

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

На правах рукописи



ПАЙ СО

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ
ПОДДЕРЖКИ АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика
(технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Волкова Галина Дмитриевна

Москва – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений	6
Введение	8
Глава 1 Исследование особенностей становления промышленности в Республике Союз Мьянма и анализ существующих методов и инструментальных средств анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем.....	13
1.1 Исследование особенностей и проблематики становления промышленности в Республике Союз Мьянма	13
1.2 Исследование особенностей анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем.....	19
1.3 Исследование существующих методов анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем	22
1.3.1 Общая характеристика анализа	22
1.3.2 Исследование методов моделирования деятельности предприятий	23
1.3.3 Характеристика ARIS - методологии.....	26
1.3.4 Характеристика методов на базе SADT–методологии в рамках структурного подхода.....	28
1.3.5 Методы когнитивного подхода	30
1.3.6 Сравнительный анализ методов моделирования деятельности	32
1.4 Исследование особенностей моделирования процессов в проектной деятельности	34
1.4.1 Общие положения	34
1.4.2 Характеристика системной методологии проектной деятельности	35
1.4.3 Характеристика методологии концептуального проектирования сложных технических систем.....	36
1.4.4 Характеристика методологии проектирования с помощью каталогов	38
1.4.5 Характеристика методологии проектирования Половинкина А.И.....	39
1.4.6 Характеристика методологии проектирования по Альтшуллеру Г.С.....	40
1.4.7 Сравнительный анализ методов и методологий в проектной деятельности	41

1.5 Анализ существующих инструментальных средств анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем.....	43
1.5.1 Общая характеристика средств моделирования.....	43
1.5.2 Инструментальные средства на базе IDEF- технологий	44
1.5.3 Характеристика системы ARIS Express.....	45
1.5.4 Характеристика средств моделирования по методологии автоматизации интеллектуального труда	47
1.5.5 Сравнительный анализ средств моделирования.....	49
1.6 Выводы по главе.....	52
Глава 2 Разработка метода анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем.....	53
2.1 Характеристика особенностей процесса анализа и моделирования проектных и производственных систем/процессов и разработка требований к методу.....	53
2.2 Разработка формального аппарата метода анализа и моделирования процессов жизненного цикла на основе системного подхода	54
2.2.1 Общие положения.....	54
2.2.2 Разработка формального описания процессов в рамках жизненного цикла технических систем (российская практика).....	58
2.2.3 Разработка формального описания процессов в рамках жизненного цикла технических систем (немецкая практика)	65
2.3 Разработка формального описания моделей проектных решений с учетом уровней абстракции технических систем	76
2.3.1 Классификация моделей	76
2.3.2 Разработка формального описания моделей проектных решений с учетом уровней абстракции технических систем по немецкой практике	77
2.3.3 Формальное описание моделей проектных решений с учетом уровней абстракции технических систем по российской практике.	82
2.4 Метод концептуального моделирования для описания процессов в рамках жизненного цикла технических систем	85
2.4.1 Общие положения.....	85
2.4.2 Особенности применения метода концептуального моделирования к процессам жизненного цикла технических систем (российская практика)	88

2.4.3 Особенности применения метода концептуального моделирования к процессам жизненного цикла технических систем (немецкая практика).....	92
2.4.4 Увязка процессов жизненного цикла технических систем с процессами управления ими	95
2.5 Выводы по главе	96
Глава 3 Разработка концептуальных моделей процессов жизненного цикла технических систем.....	97
3.1 Особенности методики концептуального моделирования предметной задачи.....	97
3.2 Разработка концептуального представления задач по методологии проектирования с помощью каталогов (немецкая практика).....	99
3.2.1 Особенности методологии проектирования с помощью каталогов, учитываемые при семантическом моделировании	99
3.2.2 Разработка динамической структуры модели	101
3.2.3 Разработка статической структуры модели	124
3.2.4 Разработка концептуальной модел в целом.....	128
3.3 Разработка концептуального представления задач проектной деятельности (российская практика).....	134
3.3.1 Особенности проектной деятельности в российской практике, учитываемые при семантическом моделировании	134
3.3.2 Разработка динамической структуры модели.	135
3.3.3 Разработка статической структуры модели.....	147
3.3.4 Разработка концептуальной модели в целом	154
3.4 Выводы по главе	166
Глава 4 Разработка инструментальных средств поддержки процессов моделирования и анализа технических систем.....	167
4.1 Общее описание инструментальных средств.....	167
4.2 Инструкция по эксплуатации инструментальных средств.....	171
4.3 Выводы по главе.....	185
Заключение.....	186
Список литературы.....	188
Приложение 1 Фрагмент спецификаций для концептуальных структур проектной деятельности по методологии Рота	200

Приложение 2 Фрагмент спецификаций для концептуальных структур проектной деятельности по российской практике.....	205
Приложение 3 Справки об использовании результатов диссертационного исследования	210

