированный поиск и комплектование технологической документации в архиве предприятия.

8. Разработаны алгоритмы формирования и оптимизации технологических процессов на основе прецедентного подхода и моделей сетей Петри, а также критерии выбора лучшего комплекта технологической документации по целевой функции $\beta_1 \cdot V + \beta_2 \cdot S + \beta_3 \cdot T \rightarrow \min$ или $(ST)/V \rightarrow \min$; показано, что использование критерия минимизации непроизводительных времён при построении расписаний обслуживания запросов обеспечивает снижение непроизводительных потерь времени и повышение эффективности работы производственной системы и её загрузки до 30%.

9. Обоснована и разработана методика формирования состава нового комплекта технологической документации с введением коэффициентов значимости видов документов и понятий допустимого и рекомендованного веса комплекта W_d и W_r с учётом удельных приведённых затрат за весь жизненный цикл изделия, обеспечивающая оптимизацию состава комплектов ТД для единичных и типовых технологических процессов в соответствии с требованиями ЕСТД и позволяющая технологу обоснованно формировать комплект документации с учётом баланса полноты описания процесса и затрат.

10. Разработана математическая модель производственной онтологии для проектирования шаблонной оснастки, включающая интегральную модель прецедента и систему показателей качества конструкции; показано, что практическое использование

модели обеспечивает снижение трудоёмкости проектирования шаблонной оснастки в среднем на 20%, снижение металлоёмкости изготовления до 25%, а в отдельных случаях до 100%, при сохранении требуемых показателей качества изделий; коэффициент релевантности поиска прецедентов по шаблонной оснастке находится в пределах 0,6–0,85, что подтверждает эффективность предложенных решений и их практическую значимость для предприятий авиационной промышленности.

11. Положения разработанной методологии для внедрения ГИС ОТС ТПП, оформленные в виде моделей и методов, применялись при разработке организационной системы управления проектным производством на УНТЦ ВИАМ – НИЦ «Курчатовский институт». Применение гибкой онтологической платформы привело к следующим результатам: трудоёмкость проектирования оснастки снизилась в среднем на 20 %, металлоёмкость изготовления — на 25 %, в отдельных случаях — на 100 %; коэффициент релевантности поиска по шаблонной оснастке варьируется в пределах от 0,6 до 0,85, что подтверждено актом внедрения. Результаты диссертации нашли применение в учебном процессе по подготовке инженеров-технологов и специалистов в области информационных технологий в Ульяновском государственном университете.

Перспективы дальнейших исследований. Перспективы дальнейших исследований связаны с развитием методологии и ее масштабированием на предприятия авиационной, машиностроительной и других наукоемких отраслей. Приоритетными направлениями являются расширение онтологии за счет новых видов продукции, технологических процессов, оборудования и средств технологического оснащения; разработка методов автоматического пополнения и актуализации базы знаний на основе анализа производственных данных и экспертных оценок; совершенствование моделей оценки качества и снижения энтропии информации с учетом неопределенности, рисков и динамики производственной системы.

Представляет научный интерес интеграция ГИС ОТС ТПП с PLM-, MES- и ERP-системами, создание цифровых двойников процессов технологической подготовки производства, применение методов машинного обучения для выявления скрытых зависимостей и прогнозирования качества технологических решений, а также проведение расширенных производственных испытаний для оценки экономической эффективности, надежности и тиражируемости предложенных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдошин, С. М. Информационные технологии онтологического инжиниринга / С. М. Авдошин, М. П. Шатилов // Информационные технологии. – 2008. – № 10.
2. Автоматизированная система проектирования технологических процессов механосборочного производства / В. М. Зарубин, Н. М. Капустин, В. В. Павлов и др. – Москва : Машиностроение, 1979. – 247 с.
3. Агроскин, В. Онтология для инженерных данных / В. Агроскин, А. Левенчук, В. Головков // Открытые системы. СУБД. – 2013. – № 06. – С. 40–42. – URL: <https://www.osp.ru/os/2013/06/13036814>.
4. Анализ данных и процессов : учебное пособие / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, И. И. Холод, М. Д. Тесс, С. И. Елизаров. – 3-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург : БХВПетербург, 2009. – 512 с.
5. Анализ проблем и определение путей развития производственных систем автомобильного производства / В. Н. Козловский, Д. И. Благовещенский, Д. В. Айдаров, Д. И. Панюков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2020. – Т. 22, № 6. – С. 57–63.
6. Андрич, О. Ф. Исследование методов оценки качества готовых онтологических моделей / О. Ф. Андрич, Л. А. Макушкина // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 3. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/03/31194> (дата обращения: 27.03.2019).
7. Башмаков, А. И. Интеллектуальные информационные технологии / А. И. Башмаков, И. А. Башмаков. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005 – 304 с.
8. Боргест, Н. М. Автоматизация предварительного проектирования самолета : учебное пособие / Н. М. Боргест. Самара : СГАУ, 1992. – 91 с.
9. Боргест, Н. М. Антология онтологии / Н. М. Боргест. – Самара : СГАУ, 2010. – 88 с.
10. Боргест, Н. М. Истоки и источники онтологии проектирования / Н. М. Боргест. – Самара : СГАУ, 2010. – 128 с.
11. Боргест, Н. М. Онтология проектирования. Теоретические основы. Ч. 1. Понятия и принципы / Н. М. Боргест. – Самара : СГАУ, 2010. – 495 с.
12. Боргест, Н. М. Основы построения мультиагентных систем, использующих онтологию : учебное пособие / Н. М. Боргест, Е. В. Симонова. – Самара : СГАУ, 2009.

13. Боргест, Н. М. Разработка интерфейса интеллектуального помощника проектанта / Н. М. Боргест, Р. В. Чернов, Д. В. Шустова // Материалы международной научно-технической конференции OSTIS-2011. – Минск : БГУИР, 2011.
14. Боргест, Н. М. Решение проектных задач с помощью онтологических систем : методические указания к лабораторным работам / Н. М. Боргест, Е. В. Симонова, Д. В. Шустова. – Самара : СГАУ, 2010.
15. Бурдо, Г. Б. Иерархическая многоагентная интеллектуальная система проектирования и управления технологическими процессами в организациях единичного и мелкосерийного производства / Г. Б. Бурдо, Б. В. Палюх // Двенадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2010 : труды конференции : в 4 т. – Москва : Физматлит, 2010. – Т. 4. – С. 186–194.
16. Бурдо, Г. Б. Интеллектуальные процедуры проектирования технологических процессов в интегрированных САПР / Г. Б. Бурдо, Н. А. Семенов, А. А. Исаев // Программные продукты и системы. – 2014. – № 1 (105). – С. 60–64.
17. Бурдо, Г. Б. Оценка решений в системах автоматизированного проектирования технологических процессов для многономенклатурных производств / Г. Б. Бурдо, Б. В. Палюх // Вестник Воронежской государственной технологической академии. Сер. Информационные технологии, моделирование и управление. – 2011. – № 2. – С. 96–100.
18. Бурдо, Г. Б. Представление знаний в системах автоматизированного проектирования и управления технологическими процессами / Г. Б. Бурдо, Б. В. Палюх // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16, № 2.
19. Бурдо, Г. Б. САПР ТП с развивающейся базой знаний / Г. Б. Бурдо, Б. В. Палюх, Е. В. Воробьева // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем : материалы IV Международной научно-технической конференции OSTIS-2014. Республика Беларусь, Минск, 20–23 февраля 2014. – Минск, 2014. – С. 195–199.
20. Вдовицын, В. Т. Технологии систематизации и поиска электронной научной информации с применением онтологий / В. Т. Вдовицын, В. А. Лебедев // Информационные ресурсы России. – 2010. – № 5. – С. 6–10.
21. Виттих, В. А. Онтологический подход к построению информационно-логических моделей в процессах управления социальными системами / В. А. Виттих, П. В. Ситников, С. В. Смирнов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. – № 5. – С. 45–53.
22. Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. – СПб. : Питер, 2000. – 384 с.

23. Гайнуллин, Р. Ф. Разработка методов и средств анализа и контроля диаграмматики бизнес-процессов в проектировании автоматизированных систем : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гайнуллин Ринат Фаязович. – Ульяновск, 2014. – URL: <http://www.ulstu.ru/main?cmd=file&object=10787>.
24. Галушка, И. Н. Оценка эффективности интеграционных решений на основе хранилищ триплетов / И. Н. Галушка, С. С. Щербак // АСУ и приборы автоматики. – 2014. – № 168. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-integratsionnyhresheniy-na-osnove-hranilisch-tripletov> (дата обращения: 04.06.2019).
25. Гаскаров, Д. В. Интеллектуальные информационные системы : учебник для вузов / Д. В. Гаскаров. – Москва : Высшая школа, 2003. – 431 с.
26. Гладун, А. Я. Онтологии в корпоративных системах / А. Я. Гладун, Ю. В. Рогушина // Корпоративные системы. – 2006. – № 1. – URL: <http://www.management.com.ua/ims/ims115.html>.
27. Гончаренко А. В. Информационная система редактирования онтологий / А. В. Гончаренко, Б. С. Добронев // Молодежь и наука : сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 155-летию со дня рождения К. Э. Циолковского / отв. ред. О. А. Краев. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2012.
28. ГОСТ 14.004–83. Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200009351>.
29. ГОСТ 14.201–83. Обеспечение технологичности конструкции изделий. Общие требования. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012270>.
30. ГОСТ 3.1102–2011. Единая система технологической документации (ЕСТД). Стадии разработки и виды документов. Общие положения. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200086388>.
31. ГОСТ 3.1109–82. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294845/4294845082.pdf>.
32. ГОСТ 3.1119–83. Единая система технологической документации (ЕСТД). Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на единичные технологические процессы (с изменением № 1). – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012110>.
33. ГОСТ 3.1121–84. Единая система технологической документации (ЕСТД). Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на типовые и

групповые технологические процессы (операции). – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012117>.

34. ГОСТ 3.1201–85. Единая система технологической документации. Система обозначения технологической документации. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/20312>.

35. Гришин, М. В. Автоматизация подготовки производства в концепции CALS / М. В. Гришин, С. Н. Ларин, А. В. Лебедев // Теория и практика современной науки : материалы XIII Международной научно-практической конференции, апрель 2014. – Москва : Спецкнига, 2014. – С. 151–159.

36. Гришин, М. В. Онтология как средство проектирования шаблонной оснастки в условиях подготовки наукоемкого производства / М. В. Гришин, С. Н. Ларин, В. И. Кочергин // Автоматизация процессов управления. – 2015. – № 1 (39). – С. 89–98.

37. Гришин, М. В. Онтология проектирования шаблонов авиационных деталей / М. В. Гришин, С. Н. Ларин, П. И. Соснин // Материалы 5-й Международной конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» (OSTIS-2015). – Минск : БГУИР, 2015. – С. 381–384.

38. Гришин, М. В. Практическая реализация повышения эффективности подготовки авиационных производств с использованием САПР шаблонной оснастки / М. В. Гришин, С. Н. Ларин // Энергосбережение, информационные технологии и устойчивое развитие : сборник материалов Международной научно-практической интернет-конференции, июнь 2014 г. – Ижевск : Издательство ФГБОУ ВПО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова», 2014. – С. 92–99.

39. Гришин, М. В. Средства онтологической поддержки процесса проектирования шаблонной оснастки в условиях авиационных производств / М. В. Гришин, С. Н. Ларин, П. И. Соснин // В мире научных открытий. Естественные и технические науки. – 2015. – № 4 (64). – С. 10–43.

40. Гришин, М. В. Теоретические основы процессов повышения эффективности подготовки авиационных производств / М. В. Гришин, С. Н. Ларин // Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности : сборник докладов Международной научно-практической конференции, август 2014. – Казань : Изд-во Казанского гос. технич. ун-та, 2014. – Т. 1. – С. 335–338.

41. Дегтярев, Ю. И. Методы оптимизации / Ю. И. Дегтярев. – Москва : Советское радио, 1980. – 272 с.

42. Дембицкий, Н. Л. Применение методов искусственного интеллекта в проектировании и производстве радиотехнических устройств : монография / Н. Л. Дембицкий, А. В. Назаров. – Москва : Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2009.
43. Добров, Б. В. Онтология по естественным наукам и технологиям ОЕНТ: структура, состав и современное состояние / Б. В. Добров, Н. В. Лукашевич // Электронные библиотеки. – 2008. – Т. 11, вып. 1. – URL: <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2008/part1/DL>.
44. Дубова, Н. Новые платформы бизнес-аналитики / Н. Дубова // Открытые системы. СУБД. – 2009. – № 09. – С. 30–33.
45. Евгеньев, Г. Б. Интеллектуальные системы проектирования / Г. Б. Евгеньев. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 334 с.
46. Ездаков, А. Л. Экспертные системы САПР : учебное пособие / А. Л. Ездаков. – Москва : ИД «ФОРУМ», 2009. – 160 с.
47. Ефименко, И. В. Онтологическое моделирование экономики предприятий и отраслей современной России. Ч. 3. Российские исследования и разработки в области онтологического инжиниринга и бизнес-онтологий / И. В. Ефименко, В. Ф. Хорошевский. – Москва : Издательский дом Высшей школы экономики, 2011. – 68 с. – URL: https://wp.hse.ru/data/2011/12/22/1261631381/WP7_2011_08_3.pdf.
48. Журавлева, Л. Н. Особенности автоматизированного проектирования технологических процессов механообработки в условиях многоцелевого производства / Л. Н. Журавлева // Автоматизация и современные технологии. – 2002. – № 3. – С. 11–13.
49. Загидуллин, Р. Р. Повышение эффективности ГПК механообработки за счет сокращения времени переналадок и оптимизации расписаний : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Р. Р. Загидуллин. – Москва : Мосстанкин, 1990.
50. Загорюлько, Ю. А. Обеспечение содержательного многоязычного доступа к лингвистическим информационным ресурсам на основе технологии порталов знаний / Ю. А. Загорюлько, О. И. Боровикова, И. С. Кононенко // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318, № 5.
51. Зарубин, В. С. Математическое моделирование в технике / В. С. Зарубин. – Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010.
52. Звягинцев, Ю. Е. Оперативное планирование и организация ритмичной работы на промышленных предприятиях / Ю. Е. Звягинцев. – Киев : Техника, 1990. – 159 с.
53. Зориктуев, В. Ц. Оперативно-календарное планирование в гибких производственных системах : учебное пособие / В. Ц. Зориктуев, Р. Р. Загидуллин. – Уфа : Изд. УГАТУ, 2004. – 106 с.

54. Интеграция рассуждений по прецедентам и онтологии в интеллектуальной системе поддержки инженерного анализа в области контактной механики / А. М. Дворянкин [и др.] // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – 2008. – № 2.
55. Исикава, К. Японские методы управления качеством / К. Исикава ; сокр. пер. с англ. под. ред. А. В. Гличева. – Москва : Экономика, 1988. – 214 с.
56. Карпушин, А. Н. Комплекс средств аспектно-ориентированного проектирования систем потоков работ конструкторско-технологической подготовки опытного приборостроительного производства / А. Н. Карпушин, С. Н. Ларин, П. И. Соснин // Автоматизация процессов управления. – 2010. – № 4 (22).
57. Кобайлас, Д. Хранилище данных 2.0. / Д. Кобайлас // Computerworld Россия. – 2008. – № 19.
58. Коваль, С. А. Автоматическая переработка текста на базе объектно-предикатной системы / С. А. Коваль // Структурная и прикладная лингвистика. – 1998. – Вып. 5.
59. Компьютерный инжиниринг: аналитический обзор : учебное пособие / А. И. Боровков [и др.]. – СПб. : Изд-во политехнического ун-та, 2012. – 93 с
60. Копайгородский, А. Н. Применение онтологий в семантических информационных системах / А. Н. Копайгородский // Онтология проектирования. – 2014. – № 4.
61. Кучуганов, В. Н. Вопросы корректности предметных онтологий / В. Н. Кучуганов // Труды Международной научно-технической конференции «Интеллектуальные системы» (AIS'06) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2006). – Москва : Физматлит, 2006. – Т. 2.
62. Кучуганов, В. Н. Система визуального проектирования баз знаний / В. Н. Кучуганов, И. Н. Габдрахманов // Информационные технологии в инновационных проектах : труды III Международной научно-технической конференции (Ижевск, 23–24 мая 2001 г.). – Ижевск : Издательство Ижевского радиозавода, 2001. – Ч. 1. – С. 140–143.
63. Лапшин, В. А. Онтологии в компьютерных системах / В. А. Лапшин. – Москва : Научный мир, 2010. – 222 с.
64. Ларин, С. Н. Онтологический подход к представлению знаний в системах технологической подготовки наукоемких производств / С. Н. Ларин. – Ульяновск : УлГУ, 2021. – 260 с.