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АС	– автоматизированная система
ТС	– техническая система
МАИТ	– методология автоматизации интеллектуального труда
ИПИ	– информационная поддержка процессов жизненного цикла изделий (CALS) (continuous acquisition and life cycle support)
ЦД	– цифровой двойник
ЖЦ	– жизненный цикл
SADT	–структурный анализ и проектирование (Structures Analysis and Design Technique)
DFD	– диаграмма потоков данных (data flow diagram)
СТС	– сложные технические системы
ФЭ	– физические эффекты
ФПД	– физический принцип действия
ТРИЗ	– теория решения изобретательских задач
ОС	– opportunity cost (альтернативные издержки)
ФС	– функционально-логическая структура
КТР	– конструкторско-технологическое решение
КМ	– концептуальная модель
ПК	– предметная категория
ОКС	– основная концептуальная структура
СПЗ-1/СО-1	– система предметных зависимостей 1-го рода/ система ограничений 1-го рода
ЕСКД	– единая система конструкторской документации
ЕСТД	– единая система технологической документации
МП	– модельное представление
МПО	– модельное представление объекта
Ф-П	– функциональное положение
СТ	– список требований
ТВ	– текущая версия
Ф-АФС	– абстрактная функциональная структура функциональной фазы
Ф-ВФС	–векторная функциональная структура функциональной фазы

Ф-ГФС	–геометрическая функциональная структура функциональной фазы
Ф-АДП	–абстрактная диаграмма потоков функциональной фазы
Ф-ДП-IQ	–диаграмма потоков с IQ величинами функциональной фазы
Ф-ПС	–принципиальная схема функциональной фазы
МПИ	– модельное представление изделия
МПО-П	– модельное представление объекта для проекта
МПО-Ф	– модельное представление объекта для фазы
МПО-Э	– модельное представление объекта на этапе
ПЗ	– предметная зависимость
ОКР	– опытно-конструкторская работа
КД	– конструкторская документация
ТРП	– техно-рабочее проектирование
СЕ	– сборочная единица
Ч	– часть изделия
Кс	– комплекс
ПР	– проектное решение
К	– компонент
Д	– деталь
И	– изделие
СЦ	– счетчик цикла
АИ	– аргумент итерации
ФИ	– функция итерации
ФЦ	– функция цикла
ФП	– функция последовательности
КПР	– критерий прогрессивного развития
ОТ	– объект труда
КПД	– коэффициент полезного действия
ОФ	– основная функция
СМФиС	– закон соответствия между функцией и структурой
ПЭ	– закон прогрессивной эволюции ТС
ПДпМР	– проектная деятельность по методологии Рота
ПДпРП	– проектная деятельность по российской практике

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Республика Союз Мьянма проводит индустриализацию экономики с целью уменьшения зависимости от зарубежных поставщиков техники, которая необходима стране в различных отраслях. Развитие этих отраслей и областей деятельности невозможно без использования современных информационных технологий. Нехватка квалифицированных специалистов, которые могут проектировать сложные технические системы и создавать новые конкурентоспособные технические продукты, является серьезным препятствием для промышленного развития страны. Особую роль при создании, приобретении и внедрении технических систем (ТС) играет процесс анализа и моделирования производственных систем/процессов.

Существующие методы анализа и моделирования процессов жизненного цикла ТС ориентированы, в основном, на неформальное их описание. Это обуславливает большую трудоемкость и затраты при реализации процессов жизненного цикла ТС. Для рациональной организации жизненного цикла ТС требуется не только моделирование всех его процессов, но и учет всевозможных связей и ограничений, существующих между этими процессами. В промышленности Мьянмы пока недостаточно развиты исследования, связанные с изучением всего жизненного цикла ТС. Это, в свою очередь, затрудняет саморазвитие страны в условиях рыночной экономики.

Современные предприятия постоянно стремятся к улучшению своей деятельности. Для этого необходимо использовать новые технологии ведения бизнеса, средства повышения качества конечных результатов деятельности и, конечно, методы организации деятельности предприятий. Республика Союз Мьянма может использовать накопленный в этой области опыт зарубежных стран. Для решения проблем становления и развития промышленности республики, актуальным является исследование процессов жизненного цикла, анализ их структуры и составляющих, критериев их эффективности и надежности и др.

Степень разработанности темы. В. Хубка впервые предложил теорию ТС, систематизировал и обобщил информацию по ТС. Исследованиями в области моделирования ЖЦ ТС занимались отечественные специалисты: Судов Е.В.,

Шустов С.А., Колчин А.Ф., Соломенцев Ю.М., Яблочников Е.И., Романовская В.Е., Гурьев А.Т., Каменнова М.С., Калянов Г.Н. и др., так и зарубежные Mikel A., Fei T., Шеер, А.-В. и др.

Изучение существующих подходов к моделированию процессов ЖЦ ТС выявило наличие проблем, связанных с отсутствием описания взаимосвязей этих процессов.

Выявленные проблемы, связанные с особенностями описания процессов ЖЦ ТС, определили необходимость разработки метода моделирования рассматриваемых процессов с целью повышения их эффективности. Это позволило сформулировать цель работы и поставить научную задачу.

Целью настоящей работы является повышение эффективности производственных и проектных процессов технических систем за счет разработки метода анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем, обеспечивающего эффективную организацию этих процессов и подготовку кадров для промышленности.