65. Ларин, С. Н. Оптимизация методов технологической подготовки производства на ранних стадиях проектирования технических средств / С. Н. Ларин // Автоматизация управления. – 2003. – № 2.
66. Ларин, С. Н. Основные задачи обеспечения технологичности конструкции изделия в автоматизированных системах / С. Н. Ларин // Автоматизация управления. – 2004. – № 4.
67. Ларин, С. Н. Создание системы конструкторско-технологического анализа / С. Н. Ларин // Судостроение. – 2004. – № 6.
68. Летенко, В. А. Оперативно-производственный план и организация его выполнения (единичное и мелкосерийное производство) / В. А. Летенко, Я. Б. Гальперин. – Москва : Машиностроение, 1975. – 215 с.
69. Лукашевич, Н. В. Тезаурусы в задачах информационного поиска / Н. В. Лукашевич. – Москва : Изд-во Московского университета, 2011. – 508 с.
70. Соснин, П. И. Формирование и использование вопросно-ответных сетей в проектировании автоматизированных систем / П. И. Соснин, В. А. Маклаев // Интерактивные системы: проблемы человеко-компьютерного взаимодействия : сборник научных трудов. — Ульяновск : УлГТУ, 2017. — Вып. 12. — С. 135–144
71. Мартыненко, А. А. Применение онтологического подхода для реализации системы интеллектуального поиска в области CALS-, CAD-, CAM-, CAE-технологий / А. А. Мартыненко, В. А. Шкаберин // Вестник БрГТУ. – 2008. – № 2. – С. 103–110.
72. Митрофанова, О. А. Измерение семантических расстояний как проблема прикладной лингвистики / О. А. Митрофанова // Структурная и прикладная лингвистика : межвузовский сборник. – Санкт-Петербург : Издательство СПбГУ, 2008. – Вып. 7.
73. Могилко, Д. Корпоративная база знаний по бизнес-архитектуре предприятия / Д. Могилко. – URL: https://www.businessstudio.ru/articles/article/korporativnaya_baza_znaniy_po_biznes_arkhitecture.
74. Монахов, С. В. Методология анализа и проектирования информационных систем / С. В. Монахов, В. Л. Савиных, В. Я. Цветков. – Москва : Просвещение, 2005. – 264 с.
75. Морозов, И. Анализ и сравнение работы различных Reasoner'ов в Protégé / И. Морозов. – URL: https://www.academia.edu/9280798/Анализ_и_сравнение_работы_различных_Reasoner_ов_в_Protege.
76. Мохов, В. А. Интегрированный алгоритм когнитивной оценки и выбора оптимального варианта онтологической модели / В. А. Мохов, Н. Н. Сильнягин

// Инженерный вестник Дона. – 2011. – № 4. – URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/600>.

77. Муромцев, Д. И. Онтологический инжиниринг знаний в системе Protégé / Д. И. Муромцев. – Санкт-Петербург : СПбГУ ИТМО, 2007. – 62 с.

78. Найханова, Л. В. Создание декларативного метода извлечения знаний из терминологических словарей / Л. В. Найханова, Р. Б. Хаптахеева, Е. Н. Янсанова // Информационные технологии. – 2008. – № 12.

79. Наместников, А. М. Интеллектуальные проектные репозитории / А. М. Наместников. – Ульяновск : УлГТУ, 2009. – 110 с.

80. Норенков, И. П. Основы автоматизированного проектирования : учебник для вузов / И. П. Норенков. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 430 с.

81. О разработке автоматизированной системы выбора направления будущей профессиональной деятельности / Н. П. Путивцева, Т. В. Зайцева, О. П. Пусная, С. В. Игрунова, Е. В. Нестерова, Е. В. Калюжная, Е. Ю. Шуваева // Научные ведомости. Сер. Экономика. Информатика. – 2016. – № 16 (237). – Вып. 39. – С. 138–145.

82. Обеспечение технологичности конструкции изделий машиностроения и приборостроения. Методические рекомендации МР 186–85. – Москва : ВНИИПАИ, 1985. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293737/4293737435.pdf>.

83. Обзор высокопроизводительных SAIL-решений. – URL: <http://alexidsa.blogspot.com/2009/12/sail.html>.

84. Овдей, О. М. Обзор инструментов инженерии онтологий / О. М. Овдей, Г. Ю. Проскудина // Труды Шестой Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» (RCDL'2004). – Пущино, 2004. – С. 59–68.

85. Онтологии и тезаурусы : учебное пособие / В. Д. Соловьев, Б. В. Добров, В. В. Иванов, Н. В. Лукашевич. – Казань, 2006. – 157 с.

86. Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения / Б. В. Добров [и др.]. – Москва : Бином. Лаборатория знаний, 2009. – 173 с.

87. Паращук, А. В. Исследование методов оценки качества онтологии предметной области / А. В. Паращук, А. А. Рыбанов // NovaInfo. ru. – URL: <https://novainfo.ru/article/4981>.

88. Постановление Правительства РФ от 7 июня 2019 г. № 733 «Об общероссийских классификаторах технико-экономической и социальной информации».

89. Разработка системы моделирования, контроля и управления технологическим процессом производства радиофармацевтических лекарственных препаратов. Часть 1.

Вероятностная модель технологического процесса / А. А. Смагин, А. А. Булаев, Р. Г. Бильданов, О. Л. Курилова // Автоматизация процессов управления. – 2022. – № 2 (68). – с. 15–27.

90. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – 2-е изд. – Москва : Вильямс, 2006. – 1408 с.

91. Система «Ontogrid» для построения онтологий / Н. Г. Загоруйко [и др.] // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии : труды Международной конференции «Диалог'2005». – Москва, 2005.

92. Слободюк, А. А. О подходе к созданию онтологий на основе системно-объектных моделей предметной области / А. А. Слободюк, С. И. Маторин, С. Н. Четвериков // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Экономика. Информатика. – 2013. – № 22-1 (165). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-podhode-k-sozdaniyu-ontologiy-na-osnove-sistemno-obektnyh-modeley-predmetnoyoblasti> (дата обращения: 03.06.2019).

93. Смагин, А. А. Модели разбиений : монография / А. А. Смагин. – Ульяновск : УлГУ, 2013. – 2007 с.

94. Смирнов, С. В. Онтологическая относительность и технология компьютерного моделирования сложных систем / С. В. Смирнов // Известия Самарского научного центра РАН. – 2000. – Т. 2, № 1.

95. Смирнов, С. В. Онтологический анализ предметных областей моделирования / С. В. Смирнов // Известия Самарского научного центра РАН. – 2001. – Т. 3.

96. Смирнов, С. В. Опыт создания средств семантического моделирования и проектирования на массовой программной платформе / С. В. Смирнов // Материалы 5-й Международной конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» (OSTIS-2015). – Минск : БГУИР, 2015.

97. Смирнов, С. В. Пакеты программ как формальные онтологии: построение и использование / С. В. Смирнов // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем: материалы III Международной научно-технической конференции (OSTIS-2013) (Минск, 21–23 февраля 2013 г.). – Минск : БГУИР, 2013.

98. Соснин, П. И. Онтологическая поддержка концептуального экспериментирования в вопросно-ответных моделирующих средах / П. И. Соснин // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям : в 4 т. – Москва : Физматлит, 2014. – Т. 1.

99. Соснин, П. И. Персональная онтология профессионального опыта / П. И. Соснин // Материалы 4-й Международной конференции «Открытые семантические

технологии проектирования интеллектуальных систем» (OSTIS-2014). – Минск : БГУИР, 2014.

100. Соснина, Т. Н. Онтология проектирования в контексте постулатов теории предмета труда / Т. Н. Соснина // Онтология проектирования. – 2015. – № 2 (16). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ontologiyaproektirovaniya-v-kontekste-postulativ-teorii-predmeta-truda> (дата обращения: 24.05.2019).

101. Субъективные метрики оценки онтологий / Т. А. Гаврилова, В. А. Горовой, Е. С. Болотникова, В. В. Горелов // Труды Всероссийской конференции «Знания – Онтологии – Теории». – 2009. – URL: <http://math.nsc.ru/conference/zont09/reports/39Gavrilova-GorovoiBolotnikov-Gorelov.pdf>.

102. Тарасов, В. Б. Инжиниринг предприятий и организационные онтологии / В. Б. Тарасов // Инжиниринг предприятий и управление знаниями : сборник научных трудов XVIII научно-практической конференции (ИП&УЗ, Москва, МЭСИ, 21–24 апреля 2015 г.). – Москва : МЭСИ, 2015.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Краткое описание нормативной документации ТПП

Тип документов	Сокращение	Серия ГОСТ	Описание
Единая система конструкторской документации	ЕСКД	2	Комплекс государственных стандартов Российской Федерации, устанавливающих взаимосвязанные правила, требования и нормы по разработке, оформлению и обращению конструкторской документации, разрабатываемой и применяемой на всех стадиях жизненного цикла изделия (при проектировании, разработке, изготовлении, контроле, приемке, эксплуатации, ремонте, утилизации)
Единая система технологической документации	ЕСТД	3	Комплекс стандартов и руководящих нормативных документов, устанавливающих взаимосвязанные правила и положения по порядку разработки, комплектации, оформлению и обращению технологической документации, применяемой при изготовлении и ремонте изделий
Единая система программной документации	ЕСПД	19	Комплекс государственных стандартов Российской Федерации, устанавливающих взаимосвязанные правила разработки, оформления и обращения программ и программной документации
Единая система технологической подготовки производства	ЕСТПП	14 (не только)	Система организации и управления технологической подготовкой производства, которая регламентирована государственными стандартами, оформленными в виде комплекса межгосударственных стандартов, использование которых обеспечивает сокращение сроков подготовки производства продукции заданного качества, высокую гибкость производственной структуры и значительную экономию трудовых, материальных и финансовых ресурсов
Единая система классификации и кодирования технико-	ЕСКК ТЭИ		Включает: общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации; нормативные и методические документы, регламентирующие разработку, ведение и применение общероссийских классификаторов.

Тип документов	Сокращение	Серия ГОСТ	Описание
экономической информации			Должна взаимодействовать с ЕИСИ [84] (см. таблицы А.2, А.3)
Единая система нормативно-справочной информации	ЕИСИ		На территории Российской Федерации действуют следующие документы ИСИ: национальные стандарты; правила стандартизации, нормы и рекомендации в области стандартизации; классификации, общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации. ЕИСИ – это федеральная государственная информационная система, целью создания которой является обеспечение автоматизированного формирования, актуализации и использования реестра базовых государственных информационных ресурсов, а также размещения, хранения и актуализации нормативной справочной информации, используемой при межведомственном взаимодействии
Единая система качества продукции		40 (не только)	Нормативными документами по стандартизации, действующими на территории России, являются: государственные стандарты Российской Федерации – ГОСТ Р; общероссийские классификаторы технико-экономической информации – ОКТЭИ; стандарты отраслей – ОСТ; стандарты предприятий – СТП; стандарты научно-технических обществ, инженерных обществ и других общественных объединений – СТО. Для использования международных стандартов ИСО серии 9000 Госстандарт утвердил три государственных стандарта: ГОСТ 40.9001–88 «Системы качества. Модель для обеспечения качества при проектировании и (или) разработке, производстве, монтаже и обслуживании», ГОСТ 40.9002–88 «Системы качества. Модель для обеспечения качества при производстве и монтаже», ГОСТ 40.9003–88 «Системы качества. Модель для обеспечения качества при окончательном контроле и испытаниях»

Тип документов	Сокращение	Серия ГОСТ	Описание
Система разработки и постановки продукции на производство	СРПП	15	Объединяет стандарты на разные типы изделий народного хозяйства
Государственная система обеспечения единства измерений	ГСИ (ГСОЕИ)	8	Система обеспечения единства измерений в стране, реализуемая, управляемая и контролируемая федеральным органом исполнительной власти по метрологии – Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)
Плановая и организационно-распорядительная документация		Внутренние документы предприятия	Организационные документы: штатное расписание, положения подразделений, должностные инструкции, правила внутреннего трудового распорядка. Распорядительные документы: приказы, распоряжения, решения, указания
Нормативно-техническая документация		Внутренние документы предприятия	Совокупность материалов и документов, обеспечивающих качество производимой продукции, а также ее соответствие всем утвержденным требованиям безопасности, условиям эксплуатации, хранения и транспортировки: технические условия (ТУ); технологические инструкции (ТИ); технологический регламент (ТР); технологический процесс (ТП); паспорт безопасности (ПБ); этикетка; рецептура; паспорт качества; стандарты организаций (СТО); инструкции и методики; документированные процедуры и т. д.

Тип документов	Сокращение	Серия ГОСТ	Описание
Документация механизации и автоматизации обработки информации		Стандарт ы ISO и ГОСТ ИСО (табл. А.4)	Стандарты, регламентирующие требования, языки и форматы передачи данных об изделиях, процессах и т. д.

Таблица А.2 – Перечень общероссийских классификаторов технико-экономической и социальной информации в социально-экономической области [85]

Наименование общероссийского классификатора	Федеральный орган исполнительной власти, обеспечивающий разработку, ведение и применение общероссийского классификатора
Общероссийский классификатор стандартов (ОКС)	Госстандарт России
Общероссийский классификатор услуг населению (ОКУН)	Госстандарт России
Общероссийский классификатор информации по социальной защите населения (ОКИСЗН)	Госстандарт России
Общероссийский классификатор продукции (ОКП)	Госстандарт России
Общероссийский классификатор управленческой документации (ОКУД)	Госстандарт России
Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов (ЕСКД)	Госстандарт России
Общероссийский классификатор основных фондов (ОКОФ)	Госстандарт России
Общероссийский классификатор валют (ОКВ)	Госстандарт России
Общероссийский классификатор единиц измерения (ОКЕИ)	Госстандарт России
Общероссийский классификатор информации о населении (ОКИН)	Госстандарт России
Общероссийский классификатор деталей, изготавливаемых сваркой, пайкой, склеиванием и термической резкой (ОКД)	Госстандарт России
Общероссийский технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения (ОТКД)	Росстандарт России
Общероссийский технологический классификатор сборочных единиц машиностроения и приборостроения (ОТКСЕ)	Госстандарт России
Общероссийский классификатор стран мира (ОКСМ)	Госстандарт России
Общероссийский классификатор информации об общероссийских классификаторах (ОКОК)	Госстандарт России
Общероссийский классификатор органов государственной власти и управления (ОКОГУ)	Госкомстат России

Наименование общероссийского классификатора	Федеральный орган исполнительной власти, обеспечивающий разработку, ведение и применение общероссийского классификатора
Общероссийский классификатор объектов административно-территориального деления (ОКАТО)	Госстандарт России
Общероссийский классификатор предприятий и организаций (ОКПО)	Госкомстат России
Общероссийский классификатор форм собственности (ОКФС)	Госкомстат России
Общероссийский классификатор организационно-правовых форм (ОКОПФ)	Госкомстат России
Общероссийский классификатор видов экономической деятельности, продукции и услуг (ОКДП)	Минэкономразвития России
Общероссийский классификатор экономических регионов (ОКЭР)	Минэкономразвития России
Общероссийский классификатор видов экономической деятельности (ОКВЭД)	Минэкономразвития России
Общероссийский классификатор специальностей по образованию (ОКСО)	Минобрнауки России
Общероссийский классификатор специальностей высшей научной квалификации (ОКСВНК)	Минобрнауки России
Общероссийский классификатор начального профессионального образования (ОКНПО)	Минобрнауки России
Общероссийский классификатор занятий (ОКЗ)	Минтруд России
Общероссийский классификатор профессий рабочих, должностей служащих и тарифных разрядов (ОКПДТР)	Минтруд России
Общероссийский классификатор полезных ископаемых и подземных вод (ОКПИиПВ)	Минприроды России
Общероссийский классификатор видов грузов, упаковки и упаковочных материалов (ОКВГУМ)	Минприроды России
Общероссийский классификатор гидроэнергетических ресурсов (ОКГР)	Минэнерго России

Таблица А.3 – Примеры классификаций [86]

Обозначение	Структура кода	Количество группировок	Объекты кодирования	Особенности	Гармонизация с международными
Классификации и номенклатуры Европейского союза					
NACE Rev.2	XXXX	996	Виды экономической деятельности	Действует	См. описание
CPA 2008	XX.XX.XX	5429	Продукция (включая услуги) по видам экономической деятельности	Действует	См. описание
Общероссийские классификаторы					
ОКВЭД2 (ОК 029–2014 (КДЕС ред. 2))	XX.XX.XX	Уточняется	Виды экономической деятельности	Действует	На основе гармонизации с NACE Rev. 2. Приказ № 14-ст от 31 января 2014 г.
ОКПД2 (ОК 034–2014 (КПЕС 2008))	XX.XX.XX.XXX	Уточняется (около 17 500 группировок)	Продукция, включая работы и услуги	Действует. В ряде группировок нарушена гармонизация с CPA 2008 (группировки – 03, 21.20.1, 41.2, 32.99.56 и т. д.). Введены группировки, отсутствующие в CPA 2008. Существенное укрупнение группировок по сравнению с ОКПД (ОК 034-2007 (КПЕС 2002)) – около 20 000 кодов отсутствует и т. д.)	На основе гармонизации с CPA 2008. Приказ № 14-ст от 31 января 2014 г.