Для достижения поставленной цели в работе были поставлена и решена **научная задача**, включающая:

- исследование особенностей и проблематики становления промышленности в Республике Союз Мьянма;
- анализ существующих методов и инструментальных средств поддержки анализа и моделирования процессов ЖЦ ТС;
- разработку метода анализа и моделирования процессов в рамках ЖЦ ТС, позволяющего формально описывать эти процессы на основе системного подхода;
- разработку формального описания моделей проектных решений с учетом уровней абстракции технических систем по российской и немецкой практикам;
- разработку концептуального представления задач проектной деятельности по немецкой и российской практикам;
- разработку инструментальных средств поддержки процессов анализа и моделирования технических систем.

Объектом исследования являются процессы жизненного цикла технических систем.

Предметом исследования является моделирование и описание процессов в жизненном цикле технических систем и их взаимосвязи.

Научная новизна заключается в следующем:

- установлены взаимосвязи между характеристиками процессов жизненного цикла технических систем;
- разработан метод анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем как обобщение российской и немецкой практик на основе системного подхода;
- разработаны формальные описания взаимосвязей процессов жизненного цикла на основе проектных решений с учетом уровней абстракции технических систем;
- разработаны концептуальные представления задач проектной деятельности по российской и немецкой практике.

Теоретическая значимость. Разработанный метод может быть использован для дальнейшего развития теоретических основ моделирования производственных, проектных и управленческих процессов технических систем.

Практическая значимость. Разработано методическое обеспечение моделирования процессов ЖЦ ТС, а также разработаны программные средства поддержки анализа и моделирования технических систем.

Инструментальные средства поддержки анализа и моделирования технических систем были использованы в учебном процессе в рамках подготовки специалистов по направлению «Информатика и вычислительная техника» (при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Концептуальное проектирование техники и технологии» у студентов 4-го курса).

Методы исследования. Для решения поставленных задач в работе использован аппарат теории множеств, теории систем, теории баз данных, методологических основ проектной деятельности, законов и закономерностей техники.

Соответствие паспорту специальности. Указанная область исследования соответствует паспорту специальности 2.3.1 – «Системы анализ, управление и обработка информации, статистика» (технические науки), а именно: п. 5 – «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения

систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»; п. 8 – «Теоретико-множественный и теоретико-информационный анализ сложных систем»; п. 10 – «Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах».

Положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся:

1. Результаты исследования методов и инструментальных средств поддержки анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем.
2. Метод анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем.
3. Разработанные концептуальные представления задач проектной деятельности по российской и немецкой практикам.
4. Разработанные методические и инструментальные средства поддержки анализа и моделирования технических систем.

Степень достоверности результатов. Достоверность научных результатов диссертационной работы обеспечена обстоятельным сравнительным анализом предшествующих научных разработок по исследуемой проблематике и преемственностью основных положений, сформулированных автором. Эффективность результатов исследования подтверждена её практическим применением в учебном процессе кафедры «Информационные технологии и вычислительные системы» МГТУ «СТАНКИН» при подготовке специалистов по направлению «Информатика и вычислительная техника» по дисциплине «Концептуальное проектирование техники и технологии».

Апробация работы. Результаты работы докладывались на международной научно-практической конференции «Научные аспекты современных исследований», Новосибирск, 2017; на международной научно-практической конференции «Современная наука: инновации, проекты, инвестиции», Уфа, 2017; на 37-й международной научно-практической конференции «World science: Problems and Innovations», Пенза, 2019; на 26-й международной научно-практической телеконференции «Российская наука в современном мире»; на научно-техническом журнале «Информационные технологии в проектировании и производстве», Москва, 2022 и обсуждались на заседаниях кафедры

«Информационные технологии и вычислительные системы» ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН». Результаты использованы в рамках выполнения проекта № 17-29-07056 «Разработка моделей и методов представления и обработки проблемно-ориентированных знаний, извлекаемых из научно-технических текстов и конструкторско-технологической документации» по гранту РФФИ (2018–2020 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 статей, из них 2 статьи в журналах из перечня, рекомендованного ВАК для публикации результатов работ на соискание ученой степени, 2 статьи в международных изданиях, индексируемых в базе данных Scopus.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы (109 наименований) и 3 приложений. Работа содержит 211 страниц сквозной нумерации, включая 116 рисунков, 20 таблиц и 12 страниц приложений.

ГЛАВА 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СТАНОВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ СОЮЗ МЬЯНМА И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1.1 Исследование особенностей и проблематики становления промышленности в Республике Союз Мьянма

Главной продукцией, выпускаемой Республикой Мьянма, является продукция сельскохозяйственной отрасли. Для повышения эффективности экономики страны на основе сельскохозяйственного сектора были введены в действие такие отрасли, как пищевая и легкая промышленности, производство бытовой техники.

До 1952 года в республике промышленность входила в состав укрупненных отраслей и регулировалась объединенным министерством. С целью становления и развития промышленности в 1952 году создано отдельное министерство промышленности. В настоящее время в рамках министерства промышленности было сформировано три крупных промышленных предприятия и одно предприятие медицинской промышленности.

Политика министерства промышленности республики Мьянма направлена на [1]:

- обеспечение параллельного развития сельскохозяйственного производства и машиностроения;
- обеспечение широкого развития сельскохозяйственного производства и переработки его продукции для производства продуктов;
- развитие крупных промышленных предприятий и поддержка предприятий малого и среднего бизнеса с целью уменьшения импорта и повышения экспорта продуктов;
- обеспечение привлечения технологий, инвестиций и специалистов из других стран для развития государственной промышленности, частного сектора экономики и развития государственно-частного партнерства;

- обеспечение развития областей исследований и подготовки кадров для промышленного производства и сферы обслуживания для повышения качества промышленной продукции и внедрения инновационных технологий;
- обеспечение рационального использования полезных ископаемых и уменьшение негативного воздействия на экологическую обстановку страны действующих и создаваемых промышленных предприятий;
- обеспечение применения возобновляемых источников энергии и повышения эффективности их применения;
- удовлетворение потребности страны в энергоресурсах – нефти, газе и электричестве;
- комплексное планирование развития экономических зон как основы для развития промышленности республики.

Перед Министерством промышленности Республики Союз Мьянма стоят актуальные задачи [1, 2]:

- исследование требований рынка и повышение качества продукции в соответствии с потребностями рыночной экономики для обеспечения эффективности деятельности государственных предприятий;
- контроль выполнения договорных обязательств частными предприятиями в соответствии с правилами договоров;
- обеспечение развития промышленности с применением передовых технологий, в том числе автоматизации;
- формирование многоаспектной поддержки (маркет, технологии, финансовая поддержка) от государственных и международных организаций для малого и среднего бизнеса для обеспечения их устойчивого развития;
- открытие организаций среднего и высшего профессионального образования с целью подготовки кадров для государственных и частных предприятий;
- обеспечение подготовки и переподготовки преподавательских кадров для организаций среднего и высшего профессионального образования с целью улучшения методов обучения и расширения номенклатуры направлений подготовки;

- создание контролирующих органов для проверки квалификации выпускников организаций среднего и высшего профессионального образования на предмет соответствия образовательным стандартам;
- использование энергосберегающих технологий, разработка планов по формированию запасов и хранению энергии, выявление способов применения возобновляемой энергии;
- создание лабораторий по проверке качества химической продукции для импорта и экспорта;
- формирование планов защиты от негативного воздействия на экологию из-за возможных выбросов в химической отрасли;
- поддержка и контроль деятельности промышленных предприятий разных отраслей в соответствии с законодательными актами и стандартами, определенными Министерством промышленности.

Отмечено, что главную роль в промышленном производстве играет добыча и/или приобретение энергетических ресурсов и сырья для машиностроения [2]. В республике большинство проектов по добыче энергоресурсов (нефть и газ) занимают зарубежные предприятия на основе международных договоров.

Кроме добычи энергии из нефти и газа, энергия добывается с помощью гидроэлектростанций. В Республике Союз Мьянма имеется широкая сеть водных ресурсов. Исследования показали, что в 92 регионах имеется возможность построить гидроэлектростанции. В настоящее время действует 30 гидроэлектростанций с установленной мощностью 2256 мегаватт. Еще 33 станции намечены для строительства с суммарной установленной мощностью в 30390 мегаватт, чтобы обеспечить потенциал для дальнейшего развития промышленности.

Выявлено, что для добычи и освоения этих ресурсов собственными силами республике требуются современные технологии и квалифицированные специалисты. В качестве сырья для промышленности в республике добываются различные полезные ископаемые, такие как железные, никелевые и марганцевые руды, каменный уголь, сырье для производства меди, цинка, драгоценных металлов, разрабатываются месторождения драгоценных и поделочных камней.

Для обработки ископаемых ресурсов стране также требуются современное оборудование и технологии. В ведении министерства промышленности находятся

сталелитейные заводы. Но для производства авиационных и наукоемких изделий требуются высококачественные металлы и сплавы, а это, в свою очередь, влечет совершенствование оборудования и технологий для их обработки.

Установлено, что в отрасли информационных технологий пока не налажен выпуск вычислительной техники и дополнительного оборудования. Вся необходимая вычислительная техника для образовательных и государственных учреждений закупается за рубежом. Телекоммуникационное оборудование также покупается из других стран. В республике нет предприятий в отрасли промышленной электроники. Как следствие, государству требуются значительные финансовые средства на приобретение вычислительной техники и телекоммуникационного оборудования.

Исследования показали, что в оборонной промышленности за последние 20 лет постепенно развивалось производство различной военной техники. В настоящее время на предприятиях оборонной промышленности налажено производство военно-морских кораблей средних размеров для защиты протяженной береговой границы страны. На авиационных предприятиях выпускают легкие учебно-тренировочные самолеты для подготовки летного состава гражданской и военной авиации.

С целью ликвидации дефицита инженеров, квалифицированных специалистов и кадров различного уровня в 1996 году было создано Министерство науки и технологий, работающее в тесном сотрудничестве с Министерством образования. В рамках Министерства науки и технологий сформировано более 30 технологических университетов, колледжей и организаций среднего профессионального образования. Кроме этого, для сокращения нехватки специалистов во всех отраслях промышленности были созданы Военная технологическая академия и Военный компьютерно-технологический институт.

В технологических университетах обучают студентов по следующим направлениям: архитектура; технология добычи нефти; химия; технология строительства (транспорт, здания, водные сооружения); электроэнергетика; электроника; электротехника; телекоммуникация; вычислительные системы и информационные технологии; машиностроение; мехатроника; горная техника; биотехнология; металлургия; текстильное производство; производство продуктов

питания; кораблестроение; аэрокосмические системы и приборы; аэрокосмическая авионика.