Обозначение	Структура кода	Количество группировок	Объекты кодирования	Особенности	Гармонизация с международными
ОКОФ ОК 013–2014 (СНС 2008)	XXX.XX. XX.XX.XXX	1674	Основные фонды	Действует	Гармонизирован с ОКПД2 и стандартом Организации Объединенных Наций по международной системе национальных счетов (СНС 2008)
Кодификаторы, номенклатуры, перечни					
ЕКПС (Р 50.5.002–001)	XXXX XX XXXXXXXX	742 (группы и классы)	Изделия, комплектующие изделия, комплекты, вещества или материалы	Действует	Гармонизирован с кодификатором снабжения НАТО

Таблица А.4 – Стандарты по обеспечению автоматизации процессов обработки и передачи производственных данных

Стандарт	Стандарт РФ (перевод, связанные)	Описание
ISO 10303 (STEP – Standard for the Exchange of Product Model Data)	ГОСТ Р ИСО 10303-1-99	Стандарт, предназначенный для хранения данных об изделии, в том числе составе изделия, структуре, геометрических моделях, свойствах, характеристиках и т. д. Созданная однажды модель изделия используется многократно
ISO 22745 (eOTD)	ГОСТ ISO 22745-1-2016 ГОСТ ISO 22745-2-2017 ГОСТ ISO 22745-11-2017 ГОСТ ISO/TS 22745-10-2017 ГОСТ ISO 22745-13-2017 ГОСТ Р 55240-2012/ISO/TS 22745-14:2010 / ГОСТ ISO/TS 22745-14-2018 ГОСТ ISO/TS 22745-30-2018 ГОСТ Р ИСО 22745-20-2013 / ГОСТ ISO 22745-20-2018 ГОСТ Р ИСО/ТС 22745-30-2009 ГОСТ Р 55239-2012/ISO/TS 22745-35:2010 ГОСТ Р 55238-2012/ISO/TS 22745-40:2010	Открытый словарь технических данных об изделиях (eOTD) в статусе международного стандарта. В рамках Международной организации по стандартизации ИСО указанную разработку сопровождает технический комитет ISO TC 184 «Промышленные автоматизированные системы и их интеграция»
ISO 13584 (PLIB)	ГОСТ Р ИСО 13584-1-2006 ГОСТ Р ИСО 13584-20-2006 ГОСТ Р ИСО 13584-25-2010 ГОСТ Р ИСО 13584-26-2014 ГОСТ Р ИСО 13584-31-2010 ГОСТ Р ИСО 13584-32-2012 ГОСТ Р ИСО 13584-42-2012	Серия международных стандартов, предназначенных для компьютерного представления и обмена данными библиотек компонентов. Цель стандарта состоит в том, чтобы обеспечить такой механизм передачи данных библиотеки компонентов, который был бы независим от любой прикладной программной системы, использующей библиотеку компонентов

Стандарт	Стандарт РФ (перевод, связанные)	Описание
	ГОСТ Р ИСО 13584-101–2010 ГОСТ Р ИСО 13584-102–2010 ГОСТ Р ИСО 13584-501–2010 ГОСТ Р ИСО 13584-511–2010 ГОСТ Р 56263–2014 ГОСТ Р ИСО/ТС 10303-1291–2017 ГОСТ Р 55343–2012/ISO/TS 13584-35:2010	
ISO 15531 MANDATE (Manufacturing Data for Exchange)	ГОСТ Р ИСО 15531-44–2012	Регламентирует некоторые вопросы представления производственных данных. Областью стандартизации является форма представления и методы использования информации о производстве и используемых производственных ресурсах, их характеристиках и ограничениях с точки зрения управления производством. Состоит из частей: представление производственных данных для внешнего обмена; данные по управлению использованием производственных ресурсов; представление данных по управлению производственными потоками
ISO 15926	ГОСТ Р ИСО 15926-1–2008 ГОСТ Р ИСО 15926-2–2010 ГОСТ Р 55340–2014/ISO/TS 15926-4 ГОСТ Р 56265–2014/ISO/TS 15926-6:2013 ГОСТ Р 56272–2014/ISO/TS 15926-8:2011 ГОСТ Р 57323–2016/ISO/TS 15926-11:2015	Стандарт представления данных, опирающийся на идеи семантических сетей и Resource Description Framework. ISO 15926-1 Обзор ISO 15926; ISO 15926-2 Модель данных. Специфицирует обобщенную концептуальную модель данных, поддерживающую представление всех аспектов жизненного цикла установки непрерывного производства; ISO 15926-3 Справочные данные, касающиеся геометрии и топологии. Описывает геометрию и топологию, в терминах языка OWL переопределяет геометрические конструкторы; ISO 15926-4 Исходные справочные данные. Определяет библиотеку справочных данных, которая может периодически обновляться компетентным органом, назначенным ISO в качестве регистратора,

Стандарт	Стандарт РФ (перевод, связанные)	Описание
		обладающего требуемой инфраструктурой для обеспечения действенного применения данной справочной библиотеки данных; ISO 15926-5 специфицирует инструкции для регистратора, касающиеся справочных данных; ISO 15926-6 Методология разработки и валидации справочных данных. Специфицирует сведения, требуемые при определении дополнений к справочным данным, специфицированным ISO 15926-4; ISO 15926-7 Методы исполнения объединения распределенных систем. Методология шаблонов; ISO 15926-8 Методы исполнения объединения распределенных систем. Внедрение сетевого онтологического языка; ISO 15926-11 Методология упрощенного промышленного использования справочных данных (проект)
ISO 18629 PSL	ГОСТ Р ИСО 18629-1–2010 ГОСТ Р ИСО 18629-11–2010 ГОСТ Р ИСО 18629-12–2010 ГОСТ Р ИСО 18629-13–2011 ГОСТ Р ИСО 18629-14–2011 ГОСТ Р ИСО 18629-41–2011 ГОСТ Р ИСО 18629-42–2011 ГОСТ Р ИСО 18629-44–2011 ГОСТ Р ИСО 18629-43–2011	PSL (Process Specification Language) – язык спецификаций процесса. Описан комплексом стандартов ISO 18629. PSL – язык, используемый для спецификации производственных процессов, основанный на математически точно определенных словаре и грамматике. Он отличается от языка, используемого для описаний схем и продукта в ISO 10303, ISO 13584 и ISO 15926, а также от языка характеристики процессов, приведенного в ISO 15531, но тесно с ним связан и дополняет его. При обмене информацией между двумя процессами язык PSL определяет каждый процесс, независимо от его поведения (режима работы). Например, объект, рассматриваемый как ресурс для одного процесса, считают таким же объектом, даже если его рассматривают в качестве продукта второго процесса
ISO 18876 IDEAS	ГОСТ Р 55344–2012/ISO/TS 18876-1:2003 ГОСТ Р 55345–2012/ISO/TS 18876-2:2003	Содержит описание структуры моделей интеграции данных об изделии и составляющих их элементов

Стандарт	Стандарт РФ (перевод, связанные)	Описание
ISO 14959 Parametrics	–	Унификация способов обмена параметрами изделий
ISO 8000	ГОСТ Р 56214–2014/ISO/TS 8000-1:2011 ГОСТ Р ИСО 8000-2–2014 ГОСТ Р 54524–2011/ISO/TS 8000-100:2009 ГОСТ Р ИСО 8000-102–2011 ГОСТ Р ИСО 8000-110–2011 ГОСТ Р 54911–2012/ISO/TS 8000-120:2009 ГОСТ Р 54525–2011/ISO/TS 8000-130:2009 ГОСТ Р 54526–2011/ISO/TS 8000-140:2009 ГОСТ Р 56215–2014/ISO/TS 8000-150:2011 ГОСТ Р 56216–2014/ISO/TS 8000-311:2012	Комплекс отдельных стандартов, относящихся к описанию качества данных
ISO 9735	ГОСТ Р ИСО 9735-1–2012 ГОСТ Р ИСО 9735-2–2012 ГОСТ Р ИСО 9735-3–2012 ГОСТ Р ИСО 9735-4–2012 ГОСТ Р ИСО 9735-5–2012 ГОСТ Р ИСО 9735-6–2012 ГОСТ Р ИСО 9735-7–2016 ГОСТ Р ИСО 9735-8–2016 ГОСТ Р ИСО 9735-9–2016 ГОСТ Р ИСО 9735-10–2016 ГОСТ 6.20.1–90 (ИСО 9735–88)	Предназначен для представления и обмена электронными данными – они могут группироваться в сегменты, смысл которых частично описан в стандарте, но может быть обусловлен договоренностью между партнерами
EIA 649	(R) Стандарт управления конфигурацией. Международный стандарт	Национальный базовый стандарт США в области управления конфигурацией. В нем установлены базовые принципы управления конфигурацией и правила управления внесением изменений в документацию

Стандарт	Стандарт РФ (перевод, связанные)	Описание
АЕСМА 1000D	ГОСТ 31270–2004	Технология представления технической документации, признанная в авиационной промышленности (АЕСМА – European Association of Aerospace Constructors). В основе АЕСМА 1000D лежит декомпозиция представляемого материала на модули. Модули включают идентификационную и содержательную секции, записанные на языках SGML или Hy Time (Hypermedia Time-based Structuring Language) с иллюстрациями в форматах CGM или JPEG, и хранятся в специальной базе данных. Предусмотрена автоматическая простановка гиперссылок (для этого имеются соответствующие программные средства)
ISO 8879 SGML	–	Язык SGML. Устанавливает правила предоставления информации, которые позволяют различным системам правильно распознавать и идентифицировать эту информацию. Является метаязыком для семейства конкретных языков разметки

Таблица А.5 – Пример систем Data Mining

Название	Описание
Apriori	Инструмент для нахождения ассоциативных правил при помощи алгоритма Apriori
ARtool (http://www.cs.umb.edu/)	Инструмент содержит набор алгоритмов для поиска ассоциативных правил в бинарных базах данных (binary databases)
Azmy SuperQuery (http://www.azmy.com)	Поисковик ассоциативных правил
Clementine (http://www.spss.com/clementine)	Data Mining с использованием Clementine является бизнес-процессом, разработанным для минимизации времени решения задач. Clementine поддерживает процесс Data

Название	Описание
	Mining: доступ к данным, преобразование, моделирование, оценивание и внедрение. При помощи Clementine Data Mining выполняется с методологией CRISP-DM
ClustanGraphics3, (http://www.clustan.com/)	Иерархический кластерный анализ «сверху вниз». Поддерживаются мощные графические возможности
CViz Cluster Visualization, (http://www.alphaworks.ibm.com/tech/cviz)	Продукт для анализа наборов данных с большой размерностью. Обеспечивает визуализацию наполнения кластеров объектами
DBMiner 2.0 Enterprise (http://www.dbminer.com)	Инструмент для исследования больших баз данных. Использует Microsoft Сервер SQL 7.0 Plato
DM-II system (http://www.comp.nus.edu.sg/)	Инструмент включает алгоритм СВА для выполнения классификации на основе ассоциативных правил и некоторых других характеристик
FIMI, Frequent Itemset Mining Implementations (http://fimi.cs.helsinki.fi/)	Является репозиторием, включающим программное обеспечение и базы данных
IBM Intelligent Miner for Data (http://www.ibm.com/software/data/iminer/fordata/)	Data Mining-процесс: от подготовки данных до презентации результатов. Поддержка языков XML и PMML
IREX (http://www.giwebb.com)	Сегментирование данных с целью оптимизации числовых результатов, например прибыли
KXEN (Knowledge eXtraction ENgines)	Инструмент, работающий на основе теории Вапника (Vapnik) SVM. Решает задачи подготовки данных, сегментации, временных рядов и SVM-классификации
Magnum Opus (http://www.rulequest.com/MagnumOpus-info.html)	Является быстрым инструментом поиска ассоциативных правил в данных, поддерживается операционными системами Windows, Linux и Solaris

Название	Описание
Megaputer Polyanalyst Suite (http://www.megaputer.com/)	Включает машину поиска ассоциативных правил
Nuggets (http://www.data-mine.com/)	Набор, включающий поиск ассоциативных правил и другие алгоритмы
Oracle Data Mining (ODM) (http://otn.oracle.com/products/bi/9idmining.html)	Инструмент обеспечивает GUI, PL/SQL-интерфейсы, Java-интерфейс. Используемые методы: байесовская классификация, алгоритмы поиска ассоциативных правил, кластерные методы, SVM и др.
Oracle RTD (oracle.com)	Инструмент для прогностической аналитики в режиме реального времени. Построен полностью на SOA-архитектуре
Polyanalyst (http://www.megaputer.com/)	Набор, обеспечивающий всесторонний Data Mining. Сейчас, помимо методов прежних версий, также включает анализ текстов, лес решений, анализ связей. Поддерживает OLE DB for Data Mining и DCOM-технологию
Purple Insight MineSet	Является набором визуального Data Mining, включающим визуализатор ассоциативных правил
SAS Enterprise Miner (http://www.sas.com/)	Интегрированный набор, который обеспечивает дружественный GUI. Поддерживается методология SEMMA
SPSS (http://www.spss.com/clementine/)	Один из наиболее популярных инструментов, поддерживается множеством методов Data Mining
Statistica Data Miner (http://www.StatSoft.com/)	Инструмент обеспечивает всесторонний интегрированный статистический анализ данных, имеет мощные графические возможности, управление базами данных, а также приложение разработки систем

Название	Описание
The LPA Data Mining Toolkit (http://www.lpa.co.uk/dtm.htm)	Поддерживает поиск ассоциативных правил в реляционных базах данных
Weka (http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/index.html)	Пакет Weka представляет собой набор алгоритмов машинного обучения для решения реальных Data Mining-проблем. Weka написана на Java и запускается практически со всех платформ
Wizsoft модуль WizRule	Нахождение ассоциативных правил и потенциальных ошибок данных
XAffinity (TM)	Используется для идентификации сходств или шаблонов в транзакциях

Таблица А.6 – Онтологии описания предприятия и производства

Название проекта	Описание	Год создания	URL
Toronto Virtual Enterprise (TOVE) project	Набор онтологий: операций, состояний и времени, организации, ресурсов, продуктов, сервиса, производства, цены, количества. Цели проекта: создание средств представления общей терминологии для программного обеспечения, приложения которой могут совместно использоваться и адекватно пониматься каждым членом сообщества; построение точных непротиворечивых определений терминов на основе логики первого порядка; обеспечение возможностей описания семантики с помощью множества аксиом, которые автоматически позволяют получать ответы на вопросы о программном обеспечении	1992	http://www.eil.utoronto.ca/enterprise-modelling/index.html http://www.eil.utoronto.ca/enterprise-modelling/tove/
Process Specification Language (PSL) project	Язык спецификации процессов; является развитием TOVE. Цель – разработка формата обмена для передачи описаний процессов между различными системами бизнес-моделирования и управления бизнес-процессами, такими как системы work-flow, системы симуляции, инструменты бизнес-реинжиниринга и репозитории процессов. PSL основан на формальной онтологии	1999	https://www.nist.gov/publications/process-specification-language-psl-overview-and-version-10-specification
Enterprise Project (The Enterprise Ontology)	Набор терминов и определений, имеющих отношение к бизнес-предприятиям, разделенный на 5 категорий: деятельность и процессы, организация, стратегия, маркетинг, время. Предназначен для моделирования бизнес-среды для поддержки менеджеров в принятии взвешенных стратегических, тактических и операционных решений	1996	http://www.aiai.ed.ac.uk/project/enterprise/enterprise/ontology.html

Название проекта	Описание	Год создания	URL
Design and Engineering Methodology for Organizations (DEMO)	Для проектирования, создания и перепроектирования организаций. Главное место занимает моделирование коммуникативных процессов на предприятии. Методология DEMO состоит из двух частей: организационная онтология или ψ -теория, определяющая организацию как социальную систему; методика организационного моделирования, показывающая, как построить организационную модель конкретного предприятия	2000-е	
«ОРГ-Мастер»	Онтология в системе «ОРГ-Мастер» задает структуру модели организации, применяется для настройки содержания визуальных нотаций и выходных документов, используется в коммуникациях сотрудников. Организационная модель – это наполненная экземплярами онтология организации; имеются визуальные нотации	2006 (1999)	http://bigc.ru/theory/modelling/
NAICS	Североамериканская система промышленной классификации, отражающая структуру разнообразных областей (таких как технология, строительство, сельское хозяйство и другие)	2007	https://www.naics.com/search/
KACTUS	Проект по построению методологии многократного применения знаний о технических системах во время их жизненного цикла (проектирования, оценки, функционирования, сопровождения, перепроектирования и обучения)	1994	http://www.management.com.ua/ims/ims116.html
Semantics Utilized for Process Management within and between Enterprises (SUPER)	Использование семантики для управления процессами внутри и между предприятиями. Основной целью проекта SUPER является перевод управления бизнес-процессами (BPM) с уровня информационных технологий на бизнес-уровень. Такая цель требует доступности системы управления процессами на уровне понятий бизнес-экспертов, способом представления которых выступают онтологии. Авторы называют свой подход семантическим управлением бизнес-процессами (SBPM)	2005	http://ip-super.org/

Название проекта	Описание	Год создания	URL
Suggested Upper Merged Ontology (SUMO)	Свободно распространяемая онтология, содержащая наиболее общие и самые абстрактные концепты. Является онтологией верхнего уровня, легко может быть подвергнута расширению. В настоящее время значительно расширена и включает онтологию среднего уровня и десятки онтологий предметной области	2000	http://www.adampease.org/OP/
Basic Formal Ontology (BFO)	Общая онтология научных исследований, состоит из серии подчиненных онтологий различного уровня детализации. Представляет собой единую инфраструктуру для работы с трех- и четырехмерными описаниями действительности. BFO – это подлинная верхняя онтология. Проект не содержит физических, химических, биологических или других терминов, которые должным образом попадают в области охвата специальных наук	2002	https://basic-formal-ontology.org/
Plinus	Целью проекта является полуавтоматическое извлечение знаний из текстов на естественном языке, в частности из литературы о механических свойствах керамических материалов. Так как тексты охватывают широкий диапазон понятий, требуется множество интегрированных онтологий для охвата таких понятий, как керамические материалы и их свойства, способы их обработки, различные дефекты материалов, например такие, как трещины и поры	1995	
Resources–Events–Agents (REA)	В качестве ключевых концептов используются понятия качества, отношения управления и ответственности и др. Концепция REA была распространена на области, связанные с электронной коммерцией	2007	http://xbrl.squarespace.com/journal/2016/9/27/understanding-the-resource-event-agent-rea-conceptual-model.html
Core Enterprise Ontology (CEO)	Включает в себя наиболее общие бизнес-понятия, которые являются релевантными для большинства предприятий независимо от их конкретной области деятельности. Не претендует на предоставление predetermined решений (полная бизнес-онтология), а скорее ориентирована на определение	2014	

Название проекта	Описание	Год создания	URL
	отправной точки и набора средств и принципов для разработчика бизнес-онтологий		
Quantity, Unit, Dimension, Type (QUDT)	Цель разработки онтологии QUDT заключалась в создании общей модели единиц измерения, измеряемых величин, числовых значений этих величин в различных единицах измерения, структур и типов данных для программной обработки результатов измерений	2014	http://www.qudt.org/pages/HomePage.html
Онтология измерений	Онтология единиц измерений	2018	https://elibrary.ru/item.asp?id=36322505
Онтология процессов, ориентированная на верификацию	Прикладная онтология для описания процессов	2018	https://elibrary.ru/item.asp?id=36607317
Управления полным жизненным циклом вооружения, военной и специальной техники	В онтологии отражены технологии, объекты управления	2015	https://elibrary.ru/item.asp?id=24880465
Онтология проектирования шаблонной оснастки в условиях подготовки наукоемкого производства	Для проектировщиков при создании новых моделей шаблонов на детали воздушных судов	2015	https://elibrary.ru/item.asp?id=23159488
Онтология для работа-проектанта летательного аппарата	Тезаурус проектанта, созданный на языке OWL, служит семантической основой при согласовании разнородных информационных моделей в среде предварительного проектирования самолета	2014	https://elibrary.ru/item.asp?id=22894002
Онтология автоматизированного	Основой построения онтологии является описание ее математической модели, а результатом – модель проектирования, ассоциированная с	2013	https://elibrary.ru/item.asp?id=20891916

Название проекта	Описание	Год создания	URL
структурно-параметрического проектирования основывающегося трикотажа	состоянием проектирования. При решении задачи генерируется множество состояний проектирования, которые в совокупности представляют пространство проектирования. Переход от одного состояния к другому в процессе поиска решения осуществляется с помощью операторов проектирования		
Онтология «Технология швейных изделий»	Сформирована система, позволяющая делить на классы и подклассы, выявлены характеристики, описывающие данные понятия, и разработана понятийная структура онтологии области «Технология швейных изделий»	2013	https://elibrary.ru/item.asp?id=20332553
Онтология «Обеспечение технологичности конструкций изделий в САПР»	Онтология базируется на поэлементном способе отработки конструкций на технологичность. Проект регламентирован ГОСТ 14.204–73	2010	https://elibrary.ru/item.asp?id=15190880

Таблица А.7 – Методы построения онтологий [48, 80]

Методика	Описание	Задача	Год создания
ONION	Методология для концептуального анализа и онтологической интеграции и слияния онтологий. Ориентирована на обеспечение всесторонней аксиоматизации, прозрачной семантики и онтологической глубины для терминологии некоторой области, которая должна быть интегрирована или слита (объединена). Выполняется в две фазы: реинжиниринг данных, по которым строится онтология, и слияние онтологий	Определение правил отображения для связи только релевантных частей исходных онтологий	1993–1999
PROMPT (SMART), AnchorPROMPT	Алгоритм для слияния и выравнивания онтологий, который создавался как полуавтоматический, реализован как плагин Protégé-2000. Плагин определяет возможные противоречия (несовместности) в текущем состоянии онтологии, которые могут быть результатом действий пользователя, и предлагает пути исправления этих противоречий. AnchorPROMPT является расширением PROMPT, которое сравнивает графовые структуры в большем масштабе. AnchorPROMPT трактует онтологию как граф с классами в качестве вершин и слотами в качестве связей (дуг). Алгоритм анализирует путь в подграфе, ограниченном указателями, и определяет, какие классы появляются в подобных позициях на подобных путях	Объединение двух онтологий с целью создания одной новой	2000
OBSERVER	Объединяет онтологии с информацией об отображении между ними и находит синонимы в исходных онтологиях	Определение отображения между концептами в двух онтологиях на основе нахождения пар связанных концептов	2000
Chimaera	Интерактивный инструмент для объединения онтологии, базирующийся на редакторе онтологий Ontolingua	Объединение двух онтологий с целью создания одной новой	2000

Методика	Описание	Задача	Год создания
OntoMorph	Определяет набор операторов преобразования, которые можно применить к онтологии	Определение функции преобразования из одной онтологии в другую	2000
FCA-Merge	Метод слияния онтологий, который использует подход «снизу вверх», предлагающий глобальное структурное описание процесса слияния. Для исходных онтологий он извлекает экземпляры понятий из заданного множества текстовых документов, релевантных рассматриваемой области, применяя методы обработки текстов на естественном языке. Основываясь на извлеченных экземплярах, он применяет математически обоснованные методы из области формального анализа понятий (Formal Concept Analysis), чтобы построить решетку понятий как структурный результат метода FCA-Merge	Определение отображения между концептами в двух онтологиях, на основе нахождения пар связанных концептов	2001
OntoMerge	Исходные онтологии транслируются в общее представление на специальном языке. Объединение онтологий начинается с приведения их к общему синтаксическому представлению. Затем определяются аксиомы соединения между понятиями двух онтологий. Метод предоставляет инструменты для трансляции данных, являющихся экземплярами понятий, в объединенную онтологию по спецификациям исходных онтологий и аксиомам соединения	Объединение двух онтологий с целью создания одной новой	2002
Подход Similarity Flooding (SF)	Работает с помеченными графами. Основным принципом поиска связанных понятий является предположение, что элементы двух онтологий подобны, если подобны их смежные элементы		2001
Cupid	Используется развитый алгоритм оценки коэффициента близости по именам с привлечением внешнего тезауруса, а затем алгоритм сопоставления структуры, основанный на сравнении листьев графов		2001
Agreement Maker		Определение отображения между концептами в двух онтологиях на основе	

Методика	Описание	Задача	Год создания
		нахождения пар связанных концептов	
SMatch	Позиционируется как система сопоставления схем, однако также упоминается постоянно, когда речь идет об интеграции онтологий. Проект транслирует понятия в логические формулы и сопоставляет понятия онтологий сначала с использованием WordNet. Решатель SAT используется для проверки отношений эквивалентности, включения, пересечения		2005
OLA	Утверждается, что методы оценки расстояния между строками имеют большую производительность и эффективность в сравнении методами оценки близости определений, основанными на использовании внешних источников, в частности WordNet, за счет времени обращения к внешним источникам. OLA основан на оценке терминологических и структурных расстояний между понятиями онтологий численно в интервале от 0 до 1. Близость представляется как множество формул, каждая переменная которых представляет подобие сущностей. Определения формул соответствуют определению функции близости и определениям онтологических сущностей. Проект работает с онтологиями в модели OWL Light		2004
SODA	Инструмент для выравнивания структурных онтологий в модели OWL DL с использованием методов оценки близости. Обе онтологии преобразуются в графы DL-GRAPH, вычисляется локальное подобие лингвистическими и структурными методами, а затем оценивается семантическая близость		2007
QOM	На время работы алгоритма поиска отображения непосредственно влияет количество вероятных пар. Здесь применяется эвристический метод оценки структуры онтологий, позволяющий уменьшить количество кандидатов на отображение. На этапе оценки близости QOM избегает полной попарной оценки деревьев онтологии и ограничивает число дорогостоящих сравнений. Там, где используются итерации, ограничивается их количество, утверждая		2004

Методика	Описание	Задача	Год создания
	на тестах, что дальнейшие итерации не сильно влияют на результат. Констатируется, что оптимизация операций уменьшает качество отображения, а использование комбинации подходов его увеличивает. В целом QOM показывает неплохие результаты при разнице во времени работы на порядок меньше относительно других методов		
GLUE	Представляет собой оригинальный подход к связыванию онтологий, использующий обучающиеся машины для предположения близости элементов онтологий по данным экземпляров понятий. Онтологии определяются как таксономии понятий с атрибутами. Во время фазы обучения находятся шаблоны и правила сопоставления элементов онтологий. Точность предположения зависит от качества обучения. Используется несколько машин обучения и метаобучатель, взвешивающий их результаты в соответствии с тем, какие результаты выдавал конкретный подход во время обучения. Для многих онтологий не существует данных, состоящих из экземпляров понятий, в этом случае метод не применим		2002
RiMOM	Средство для выравнивания онтологий, комбинирующее различные стратегии с целью достичь наилучших результатов		2006
Falcon-AO	Объединяет два подхода: сравнение на основе лингвистического соответствия (LMO) и на основе графов (GMO)		2005
COMA	Инструмент для сравнения схем, поддерживающий расширяемую библиотеку алгоритмов сравнения, гибкие средства для их комбинации и платформу для оценки эффективности различных алгоритмов		2002
MARFA (MApping FRAmework для распределенных онтологий)	Система поддержки интерактивного, инкрементного и динамического процессов отображения онтологии		2002

Методика	Описание	Задача	Год создания
ECOIN (Extended Context Interchange)	Предлагает использовать гибридную технику описания на основе слабо и сильно связанных отношений по интеграции данных в гетерогенной среде знаний		

Таблица А.8 – Методологии построения онтологий [48, 89]

Методология	Описание	Характеристика	Недостатки	Год создания	Примеры
Методология IDEF5	Обеспечивает наглядное представление данных, полученных в результате обработки онтологических запросов в простой естественной графической форме		Имеет мало инструментальных средств поддержки	1994	Является стандартом
METHONTOLOGY	Подход к построению и сопровождению онтологий, поддерживает программный комплекс спецификации онтологии ODE (Ontology Design Environment). Методология METHONTOLOGY интегрирует опыт проектирования сложных объектов из двух областей знаний. Включает в себя идентификацию процесса разработки онтологий и жизненного цикла, основанного на эволюции прототипов, и отдельные приемы для выполнения любой деятельности. Считается одной из наиболее зрелых методологий	Централизованная, независимая, эволюционное прототипирование, фреймы и дескриптивная логика, варианты использования и задачи; с середины	Не содержит детального описания подпроцессов создания онтологии	2002–2006	Онтологии CHEMICALS, Monatomic Ions, The Reference-Ontology, Silicate ontology, OntoRoadMap и проект IST-1999-10589 MKBEEM
Модель Усколда и Кинга, скелетная (Methology by Uschold and King)	Метод был предложен по результатам разработки одной из самых известных онтологий моделирования бизнес-процессов – онтологии Enterprise Ontology	Централизованная, независимая, вопросы компетенции, с середины	Не подразумевает развития онтологии, то есть проблема расширяемости и модификации. Не содержит детального	1998	Онтология Enterprise Ontology

Методология	Описание	Характеристика	Недостатки	Год создания	Примеры
			описания этапов создания онтологии		
Подход Сус (Cyc method)	Был сформирован в процессе выполнения проекта по созданию сверхбольшой базы знаний. В его рамках были разработаны первые инструментальные средства инженерии знаний, язык представления знаний СусL, базой которого послужило исчисление предикатов высших порядков и язык систем искусственного интеллекта LISP. Также была предложена идея структуризации базы знаний в виде микротеорий, включающих в себя знания из разных предметных областей, представленных с различных точек зрения	Логическое программирование		1984	OpenCyc под лицензией ResearchCyc
Методология Грюнингера и Фокса (Methology by Grüniger and Fox)	Основана на опыте разработки определенной конкретной онтологии, сориентированной на предметной области моделирования бизнес-процессов; предполагает создание онтологии в качестве логической модели знаний	Централизованная, полузависимая, логика, варианты использования / вопросы компетенции, с середины	Не рассматривает конкретных методов получения компетенции. Является ориентированной на приложение, так как ограничена применением сценария	2010	Онтология TOVE
Метод KACTUS	Проект KACTUS выполнялся в рамках европейского проекта Esprit. Одной из целей	Централизованная, зависимая,	Не приводится конкретных	1995	Онтология KACTUS