В настоящее время не во всех университетах все эти направления подготовки реализованы. Для авиакосмической промышленности был создан отдельный университет аэрокосмической инженерии Мьянмы (Myanmar Aerospace Engineering University – MAEU). В MAEU обучают по следующим направлениям подготовки: силовые установки и летательные аппараты, авионика, электрические системы и приборы, инженерия космических систем, топливо и ракетостроение. Кроме технологических университетов, было создано около 25 университетов вычислительных систем и информационных технологий. В них ведется подготовка по следующим направлениям: программная инженерия, информационные системы для бизнеса, инженерия знаний, высокопроизводительные вычислительные системы. В технологических университетах отсутствуют факультеты/кафедры в области подготовки специалистов для автоматизации проектной и производственной деятельности. Это сдерживает рост развития автоматизации производственных процессов в различных отраслях.

По сравнению с Российской Федерацией в Мьянме в настоящее время не осуществляется подготовка по профилям направлений (для более узкой специализации) и не составлен единый перечень направлений подготовки высшего образования. Это приводит к нехватке специалистов с соответствующим уровнем подготовки в узкоспециализированных областях.

В мире бурными темпами растет производство новой высокоэффективной техники и технологий. Для создания изделия, отвечающего требованиям заказчика, необходимо обеспечивать проверку его качества, соответствие регламентам на каждом этапе его жизненного цикла. Стандартизация производственной деятельности осуществляется во многих промышленно развитых странах.

В российской практике система стандартизации имеет многоуровневую структуру: государственные стандарты (сокращенно ГОСТы), международные гармонизированные стандарты (ГОСТ Р) и стандарты и регламенты предприятий (СТП). В Германии тоже широко используется практика стандартизации в промышленности.

В настоящее время в Мьянме не развита система стандартизации технической документации. При производстве техники совместно с международными компаниями пользуются, как правило, стандартами страны-партнера. Поэтому в различных отраслях промышленности Мьянмы используются стандарты разных стран. Отсутствие в стране (Мьянма) единой системы конструкторской и технологической документации создает большое количество проблем на всех фазах жизненного цикла создаваемых изделий.

Анализ состояния промышленности в республике Мьянма показал, что к проблематике ее становления и развития следует отнести:

- нехватку квалифицированных инженерно-технических и рабочих кадров, обеспечивающих разработку, производство, эксплуатацию и утилизацию промышленной продукции различного назначения, что сдерживает темпы развития промышленности в целом;

- отсутствие научно-методических основ формирования образовательных траекторий, учебных планов и программ не позволяет наращивать спектр образовательных технологий для подготовки кадров высшего и среднего профессионального образования для различных отраслей промышленности;

- отсутствие единой системы стандартизации конструкторской и технологической документации в промышленном производстве;

- недостаток научно обоснованных рекомендаций по анализу, исследованию и моделированию производственных процессов в различных отраслях промышленности для подготовки предприятий и организаций к автоматизации и информатизации проектных, производственных и управленческих процессов, к широкому внедрению автоматизированных систем различного назначения.

1.2 Исследование особенностей анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем

Способность отдельных предприятий быстрее адаптироваться к динамичному рынку, выпуск новых продуктов и услуг раньше конкурентов становится определяющим фактором в жесткой конкурентной борьбе. В деятельности современных предприятий ведущих промышленно развитых стран наблюдается сдвиг от производства продукции к сфере предоставления услуг [3, 4, 5].

Как показал международный опыт, в эпоху производства, ориентированного на потребности индивидуального клиента, цель деятельности промышленных предприятий в различных отраслях заключалась в удовлетворении запросов заказчика за счет своевременного изготовления и/или поставки требуемой высококачественной продукции. При этом понятие качества становилось более субъективным. Оно формировалось в процессе взаимодействия производителя и потребителя, а уровень качества определялся степенью соответствия характеристик продукции тому набору требований, который предъявляет потребитель. А заказчик формулирует свои потребности в виде комплекса требований, которые охватывают многообразие требований для разных фаз жизненного цикла продукции или технических систем.

Одним из главных инструментов совершенствования деятельности промышленных предприятий различных отраслей являются информационные технологии, в том числе технологии непрерывного компьютерного сопровождения и поддержки продукции на всех фазах ее жизненного цикла как средства повышения качества и конкурентоспособности продукции [3–7].

В западной практике такие технологии получили название CALS-технологии. В российской практике такие технологии называют ИПИ-технологии (технологии непрерывной информационной поддержки изделия).

Интеграция информации всех фаз жизненного цикла ТС является фундаментом ИПИ-технологий [3–10]. В рамках ИПИ-технологии суть информационной интеграции стремится к переходу к интегрированной информационной среде, которая охватывает все фазы жизненного цикла ТС без бумажного традиционного документооборота. Нужные информации для

автоматизации в различных этапах жизненного цикла сохраняются в интегрированной среде в виде формализованных информационных моделей [6–10].