Методология	Описание	Характеристика	Недостатки	Год создания	Примеры
	проекта является исследование возможности переиспользования знаний в сложной технической системе и роли онтологии в поддержке этого. Этот подход зависит от приложения. Каждый раз, когда создается приложение, строится и онтология, представляющая требуемые для него знания. Эта онтология может быть разработана путем переиспользования других онтологий и интегрирована в онтологии приложений, создаваемые позднее	совпадает с моделью жизненного цикла приложения, исходная база знаний, снизу вверх	способов формализации знаний. Отсутствуют четко проработанные алгоритмы выполнения отдельных этапов		
Метод SENSUS	Онтология SENSUS предназначена для использования в обработке текстов на ЕЯ. Создана в группе естественного языка Института информационных наук ISI (Information Sciences Institute) для поддержки концептуальной структуры широкого назначения при разработке машинных трансляторов. Ее текущее содержание было получено путем извлечения и слияния (вручную) информации из различных электронных источников знаний	Централизованная, полузависимая, семантические сети, исходная онтология, снизу вверх	Высокие требования к создателям онтологий. Отсутствие наработок по конкретным действиям на каждом этапе. Строится на основе базовой онтологии (для других языков потребует перевода)	1997	Онтология SENSUS

Методология	Описание	Характеристика	Недостатки	Год создания	Примеры
Методология On-To-Knowledge (OTKM)	Была разработана и применена в проекте EU IST On-To-Knowledge для введения на предприятии и поддержки приложений, осуществляющих основанное на онтологии управление знаниями. Нацелена на процессы знаний и метапроцессы знаний. В то время как первые процессы направлены на использование онтологий, вторые управляют их разработкой и начальной настройкой (установкой). Метапроцесс представляется в виде 6 шагов: технико-экономическое обоснование, начало, доработка, оценка, применение, развитие	Централизованная, полузависимая, итерационная, вопросы компетенций, с середины или снизу вверх	Специализация на централизованные системы. Сложно прогнозировать сроки завершения проекта	2001	
DILIGENT (Distributed, Loosely-controlled and evolving Engineering of Ontologies) Engineering	Методология подразумевает пять шагов: построение, локальная адаптация, анализ, ревизия и локальное обновление. В методологии отсутствует требование полноты исходной онтологии – основы	Децентрализованная, зависимая, эволюционное прототипирование, исходная онтология, стратегия в зависимости от проблемы	Требует привлечения большого числа специалистов. Слабо поддается автоматизации. Сроки реализации не поддаются оценке	Середине 2000-х	
UPON	Разработана в соответствии с унифицированным процессом разработки программного обеспечения, построение начинается с диаграмм вариантов использования UML.	Централизованная, полузависимая, итерационная, модель предметной	Нацелена на решение конкретных задач. Высокая нагрузка на участников	2005	

Методология	Описание	Характеристика	Недостатки	Год создания	Примеры
	Процессы построения онтологий состоят из фаз, которые делятся на итерации, а те – на работы	области, с середины			
Design and Engineering Methodology for Organizations (DEMO)	Методология DEMO состоит из двух частей: организационная онтология или ψ -теория, определяющая организацию как социальную систему; методика организационного моделирования, показывающая, как построить организационную модель конкретного предприятия	Для проектирования, создания и перепроектирования организаций, главное место занимает моделирование коммуникативных процессов на предприятии	Нацелена на решение конкретных задач	2000-е	

Таблица А.9 – Краткое описание инструментов построения онтологий

Название	Форматы	Язык	Машины	Описание	Характеристика	Год
Ontolingua	Ontolingua, DAML+OIL, CLIPS	LISP	JTP, Prolog, CML, Epikit	Кроме собственно редактора онтологии, эта система содержит сетевой компонент Webster, предназначенный для определения концептов, сервер, обеспечивающий доступ к онтологиям Ontolingua по протоколу OKBC (Open Knowledge Base Connectivity)	Архитектура «клиент сервер», OWL-редактор, библиотека онтологий, Frames+ и FOL, слияние через Chimaera	1997
TopBraid Composer	RDF, RDFS, OWL, RDBMS	Java	OWLIM, Jena и Pellet	Инструмент моделирования семантической паутины. Используемый тысячами коммерческих клиентов, Composer предоставляет всестороннюю поддержку для создания, управления и тестирования конфигураций онтологий и RDF-графов	Выходит в трех версиях: бесплатная, основная, маэстро-версия. Проверка согласованности, OWL-редактор, архитектура «клиент сервер», DL	
SWOOP	RDF, RDFS, OWL	Java	Pellet	Открытый, веб-ориентированный редактор онтологий и браузер	Открытый код, OWL-редактор, автономная архитектура, DL, слияние онтологий	2006
Protégé	RDF, RDFS, XML, HTML, OWL, Clips, N3, TURTLE	Java	Pellet, Hermi, Fact и др.	Свободно распространяемая Java-программа, предназначенная для построения (создания, редактирования и просмотра) онтологий той или иной прикладной области. Включает редактор онтологии, позволяющий проектировать онтологии, разворачивая иерархическую структуру абстрактных и конкретных классов и слотов. На основе сформированной онтологии Protégé позволяет генерировать формы получения знаний для введения экземпляров классов и подклассов.	Бесплатная, проверка согласованности, OWL-редактор, автономная архитектура, Frames++ и FOL и Meta class, слияние через Prompt	1998

Название	Форматы	Язык	Машины	Описание	Характеристика	Год
				Инструмент поддерживает использование языка OWL и позволяет генерировать html-документы, отображающие структуру онтологий. Использование фреймовой модели представления знаний OKBC позволяет адаптировать его и для редактирования моделей ПрО, представленных не в OWL, а в других форматах (UML, XML, SHOE, DAML+OIL, RDF и RDFS и т. п.)		
OntoEdit	RDF, RDFS, DAML+OIL, OWL	Java	OntoBroker	Инструментальное средство, обеспечивающее просмотр, проверку и модификацию онтологии. Поддерживает языки представления онтологии OIL и RDFS, а также внутренний язык представления знаний OXML, основанный на XML. Как и Protégé, это автономное Java-приложение, но его коды закрыты. Свободно распространяемая версия OntoEdit Free ограничена 50 концептами, 50 отношениями и 50 экземплярами	Бесплатное, проверка согласованности, автономная архитектура, Frames+ и FOL, слияние	2002
OilEd	RDF, RDFS, DAML+OIL, OWL	Java	FaCT	Автономный графический редактор онтологии, разработанный в рамках проекта Op-To-Knowledge. Свободно распространяется по общедоступной лицензии GPL. Использует для представления онтологий язык OIL. В OilEd отсутствует поддержка экземпляров классов	Открытый код, проверка согласованности, OWL-редактор, библиотека онтологий, автономная архитектура, DL	2001
WebOnto	OMCL, Ontologua, RDF, RDFS, OIL	LISP	Только встроенный вывод	Разработан для просмотра, создания и редактирования онтологий. Для моделирования онтологий использует язык OCML (Operational Conceptual Modeling Language). Позволяет создавать различные структуры, в том числе классы	Бесплатный, проверка согласованности, OWL-редактор, библиотека онтологий, архитектура	1998

Название	Форматы	Язык	Машины	Описание	Характеристика	Год
				со множественным наследованием. Имеет ряд полезных особенностей: просмотр отношений, классов и правил, возможна совместная работа над онтологией нескольких пользователей	«клиент сервер», Frames+ и FOL	
Onto STUDIO	OWL, RDF(S), RIF, SPARQL, ObjectLogic	Eclipse	OntoBroker	Широко распространенная коммерческая среда разработки и поддержки онтологий. Способна импортировать данные, такие как схемы, структуры, модели, во множество различных форматов	Закрытый код, ограниченный доступ, трехуровневая архитектура	2007
WebODE, ODE (Ontological Design Environment)	RDF, RDFS, AML+ OIL, CLIPS, LOOM, Ontolingua и FLogic	Java	Prolog	Многопользовательская разработка онтологий WebODE. ODE взаимодействует с пользователями на концептуальном уровне, обеспечивает их набором таблиц для заполнения (концептов, атрибутов, отношений). Создание онтологий с помощью методологии Methontology. Инструмент получил свое развитие в WebODE, который интегрирует все сервисы ODE в единую архитектуру, сохраняя свои онтологии в реляционной БД	Бесплатная, проверка согласованности, автономная архитектура	1999
OntoSaurus	LOOM, IDL, KIF, C++	LISP	PowerLoom, Stella	Web-браузер баз знаний на языке LOOM	Открытый код, проверка согласованности, архитектура «клиент сервер», DL	1991
Neon Toolkit	RDF, RDFS, OWL	Java Eclipse	Hermit, OntoBroker, Pellet2	Средство имеет четкую структуру пользовательского интерфейса и создания онтологий, часть проекта Neon Project	Открытый код, проверка согласованности, библиотека онтологий, автономная архитектура, слияние	2006

Название	Форматы	Язык	Машины	Описание	Характеристика	Год
ИКОН		Java, Delphi		Инструментальный комплекс онтологического назначения для автоматизированного построения онтологии в произвольной предметной области	Закрытый код, ограниченный доступ, многоуровневая архитектура	2012
ЛоТА	Onto Editor+	C++		Специализированная система обработки текстовых документов. Является системой класса Text Mining. Формируется на основе центрального ядра – прикладной онтологии	Закрытый доступ, архитектура «клиент сервер»	2001
SIMER+ MIR				Технология SIMER+MIR является хорошо интегрированной совокупностью программных средств, поддерживающих все этапы генерации интегрированных распределенных систем и адаптации их для решения прикладных задач	Закрытый доступ	1997
ИСИДА+Т		CPSL		Интеллектуальная система извлечения данных и их анализа (на основе текстов)	Закрытый доступ	2006
ТОДОС		Java, Delphi, C++, html		Комплекс программно-информационных и методических средств управления знаниями с использованием подходов онтологического управления корпоративными и информационными ресурсами, где человек рассматривается как источник определения новых знаний для передачи их в форме собственного знания через инструментарий	Открытый код, архитектура «клиент сервер»	2013
KADS22				Проектирование моделей знания по методологии CommonKADS	CML	1999
InTEZ					Закрытый код, свободный доступ	

Название	Форматы	Язык	Машины	Описание	Характеристика	Год
DOE (Differential Ontology Editor)	RDFS, OWL presentation syntax, OWL exchange syntax, OIL plain text, OIL XML, DAML+ OIL, CGXML			Процесс спецификации онтологии состоит из трех этапов. На первом этапе пользователь строит таксономию понятий и отношений, явным образом очерчивая позицию каждого элемента (понятие) в иерархии. Затем пользователь указывает, в чем специфика понятия относительно его «родителя» и в чем это понятие подобно или отлично от его «братьев». Пользователь может также прибавить синонимы и энциклопедическое определение на нескольких языках для всех понятий. На втором этапе две таксономии рассматриваются с разных точек зрения. Пользователь может расширить их новыми объектами или добавить ограничения на области отношений. На третьем этапе онтология может быть переведена на язык представления знаний		
Примеры других редакторов: CIRCA Taxonomy Administrator, LegendBuster Ontology Editor, 15926 Editor, COLORE (Common Logic Ontology repository), HyQye, Makleod, NCBO BioPortal, OntoHub, OntologyTest, OOPS (Ontology Pitfall Scanner), OOR (Open Ontology Repository), Open Link Virtuoso, RepOSE (Repair of Ontological Structure Environment)						

Таблица А.10 – Методы коллективного создания онтологий

Методика	Описание	Год создания
Инфраструктура совместной разработки	Инфраструктура, обеспечивающая совместное конструирование базы знаний через Web. Разработка знаний мыслится как социальный процесс, в который вовлечено сообщество множества агентов. Система Co4 нацелена на поддержку разработки знаний с помощью «знающих» людей, то есть включение процесса рецензирования предпринятых модификаций равноправными участниками. В Co4 каждый участник	1996

Методика	Описание	Год создания
согласованных баз знаний – Co4	рассматривается системой как база знаний. Для построения согласованной базы знаний индивидуальные базы знаний должны быть связаны вместе. Базы знаний организуются в дерево, чьи листья являются пользовательскими базами знаний и чьи промежуточные вершины называются групповыми базами знаний	
Проект кооперативного Protege	Характеристики кооперативной версии Protege: расширение существующей версии и поддержка аннотирования компонентов онтологий и изменений, линий дискуссий, предложений и голосования, поиска и фильтрации, регистрации пользователей, групп и политик	2008
Метод (КА) 2	Метод (КА) 2 получен из опыта разработки онтологий в Инициативе по аннотированию знаний при сообществе приобретения знаний. Его цель – смоделировать общество приобретения знаний, используя онтологии, разработанные совместными усилиями группы людей, находящихся в разных местах, а также одни и те же шаблоны и язык. Онтология (КА) 2 формирует базис для аннотирования www-документов Общества приобретения знаний для того, чтобы сделать возможным интеллектуальный доступ к этим документам. Текущая концептуальная модель онтологии (КА) 2 состоит из связанных онтологий: онтологии организаций, онтологии персон, онтологии проектов, онтологии публикаций, онтологии событий, онтологии направлений исследования и онтологии продуктов (результатов) исследования	1999
NeOn Project (http://www.neon-project.org)	Платформа NeON поддерживает онтологический инжиниринг и управление, полный жизненный цикл и сетевую работу с онтологиями (модульность, отображение и т. д.). Инструментарий разработан на платформе Eclipse и расширяет базовую архитектуру за счет механизма плагинов Eclipse и веб-сервисов	2006

Таблица А.11 – Краткое описание методов и инструментов оценки онтологий

Название	Описание	Год
OntoManager	Оценивает онтологию с позиции ее соответствия заданной предметной области	
Natural Language Application metrics	Помогает оценить содержание онтологии с помощью различных метрик	
EvaLexon	Осуществляет сравнение терминов из словаря онтологии с текстами на естественном языке, на базе которых была сконструирована онтология, и делает выводы о том, охватывает ли данная онтология большую часть понятий входного текста	2005
OntoMetric	Помогает выбрать подходящую онтологию для заданного проекта путем сравнения значения целей проекта и изучения характеристики онтологий	2004
OntoClean	Позволяет оценить таксономию онтологии с формальной точки зрения. Сравнивает онтологическую модель с «золотым стандартом», «чистит» таксономию онтологий	2002
FIGO	Метод оценки	
Declarative Methods	Метод оценки	
ONE-T		2002
OntoAnalyser		2001
OntoGenerator		2001
AEON		2005
CleanOnto		2006
ODEval		2004
COAT (Cognitive Ontology AssessmentT)	Инструмент автоматической оценки когнитивной эргономичности онтологий	2009

Таблица А.12 – Краткий обзор машин вывода для онтологий [72]

Машина	Разработчик	Характеристика	Язык реализации
BaseVISor	VIStology, Inc.		
BUNDLE	University of Ferrara		
CEL	Technische Universität Dresden	Правила, не поддерживает правила SWRL, Linux, SROIQ, Abox, код открытый	LISP
Chainsaw	The University of Manchester		
Clipper	Vienna University of Technology		
DBOWL	University of Malaga		
DeLorean	Not given		
DistEL	Wright State University		
DRAOn	University of Paris 8, IUT of Montreuil		
DReW	Vienna University of Technology		
ELepHant	Not given		
ELK	University of Ulm, Germany	Правила, кроссплатформенная, EL, Abox, код открытый	Java
ELOG	Not given		
FaCT++	The University of Manchester	На основе таблиц, поддерживает правила SWRL, кроссплатформенная, SROIQ(D), Abox, код открытый	C++
fuzzyDL	ISTI – CNR	На основе гипертаблиц, поддерживает правила SWRL, кроссплатформенная, SROIQ(D), Abox, код открытый	Java
HermiT	University of Oxford		
jcel	Technische Universität Dresden		
JFact	The University of Manchester		
Konclude	University of Ulm, derivo GmbH		
LiFR	Centre for Research and Technology Hellas (CERTH)		
Mastro	Sapienza University of Rome		

Машина	Разработчик	Характеристика	Язык реализации
MORe	University of Oxford		
ontop	Free University of Bozen-Bolzano		
Pellet	Clark & Parsia, LLC	На основе таблиц, поддерживает правила SWRL, кроссплатформенная, SROIQ(D), Abox, код открытый	Java
Racer	Concordia University, Montreal, Canada; University of Lübeck, Germany	На основе таблиц, поддерживает правила SWRL, кроссплатформенная, SRIQ, Abox, код коммерческий	LISP
RDFox	University of Oxford		
RuQAR	Poznan University of Technology		
Snorocket	CSIRO	Правила, не поддерживает правила SWRL, кроссплатформенная, EL+, Abox, лицензия коммерческая	Java
TReasoner	Tyumen State University		
TRILL	University of Ferrara		
TRILLP	University of Ferrara		
TrOWL	University of Aberdeen	Правила, не поддерживает правила SWRL, кроссплатформенная, SROIQ, Abox, лицензия коммерческая	Java
WSClassifier	University of New Brunswick, Canada		
Mini-ME	Politecnico di Bari, Italy		
Living Semantic Platform	Softplant GmbH – http://www.softplant.de/		
KARMA	University of Oxford		
HydrOWL	National Technical University of Athens		
PAGOdA	University of Oxford		
SWRL-IQ		На основе гипертаблиц, поддерживает правила SWRL, кроссплатформенная, Abox	Prolog
TORNADO	University of Ferrara		

Таблица А.13 – Краткое описание хранилищ онтологий [3,4, 79]

Хранилище	Описание
Virtuoso	Enterprise-продукт фирмы OpenLink, которая специализируется на разработке RDBMS Middleware. PESSS-хранилище, программная реализация бесплатная. Поддерживаемые фреймворки: Jena, Sesame, Redland, Linq2Rdf, dotnetRDF
AllegroGraph	AllegroGraph разрабатывает фирма Franz Inc., которая широко известна благодаря таким продуктам, как TopBraid Composer (редактор онтологий), RacerPro (OWL DL-ризонер) и др. Бесплатно до 50 млн триплетов. Поддерживаемые фреймворки: Jena, Sesame, Clojure
NitrosBase	RDF-хранилище с высокой скоростью обработки запросов. Увеличение производительности достигается за счет компактного хранения информации по одному субъекту, это сближает его архитектуру с архитектурами объектных и реляционных баз и позволяет приблизить NitrosBase по производительности к реляционным СУБД
BigOWLIM	BigOWLIM имеет выразительность RDFS with most of OWL Lite, которая чуть шире выразительности ризонера RDFS++ AllegroGraph. Поддерживаемые фреймворки: Sesame
PelletDb	Семантико-ориентированность, enterprise-система, для Oracle Enterprise логический вывод с выразительностью OWL DL
OpenAnzo	RDF-хранилище с широким спектром семантического middleware, которое включает поддержку распределенных сервисов, работу оффлайн, версионирование, ограничение доступа и т. д., бесплатное
Semantics.Server	Представляет собой целый ряд средств, включая свой фреймворк, OWL Full-ризонер и хранилище на базе SQL Server

Таблица А.14 – Классификация онтологических языков по базовой модели

Базовая модель	Возможные реализации модели	Примеры систем
Графовая	Семантические сети	
	Концептуальные графы	
	Диаграммы классов UML	
	Схемы модели «сущность – связь»	

Фреймовая		OKBC, XOL
Логическая	Дескриптивные логики	SHOIQ, DLR, DL-Lite, OWL
	Языки правил	RuleML, LP/Prolog, F-Logic
	Логики первого порядка	KIF
	Неклассические логики (например, немонотонные, вероятностные логики)	

Таблица А.15 – Краткий обзор языков описания онтологий

Язык спецификация /	Описание	Дата
CycL	Язык спецификации онтологий (вырос из проекта Сус, ориентированного на создание мультиагентной базы знаний всех общих понятий, включая семантическую структуру терминов и связей между ними). Основан на исчислении предикатов с некоторыми расширениями более высокого порядка	1984–2006
F-Logic (frame logic)	Онтологический язык, который базируется на логиках первого порядка и фреймах, однако классы и свойства в нем представлены как термины, а не как предикаты. Язык создавался для осуществления взаимодействия между онтологиями, построенными на основе предикатов	1989–1995
KIF (Knowledge Interchange Format)	Компьютерно-ориентированный язык для обмена знаниями и взаимодействия между программами. Основан на логике первого порядка. Разработан Майком Генесереттом и его коллегами в Стенфорде	1991, 1992 (KIF v 3.0)
Ontolingua	Язык для однородного представления онтологических знаний, созданных в различных системах представления знаний, и для создания общих онтологий для групп агентов. Онтологическая модель построена на объектах, представляемых фреймами; разработана в Knowledge System Laboratory (www.ksl.stanford.edu). Является расширением KIF	1992
OKBC (Open Knowledge Base Connectivity)	Язык обмена для онтологий, средство коммуникации; основан на фреймах. Является частью сервера Ontolingua	1995
OCML (Operational Conceptual Modeling Language)	Основан на фреймах, поддерживает построение нескольких типов конструкций представления знаний. Позволяет задавать спецификацию и операционализацию функций, связей, классов, экземпляров и правил. Также включает механизмы для описания онтологий и методов решения задач	1999
LOOM	Язык и среда для построения интеллектуальных приложений. Центром языка является система представления знаний, которая используется для построения дедуктивных выводов на основе декларативных знаний	1999
CL (Common Logic)	Приемник KIF	Стандарт в 2007

Язык спецификация /	Описание	Дата
SHOE (Simple HTML Ontology Extension)	Основан на Web-стандартах, язык спецификации онтологий (вырос из проекта Simple HTML Ontology Extensions – осуществляет аннотацию Web-страниц семантической информацией)	1996
RDF (Resource Description Framework)	Среда описания ресурса; разработан консорциумом W3C для описания метаданных в семантической сети. Является низкоуровневым языком описания метаданных, оперирует лишь понятиями связей примитивных сущностей, является подмножеством языка XML	1997 (в 1999 статус рекомендации)
XOL (XML-based ontology exchange language)	Основан на Web-стандартах, предназначен для обмена описаниями между разными агентами	1999
UPML	Основан на Web-стандартах, разработан в рамках проекта Ibrow	1999
OIL (Ontology Inference Layer или Ontology Interchange Language)	Онтологический слой (уровень) логического вывода или онтологический язык обмена, основан на описательной логике	2000
DAML (DARPA Agent Markup Language)	Язык разметки агента DARPA, обеспечивал примитивы для объявления пересечений, объединений, дополнений классов и т. д.	2001
RDFS (RDF Schema)	Специальный язык RDF Schema для описания структуры документов	2004 статус рекомендации
OWL (Web Ontology Language)	Вобрал в себя все лучшее из DAML+OIL и является дальнейшим развитием RDF/RDFS. Функционально-ориентированный стиль описания онтологий	2004 статус рекомендации
OWL 2	Вторая версия языка OWL	2009 статус рекомендации (последняя версия 2012)

Таблица А.16 – Подходы к интеграции правил и онтологий

Подход	Особенности	Примеры реализации
Семантическая интеграция (однородный или гомогенный подход)	онтология и правила описываются в одном логическом языке; не различают предикаты правил и онтологии; взаимодействие с жесткой семантической интеграцией; правила можно использовать для определения классов и свойств онтологии	SWRL (Semantic Web Rule Language), Description Logic Programs (DLP)
Строгое семантическое разделение (гибридный подход)	интеграция со строгим семантическим разделением между двумя слоями; онтология используется как концептуализация; правила не могут определять классы и свойства онтологии за исключением некоторых специальных отношений	Answer Set Programming (ASP), форма декларативного программирования, ориентированная на сложные (в основном NP-сложные) задачи поиска

Таблица А.17 – Профили стандарта OWL

Профиль	Описание	Логика
OWL		
OWL Lite	Предназначен для пользователей или приложений, которым необходима лишь классификационная иерархия сущностей и некоторые простые условия согласованности сущностей	Дескрипционная логика SHIF(D)
OWL DL (Description Logic)	Рассчитан на пользователей, которым необходима максимальная степень выразительных возможностей языка без потери вычислительной полноты, без потери всех семантических воплощений – содержательных толкований выводов, полученных формально-логическим путем, и разрешимости (то есть вычисления будут закончены за конечное время). Уровень OWL DL ориентирован на существующие сегодня системы описания знаний и системы логического программирования	Дескрипционная логика SHOIN(D)
OWL Full	Рассчитан на пользователей, которым необходимы максимальные выразительные возможности языка и свобода выбора конечного формата Resource Description Framework (RDF), но без каких-либо гарантий вычислительной полноты и разрешимости. OWL Full позволяет расширить смысл термина, взятого из какого-либо заданного словаря, и добавить его в онтологию	Не соответствует какой-либо дескрипционной логике, является неразрешимой
OWL 2		
OWL2 (DL) EL	Основан на EL++, который ориентирован на масштабируемые рассуждения в TBox (то есть полиномиально-временные рассуждения для большинства задач вывода, таких как классификация)	SROIQ (aka EL)
OWL2 (DL) QL	Основан на DL-Lite, который ориентирован на масштабируемый запрос, отвечающий в ABox (при работе с большим количеством данных экземпляра и относительно простым TBox)	SROIQ (DL-Lite)
OWL2 (DL) RL	Основан на описании логической программы, имеющей выразительность, которая подмножественно относится к OWL2 DL (фрагмент, который можно обрабатывать с помощью логики описания)	SROIQ (aka DLP)
OWL 2 Full	Предназначен для пользователей, которым нужна максимальная выразительность и синтаксическая свобода RDF без гарантий вычисления	Не соответствует какой-либо дескрипционной

		логике, является неразрешимой
--	--	-------------------------------

Таблица А.18 – Значения символов в названиях дескриптивных логик

Символ	Конструкты	Примеры
AL	Атомное отрицание, объединение понятий, пересечение понятий, универсальные ограничения, ограниченная экзистенциальная квантификация	ThreatActor $\equiv$ Individual $\sqcup$ Organization
C	Сложные выражения класса путем объединения математических операторов, таких как отношения подкласса, эквивалентность, конъюнкция, дизъюнкция, отрицание, ограничение свойств, тавтология и противоречие	Hacker $\equiv$ Expert $\sqcap \neg(\text{ThreatActor} \sqcup \text{Attacker})$
S	ALC с транзитивными (переходными) ролями	compromisedBy $\circ$ compromisedBy $\sqsubseteq$ compromisedBy
E	Полная экзистенциальная количественная оценка	$\exists \text{hasVulnerability}.\text{Software}$
F	Функциональные свойства, частный случай количественного определения уникальности	$T \sqsubseteq \leq 1 \text{hasMD5Checksum}.T$
U	Концепция объединения	AttackerKnowledge $\equiv$ PerfectKnowledge $\sqcup$ LimitedKnowledge $\sqcup$ ZeroKnowledge
H	Иерархия или свойства ролей	hasViolatedIntegrity $\sqsubseteq$ isCompromised
R	Включение составных ролей, рефлексивность и нерефлексивность, ролевая дизъюнктивность ролей	Disjoint(isTargeted, isDiscriminate)
O	Enumerated classes of object value restrictions (nominals) Перечислимые классы ограничений значения объекта (номиналы)	SHA-3 $\equiv \{ \text{SHA3-224}, \text{SHA3-256}, \text{SHA3-384}, \text{SHA3-512}, \text{SHAKE128}, \text{SHAKE256} \}$
I	Инвертируемые свойства	exploitedBy $\approx$ exploitorOf–
N	Безусловные ограничения мощности	AttackSeries $\equiv \geq 2 \text{hasAttack}.T$
Q	Ограничения квалифицированной мощности	Key $\sqsubseteq = 1 \text{hasHash}.\text{Input}$

Символ	Конструкты	Примеры
(D)	Свойства типа данных, значения данных или типы данных	$T \sqsubseteq \forall \geq 0 \text{cvvs.float}$ $T \sqsubseteq \forall \leq 10 \text{cvvs.decimal}$ $T \sqsubseteq \forall \text{severityRating.cvvs}$ $\exists \text{severityRating}. T \sqsubseteq \text{Vulnerability}$

Таблица А.19 – Краткий обзор языков построения правил для онтологий

Язык	Описание	Год создания
Логическое программирование		
Prolog	Язык логического программирования, основанный на языке предикатов математической логики дизъюнктов Хорна, представляющей собой подмножество логики предикатов первого порядка	1972
CLIPS (C Language Integrated Production System)	Язык прямого логического вывода, в своей оригинальной версии не поддерживает обратного вывода, использует продукционную модель представления знаний. COOL – вариант языка с поддержкой объектно-ориентированной парадигмы	1985
Jess	Коммерческий последователь CLIPS, переписан на Java, поддерживает обратный вывод	1995
DataLog	Является подмножеством языка Prolog, дедуктивный язык запросов, удобен для описания отношений наследования, семантических сетей	1980
Языки описания правил для Web		
RuleML (Rule Markup Language)	Язык разметки для описания правил. С помощью данного языка можно публиковать и обмениваться правилами, созданными в рамках разных систем и задач. Ядром RuleML является XML-вариант языка Datalog, который позволяет записать факты и правила в форме продукций	2001, 2017 (текущая версия)
SWRL (Semantic Web Rule Language)	Язык, созданный для организации логического вывода на OWL-онтологии. Основан на объединении OWL и RuleML, то есть объединены онтологии OWL-DL и правила. Работа осуществляется с хорновскими дизъюнктами	2004 (статус рекомендации)
RIF (Rule Interchange Format)	Стандартный формат для обеспечения взаимодействия между системами, основанными на правилах	2010 (статус рекомендации)

Таблица А.20 – Краткий обзор языков запросов к онтологиям

Язык	Описание	Год создания
SPARQL (SPARQL Protocol and RDF Query Language)	Язык запросов к RDF-данным и протокол связи с RDF-хранилищами, аналог языка SQL для реляционных баз данных. SPARQL-запрос представляет собой набор графовых шаблонов, с которыми сравниваются имеющиеся RDF-данные	2008 (статус рекомендации)
SQWRL (Semantic Query-Enhanced Web Rule Language)	Язык запросов на основе SWRL, который предоставляет SQL-подобные операторы для извлечения информации из онтологий OWL	2009
Логические запросы (DL Query)	Запрос обычно направлен на получение сущностей, которые являются эквивалентными классами, и/или подклассами, и/или экземплярами анонимного класса, заданного в запросе некоторым логическим утверждением (class expression). Логические запросы выполняются машинами вывода (reasoning engine) и позволяют получать ответы, основанные на выводимой из всего множества аксиом онтологии информации	2004 (часть OWL)

Таблица А.21 – Средства и инструменты интеграции данных и онтологий

Язык или рекомендация	Описание	Год
DR2 MAP	Языки описания отображения (данных в онтологию)	2003
R2O		2004
DR2Q		2012
Рекомендация W3C RDB2RDF. Прямое отображение реляционных данных в RDF (A Direct Mapping of Relational Data to RDF)	Регламентирует прямое отображение реляционных баз данных в RDF	2012
Рекомендация W3C RDB2RDF R2RML: RDB to RDF Mapping Language (R2RML: язык отображения RDB в RDF)	Определяет язык описания отображения из реляционной базы данных в RDF, но не выдвигает никаких рекомендаций по реализации R2RML-процессора, поэтому существует ряд R2RML-совместимых инструментов с оригинальными подходами к реализации	2012