Дальнейшее развитие информационной поддержки изделия привело к новой концепции – концепции цифровых двойников (ЦД) изделий и их использования на всех фазах жизненного цикла [10–15]. Цифровой двойник представляет собой виртуальную копию реального объекта, которая ведет себя так же, как и реальный объект. Существующие средства для управления жизненным циклом технической системы обеспечивают создание полноценной цифровой платформы, которая полностью поддерживает концепцию цифровых двойников на всех фазах, что позволяет реалистично моделировать не только сами изделия, но и процессы их изготовления, сборки, эксплуатации, обслуживания и т. д. [15–18].

Исходя из выявленных тенденций в области автоматизации производственных и управленческих процессов в промышленности, необходимо отметить особую потребность в анализе и моделировании этих процессов в рамках жизненного цикла продукции с учетом системного подхода [19–26].

Под жизненным циклом машиностроительного изделия понимают совокупность фаз или последовательный ряд состояний, которые проходит в своем развитии это изделие от зарождения идеи до его утилизации [27].

При распределении труда на основе промышленного способа возникает потребность увязывать и согласовывать результаты с другими процессами жизненного цикла технической системы. Процессы увязываются в виде материальных, энергетических и информационных потоков. Эти потоки образуют структуру связей процессов промышленности [27]. Так как процесс проектирования играет важную роль среди процессов жизненного цикла технической системы, системный подход наиболее целесообразен для выявления его особенностей. Условно информационные связи фаз жизненного цикла в соответствии с российской практикой можно представить, как показано на рис. 1.1 [27].

Следует отметить, что производственная деятельность регламентируется в российской практике. Кроме того, к особенностям российской практики следует отнести: наличие общего порядка постановки изделий на производство; наличие функциональной специализации объектов разработки; спиралевидный процесс

разработки; порядок согласования проектных решений по технической системе на отдельных стадиях проектирования с заказчиком изделия [27].

В немецкой практике промышленного производства выделяют следующие укрупненные фазы жизненного цикла [28]: производство, распределение, применение, возобновление. При этом следует отметить, что фаза производства включает процессы: проектирование, подготовка производства, изготовление изделия, сборка изделия. Фаза распределения включает процессы транспортировки, хранения и сбыта. На фазе применения рассматривают рабочее состояние технической системы и ее простой (техническое обслуживание и ремонт). Фаза возобновления включает процессы завершения жизненного цикла и рециклинга. В немецкой практике также особое место занимает система регламентации объектов и процессов на общегосударственном уровне (система DIN).

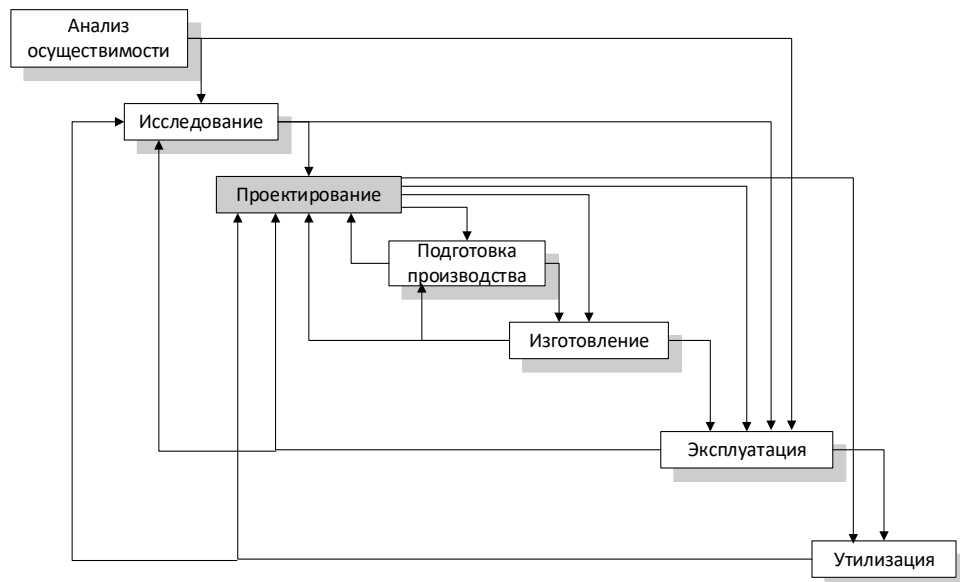


Рис. 1.1. Информационные связи процессов жизненного цикла технических систем [27]

Показатели изделия закладываются уже на ранних этапах его проектирования. В ходе работ над проектом всю информацию от остальных этапов объединяют вместе, поэтому проектирование – самый сложный вид интеллектуальной деятельности при создании различных изделий. При установлении информационных связей между процессами ЖЦ целесообразно представлять модель процесса как совокупность операций, входных, выходных данных и условий [109]. Стандартизованные информационные модели поддерживают решения задач в ходе ЖЦ изделия. ИПИ-технология является одним из важных инструментов, который обеспечивает повышение качества процесса проектирования и других процессов ЖЦ изделия.

1.3 Исследование существующих методов анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем

1.3.1 Общая характеристика анализа

Исследование методов анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем обусловлено потребностью в повышении их эффективности за счет автоматизации. Существуют разные подходы к моделированию деятельности предприятий, вовлеченных в реализацию процессов жизненного цикла. Понятие «реинжиниринга» [29–32] обозначает целый класс методик, объединенных общим понятием **процессного подхода**. Процессному подходу противопоставляется **функциональный подход** с его традиционными методиками построения (моделирования) и преобразования производственных и управленческих процессов предприятий.