Ultrawrap	R2RML-совместимые инструменты	
DB2Triples		

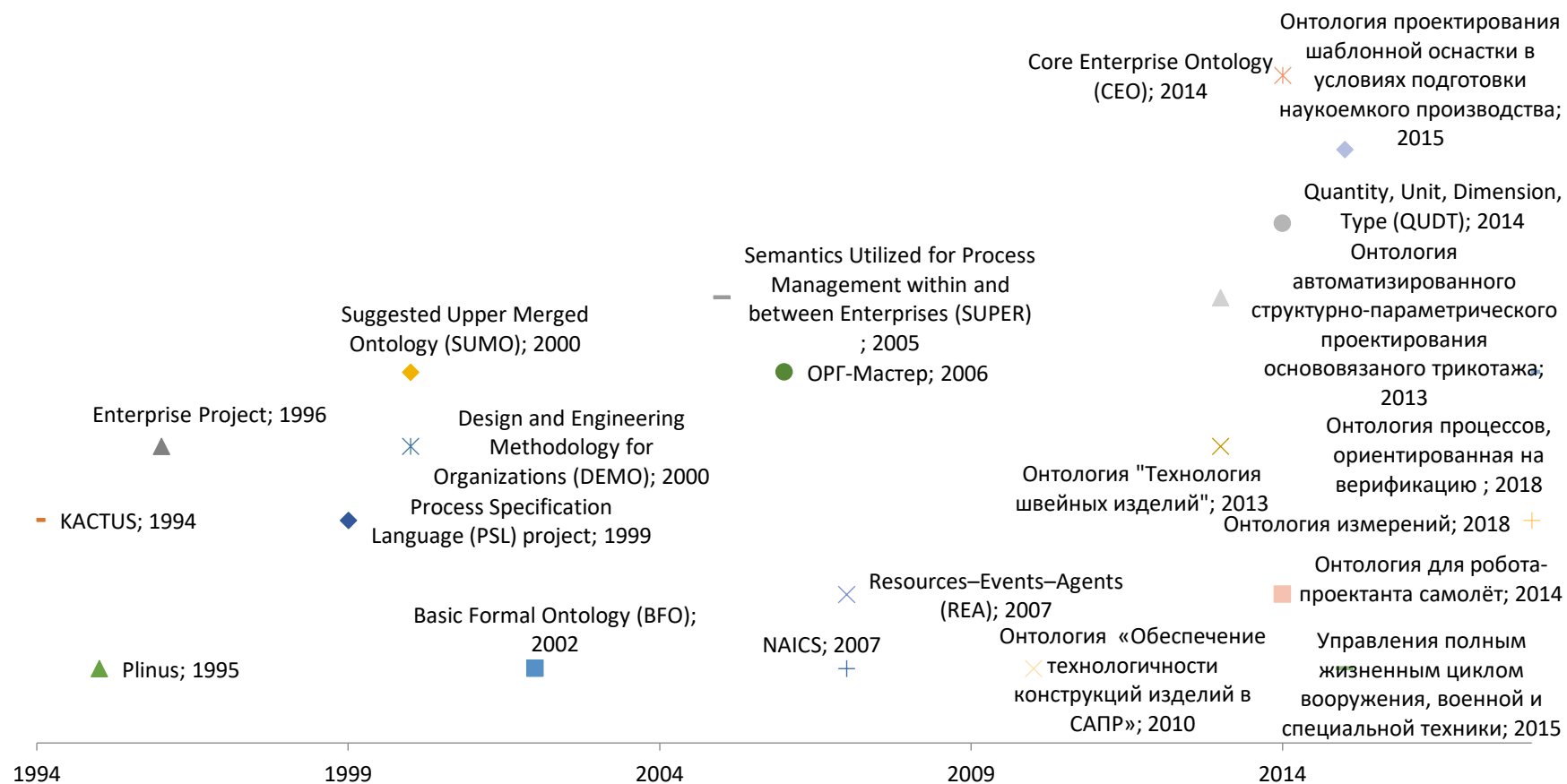


Рисунок А.1 – Хронология появления онтологий, имеющих отношение к предметной области
«Предприятие / Производство / Технологии»

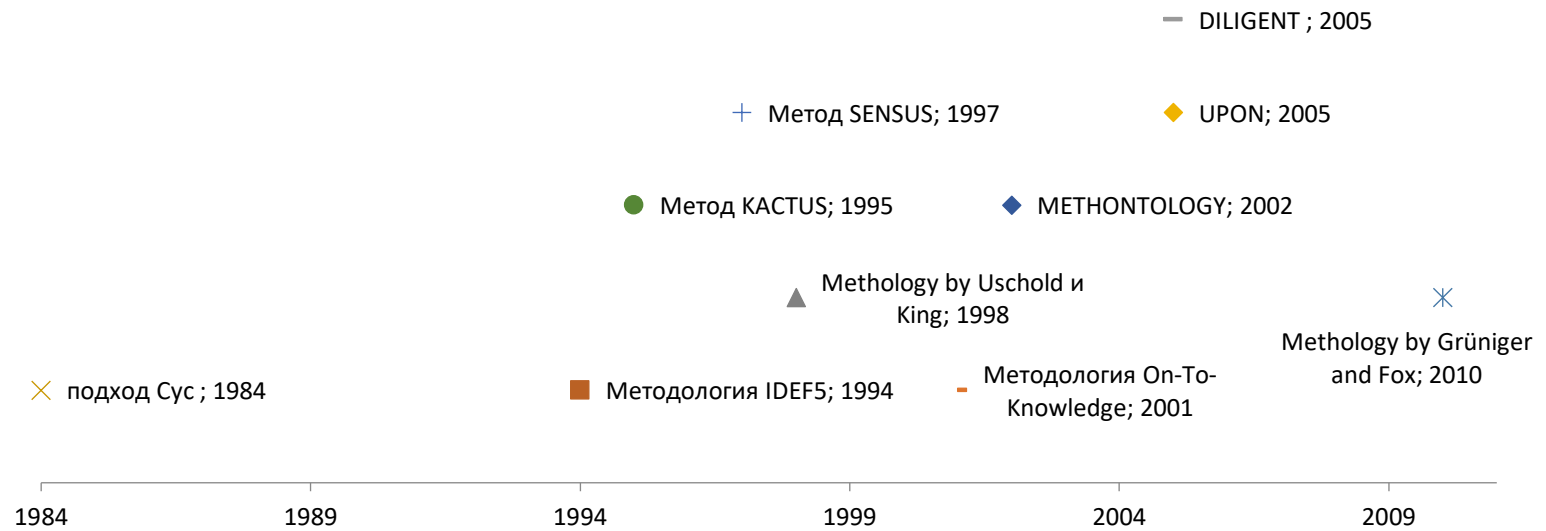


Рисунок А.2 – Хронология появления методологий построения онтологий «с нуля»

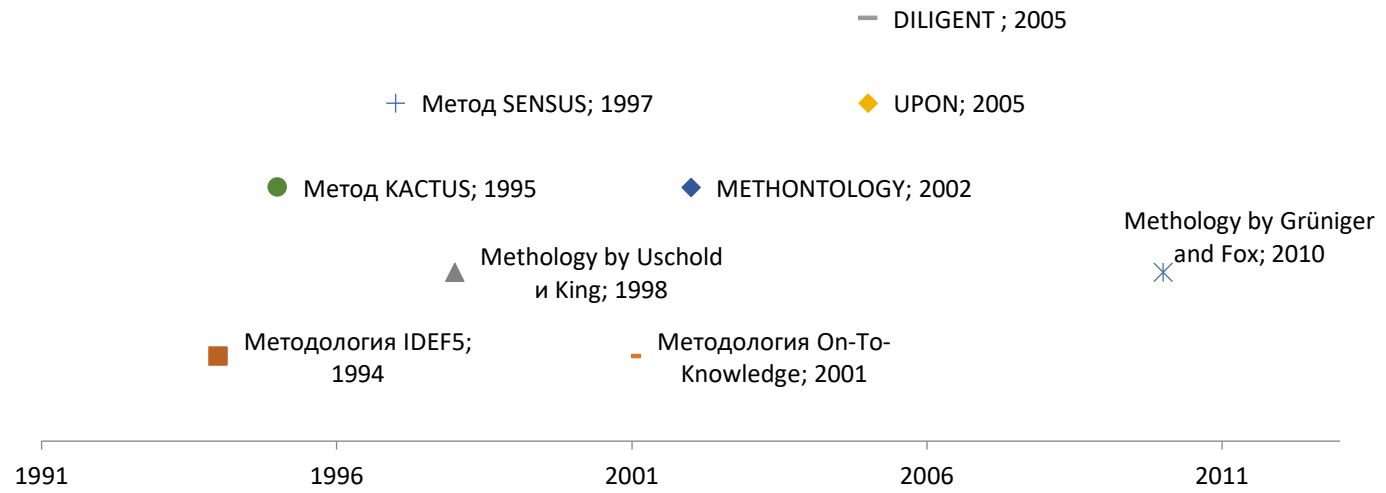


Рисунок А.3 – Хронология появления инструментов разработки онтологий

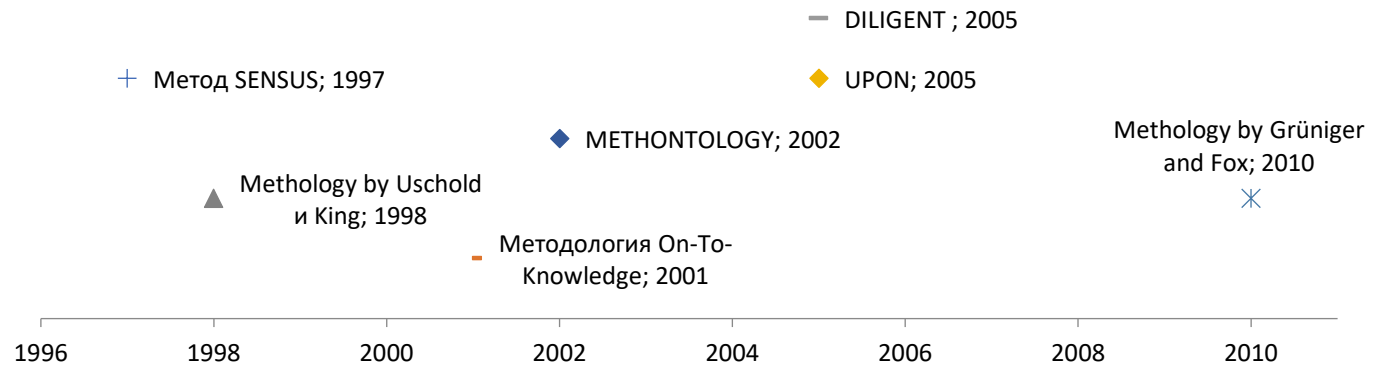


Рисунок А.4 – Хронология создания инструментов коллективной разработки онтологий

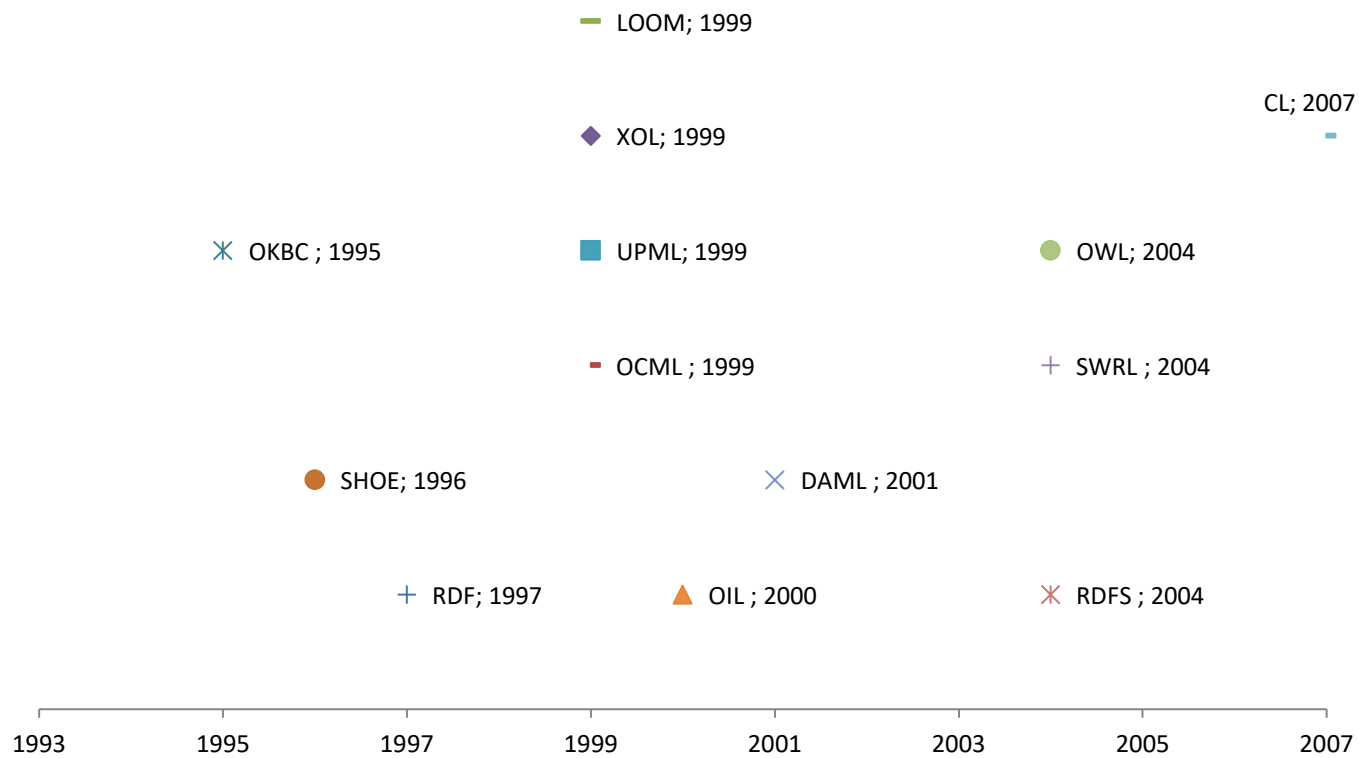


Рисунок А.5 – Хронология появления инструментов объединения онтологий

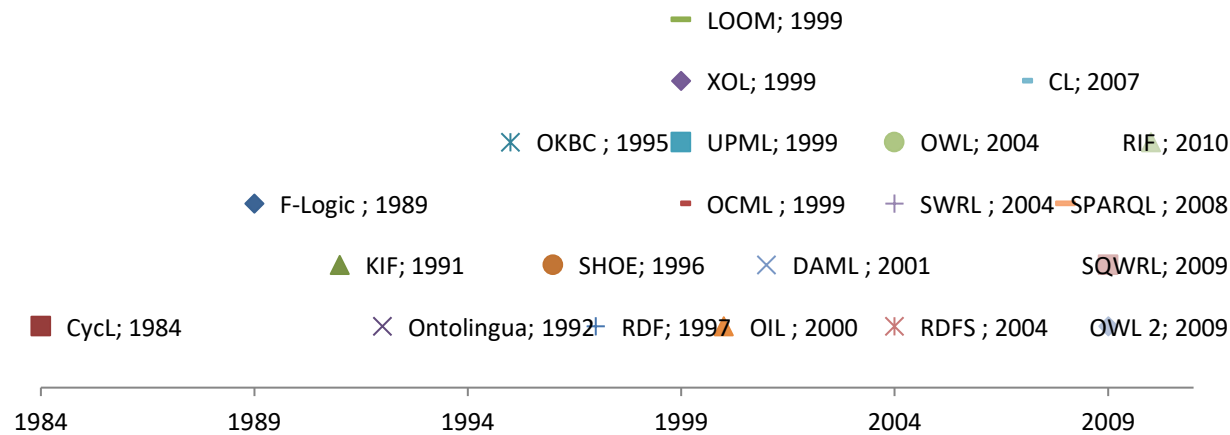


Рисунок А.6 – Хронология появления языков онтологий (дата с начала проектов по разработке или стандартизации)