Эти подходы дополняют друг друга и могут использоваться одновременно. Основное различие между ними – в степени радикальности изменений, на которые направлен каждый подход. По сравнению двух подходов процессный подход требует больше затрат. Целесообразно выбирать подходы к моделированию в зависимости от цели создания модели, точки зрения на деятельность предприятия, степени детализации и способа использования данной модели.

На рисунке 1.2 схематично представлены варианты реализации жизненного цикла ТС в соответствии с этапами промышленного способа создания (ПО – предпроектное обследование, Пр – проектирование, ПП – подготовка производства, И – изготовление, Ф/Э – функционирование/эксплуатация, У – утилизация) и организациями, выполняющими работы на этапах (З – заказчик, Р – разработчик+ изготовитель, П – поставщик).

Анализируются следующие варианты реализации ЖЦ ТС:

- а) покупка готовой ТС, удовлетворяющей определенным требованиям заказчика;
- б) создание ТС собственными силами;
- в) создание ТС на договорной основе;
- г) комбинации по перечислениям а), б), в);
- д) модернизация существующей ТС.

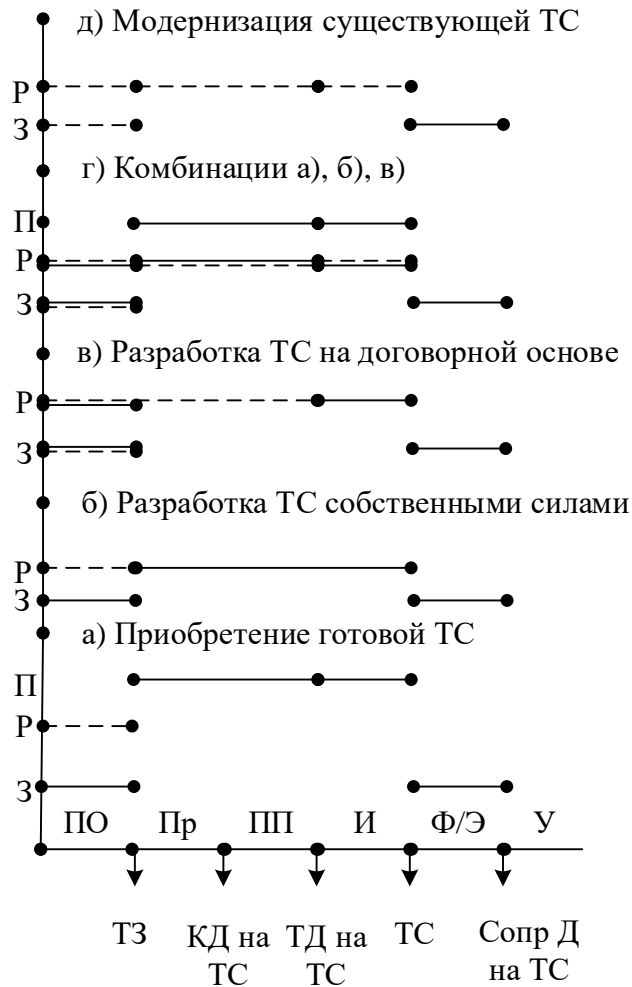


Рис.1.2 Варианты реализации жизненного цикла технических систем в соответствии с промышленным способом их создания и организациями, выполняющими работы по фазам/процессам

1.3.2 Исследование методов моделирования деятельности предприятий

Моделирование деятельности предприятий и процессов жизненного цикла технических систем достаточно сложно. Выбор эффективных способов представления моделей абстрактных концепций – тоже непростая задача [33–38].

Основной задачей в моделировании деятельности предприятий и процессов жизненного цикла является применение системного подхода к их описанию, исследованию и документированию [33–38]. Важно, чтобы при моделировании отдельных направлений деятельности или процессов использовался один и тот же метод и/или подход. Тогда модели могут быть сопряжены друг с другом и согласованы между собой. Модели должны быть понятны всем участникам, задействованным при совершенствовании деятельности предприятия.

Сегодняшним предприятиям промышленности необходимо постоянно совершенствовать свою деятельность. Для этого необходимо выявлять и разрабатывать новые технологии, которые связаны с использованием улучшенных методов повышения производительности и управления деятельностью предприятия [39, 40]. При таком совершенствовании необходимо выявить информацию, относящуюся ко всей деятельности предприятия; как компания кооперируется с внешними поставщиками и с заказчиками; как деятельность управляется в каждом филиале и рабочем пространстве. Современные производственные компании представляют собой сложную систему, и именно поэтому они моделируют свои процессы, чтобы получить эту информацию.