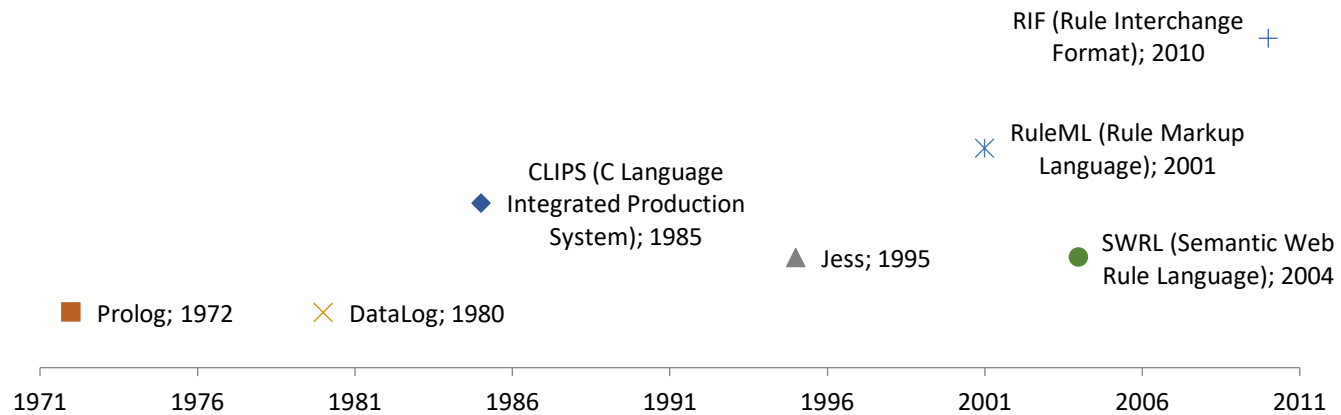


Рисунок А.7 – Хронология создания основных языков описания правил



Рисунок А.8 – Хронология возникновения языков запросов к онтологиям

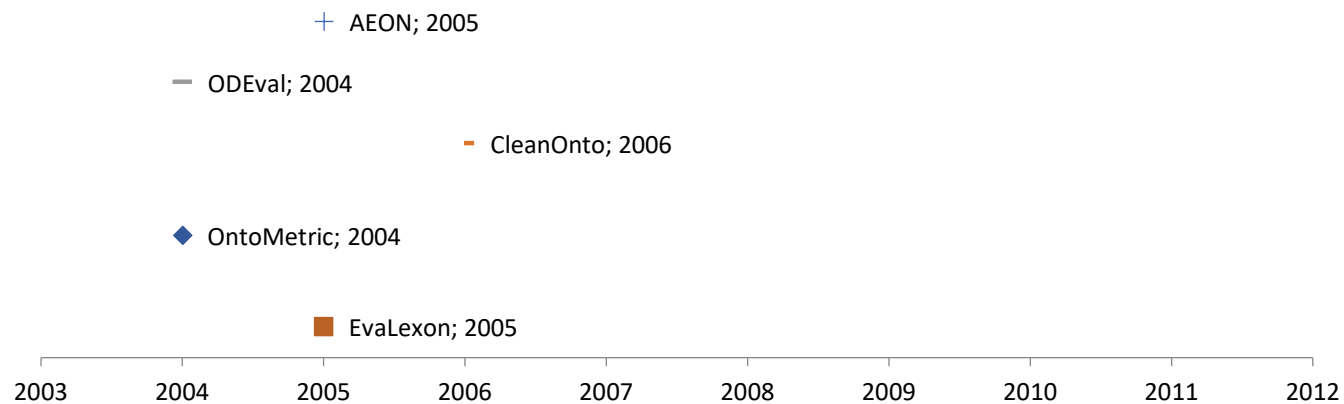


Рисунок А.9 – Хронология возникновения средств интеграции данных и онтологий

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Программа формирования шаблона оснастки

Шаблон=Rabcon&Dob&Per&Dopel&Risk

%раскрытие рабочего контура Rabcon %

Rabcon=P11&P12&P13&SO&NO

%объявление полок рабочего контура P11, P12, P13%

P11=pr(a,d,P1,P2)

P12=pr(a,d,P1,P2)

P13=pr(a,d,P1,P2)

%Объявление отверстий SO, NO%

SO=crl(R,P1,P2)

NO=crl(R,P1,P2)

%раскрытие добавочного материала Dob%

Dob=S&BO

S=pr(a,b,P1,P2)

BO=crl(R,P1,P2)

%объявление перемычек Per%

Per=Per1&Per2&Per3&...&Per6

Per1=seg1&seg2

Per2= seg1&seg2

...

Per6= seg1&seg2

%Раскрытие дополнительных элементов Dopel%

Dopel=Upor1&Upor2&...&Upor6

Upor1=crl(R,P1,P2)

...

Upor6=crl(R,P1,P2)

%Построение рисков Risk%

Risk=Line1&Line2&...Line6

Line1=(P1,P2)

Таблица Б.1 – Библиотека элементов шаблона обрезки и кондуктора (ШОК)

№ п/п	Наименование	Обозначение	Представление	Примечание
1	Rabcon	Рабочий контур	Комплексный элемент	
2	P1	Полка профиля	$pr(a,d,P1,P2)$	Прямоугольник
3	SO	Сборочное отверстие	$crl(R,P1,P2)$	Отверстие Ø8
4	NO	Направляющее отверстие	$crl(R,P1,P2)$	Отверстие Ø6
5	Dob	Добавок	Комплексный элемент	Прямоугольник
6	S	Усиливающий элемент	$pr(a,d,P1,P2)$	Прямоугольник
7	BO	Отверстие БО	$crl(R,P1,P2)$	Отверстие Ø8
8	Per	Перемычка	$Seg(P1,P2)$	10–15 мм
9	Dopel	Дополнительные элементы	Многономенклатурные элементы	
10	Upor	Упор	$crl(R,P1,P2)$	Ø10
11	Risk	Риска	$Line=(P1,P2)$	
12	a	Длина	const	мм
13	b	Ширина	const	мм
14	R	Радиус	const	мм
15	P1	Точка	(x,y)	
16	P2	Точка	(x,y)	

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1 – Формальное представление словарей онтологии

Модель онтологии		Примечание
Словарь «Шаблонная оснастка»		
	Раздел ШОК	
	ШОК с 1 полкой	Понятие
	ШОК с 2 полками	Понятие
	ШОК с 3 полками	Понятие

	ШОК с 3 полками и отв. СО и НО	Понятие
	Раздел ШР	
	Шаблон без отв.	Понятие
	Шаблон с отв. НО	Понятие

	Шаблон с отв. СО и НО	Понятие
	Раздел ШЗ	
	Плоская деталь	Понятие
	Глухой рифт	Понятие

	Рабочая оснастка	(Атрибуты)
	Контрольная оснастка	(Атрибуты)
	Цельный / составной	(Атрибуты)
	Рабочий контур	(Атрибуты)
	Добавок	(Атрибуты)
	Раздел ПРОЕКТИРОВАНИЕ	
	Инженер-конструктор	
	Процесс проектирования	
	ЭМ ШО	
	CAD-система	
	Онтология	
	WIQA	
Словарь «Изготовление»		
	Раздел ДЕТАЛИ	
	Профиль уголкового	Понятие
	Профиль тавровый	Понятие
	Профиль двутавровый	Понятие
	Профиль швеллерный	Понятие
	Профиль Z-образный	Понятие
	Лист плоский	Понятие
	Лист с глухой отбортовкой	Понятие

Модель онтологии		Примечание
	Лист с N бортами	Понятие
	Лист на вытяжку	Понятие
	Лист гнутый	Понятие
	Лист смешанного типа	Понятие
	Лист с замкнутым контуром	Понятие
	Раздел ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШАБЛОНОВ	
	Станок с ЧПУ	Понятие
	Оператор станка с ЧПУ	Понятие
	Программа УП ШО	Понятие
	Слесарь ПШЦ	Понятие
	Слесарный инструмент	Понятие
	Ударный штамп	Понятие
	Струбцина	Понятие
	Рабочий стол слесаря ПШЦ	Понятие
	Плаз-кондуктор	Понятие
	Бирка	Понятие
	Раздел ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ	
	Слесарь цеха-изготовителя	Понятие
	Рабочее место слесаря	Понятие
	Гильотинные ножницы	Понятие
	Кондукторные втулки	Понятие
	Прижимы	Понятие
	Вставки	Понятие
	Накладки	Понятие
	НПО	Понятие
	Дрель	Понятие
	Вскрытие отверстий	Понятие
	Станок с эластичной средой	Понятие
	Раздел ОБЪЕМНАЯ ОСНАСТКА	
	ФРМБ	Понятие
	КДП	Понятие
	Болванка	Понятие
	ОППГР	Понятие
	ОП	Понятие
	ОГ	Понятие
	Увязка заготовки	Понятие
	Заготовка	Понятие
Словарь «Контроль»		
	Контролер БТК	Понятие
	Контроль	Понятие
	Контрольная линейка	Понятие
	Штангенциркуль	Понятие

Модель онтологии		Примечание
	Эталон	Понятие
	Болванка	Понятие
	КИМ	Понятие
	Программа КИМ	Понятие
	Шпилька	Понятие
	Фиксация	Понятие
	Плаз-кондуктор	Понятие
	Шаблон	Понятие
	Склад ПШО	Понятие
	Оператор КИМ	Понятие
Словарь «Нормативно-технологическое сопровождение»		
	СТП на проектирование ПШО	Понятие
	ТИ на проектирование ШКС на УКС	Понятие
	Технологический процесс	Понятие
	РТК	Понятие
	ВПШО	Понятие
	Эскиз	Понятие
	ТИ по эксплуатации и хранению УП на ЧПУ	Понятие
	ИОТ	Понятие
	СТП на доработку оснастки	Понятие
	ЭМД	Понятие
	Инженер-технолог	Понятие

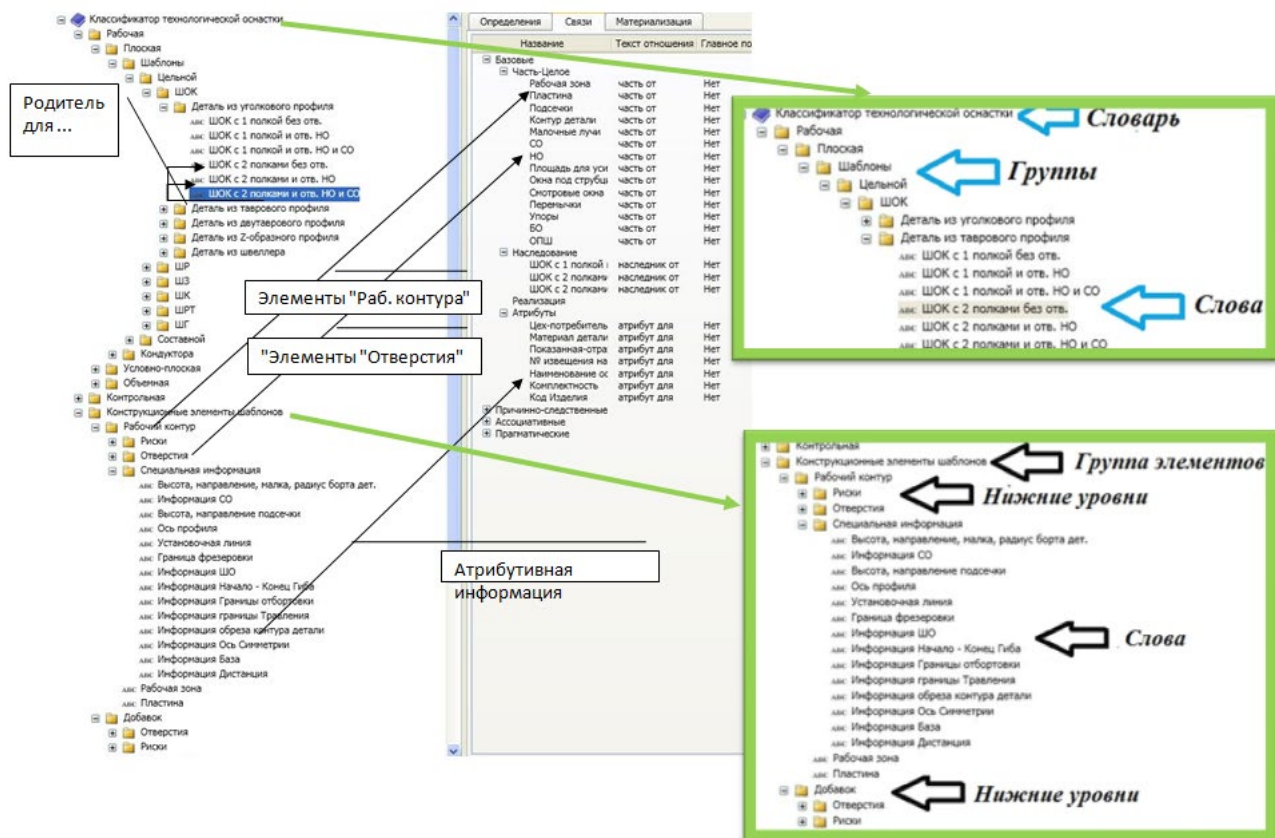


Рисунок В.1 – Представление прецедента ШОК в WIQA

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Акты внедрения

АКТ

о внедрении (использовании) результатов исследования

Ларина Сергея Николаевича

об инструментарии из методологии управления в организационно-технических системах технологической подготовки производств на основе онтологического подхода в образовательный процесс Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный университет»

Результаты диссертационного исследования Ларина С. Н. использованы в деятельности Факультета математики, информационных и авиационных технологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный университет» при формировании и реализации образовательных программ, а именно:

- методология согласованного взаимодействия подразделений в процессе технологической подготовки производства, ориентированная на повышение качества технологических процессов;
- комплекс математических моделей выбора организационно-технических решений и система показателей качества технологических процессов;
- онтологический подход к представлению знаний в системах технологической подготовки наукоёмких производств и метод формирования баз знаний.

Использование указанных результатов позволило скорректировать и дополнить программы подготовки обучающихся Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный университет» по направлению 27.03.02 «Управление качеством», а также применяются при выполнении выпускных квалификационных работ и магистерских диссертаций.

Проректор по научной работе Фомин А.Н.
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
университет», к.т.н.

Фомин А.Н. / Фомин /



**Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов»
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»
Ульяновский научно-технологический центр ВИАМ – НИЦ
«Курчатовский институт» (УНТЦ ВИАМ – НИЦ «Курчатовский институту»)**

СПРАВКА

**О ВНЕДРЕНИИ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ПРАКТИКУ ВСЕРОССИЙСКОГО НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ –
НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КУРЧАТОВСКИЙ
ИНСТИТУТ**

В Ульяновском научно-технологическом центре «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» – Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт» последовательно реализуется комплексная программа по повышению эффективности технологической подготовки производства (ТПП) и качества выпускаемой продукции.

Настоящей справкой подтверждается, что в рамках реализации указанной программы соискателем учёной степени доктора технических наук Лариным Сергеем Николаевичем были разработаны и внедрены в устойчивую производственную практику результаты диссертационного исследования на тему «Методология управления в организационно-технических системах технологической подготовки производств на основе онтологического подхода».

Лариным С. Н. предложены и внедрены в практику УНТЦ ВИАМ - НИЦ «Курчатовский институт»: гибкая информационная организационно-техническая система технологической подготовки производства (ГИС ОТС ТПП); комплекс математических моделей согласованного взаимодействия конструкторских, технологических, производственных и информационных служб по критерию уменьшения энтропии информации; онтологический подход к проектированию шаблонной и объёмной технологической оснастки авиационного производства с применением онтологических словарей, интерактивной системы классификации оснастки, средств трёхмерной визуализации и семантического релевантного поиска проектных решений.

Применение разработанных технических решений обеспечило снижение трудоёмкости проектирования шаблонной оснастки в среднем на 20 %, снижение материалоемкости изготовления оснастки на 25 % (в отдельных случаях – до 100 %),

сокращение длительности переналадок оборудования до 40 % и повышение эффективности работы и загрузки производственной системы до 30 %. Применение разработанных решений обеспечивает получение экономического эффекта в размере 1,7 млн. руб. в год, начиная с 2022 г., за счёт снижения трудоёмкости и материалоёмкости технологической подготовки производства.

Начальник филиала УНТЦ ВИАМ - НИЦ
«Курчатовский институт»,
доктор технических наук



/ Е.А. Вешкин /