Модель помогает проводить многомерный анализ моделируемого материала и дает представление о том, чего не видят руководитель и работники. Наличие бизнес-модели позволяет совершенствовать свой бизнес. Бизнес-анализ на основе модели определяет, что требуется для достижения требуемой цели. Тестирование производственного процесса на реальных объектах невозможно, поскольку ресурсы ограничены. Таким образом, моделирование поможет избежать этих потенциальных потерь. Моделирование реальных условий процессов на протяжении всего жизненного цикла позволяет выбирать способы модернизации процессов без необходимости экспериментировать в реальности. Исходя из вышеизложенного, можно выделить следующие основы моделирования [33, 38]:

- с помощью моделирования можно не только наблюдать и анализировать интерактивные действия между организациями, внешними поставщиками и покупателями, но также можно наблюдать и анализировать бизнес-планы на каждом этапе процесса;
- моделирование позволяет администратору оценить эффективность работы каждого квалифицированного работника по завершении работы;
- бизнес-моделирование является выгодным и эффективным способом выявления возможностей для модернизации бизнеса;
- построение модели – это модернизация бизнеса, снижающая неблагоприятные последствия, возникающие на этапах реконструкции;
- моделирование поощряет способ оценки процесса на основе соответствия требованиям, запрошенным покупателем;

- моделирование способствует тому, чтобы можно было дать экономическую оценку каждому процессу и бизнес-расчеты каждого процесса;
- моделирование предоставляет метод выявления и локализации проблем, возникающих в обрабатывающей промышленности.

Построение модели для предприятий обрабатывающей промышленности также выявляет возможность аудита. Целью аудита является получение информации о текущем состоянии всей производственной деятельности. Аудит обычно проводится только после построения модели процессов [29, 38].

Каждый производственный процесс имеет материальные затраты и затраты на рабочую силу. Методы построения моделей предоставляют возможность анализа производительности и затрат. Анализ затрат позволяет рассчитать стоимость всего процесса. С помощью модели анализа затрат можно решить следующие задачи: расчет себестоимости производства товаров; расчет стоимости поддержки для покупателя; выявление дорогостоящих процессов; возможность предоставлять финансовую оценку квалифицированным работникам на основе изменений.

Модель деятельности – это система, состоящая из компонентов, которые отделены от среды и вышестоящей системы. Такое раскрытие выявило бы все противоречия с вышестоящей системой. Модель может не только описать проблему, но и показать причину проблемы. Построение модели требует описательного инструмента и набора правил – языка описания. Распространенными языками и их моделями являются вербальная модель, математическая модель и графическая модель [29, 38, 41, 42].

Трудно определить точную границу между вышеуказанными языками и моделями. Одна модель может использовать правила и инструменты другой. Всеобъемлющей и информативной презентацией является модель, проиллюстрированная на рисунках. Описание процедур должно описывать взаимодействие между процессами, а не только отдельные процессы. Для того чтобы описать процесс сложной задачи, требуются инструментальные средства (CASE-средства) поддержки описания и анализа [43, 44].

Обобщение является основным преимуществом анализа процессов путем построения моделей. Хорошо известные методологии моделирования включают

SADT-методологию, ARIS-методологию и др. [31–36]. Эти методы основаны на различных концепциях и имеют разные характеристики. Существуют множество методов, которые выделяют различные аспекты построения модели в рамках каждой методологии. Использование каждого метода обеспечивает стандартизированный метод выражения бизнес-процессов.

В МГТУ «СТАНКИН» разработана методология автоматизации интеллектуального труда (МАИТ), которая может быть использована для моделирования и анализа предметных задач как различных процессов жизненного цикла технических систем, так и деятельности предприятия.

Рассмотрим эти методологии и методы моделирования с учетом следующих критериев: название, моделируемые виды деятельности, аспекты моделирования процессов, наличие формального описания, формы представления результатов, сложность освоения метода.

1.3.3 Характеристика ARIS-методологии

Для моделирования бизнес-процессов предприятий немецкая компания Software AG разработала ARIS (Architecture of Integrated Information Systems)-технология, которая представляет собой методологию и программный продукт.

При моделировании производственной деятельности каждая отрасль рассматривается с пяти различных точек зрения в соответствии с методологией ARIS. Её моделями являются: организационная модель, функциональная модель, модель обрабатываемых данных, управленческая модель и модель входов и выходов (рис. 1.3) [31, 32].

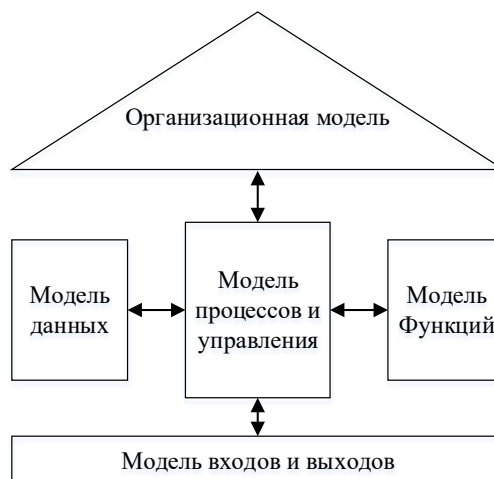


Рис.1.3 АРИС дом [45]

В каждом аспекте есть три дополнительных шага: описание требований, описание спецификации, описание внедрения. Около 80 моделей могут быть использованы для моделирования процессов, которые каждая модель применяет в рамках одного из аспектов, упомянутых выше.

ARIS предоставляет инструменты для визуализации моделей. Каждая производственная операция может быть описана в иерархическом порядке, начиная с уровня модели общего процесса и заканчивая уровнем ресурсов окружения функций [31, 32, 46].

Существуют следующие методы для построения моделей: eEPC (событийная цепочка процессов); ERM (модель «сущность-связь» для описания структуры данных); UML (унифицированный объектно-ориентированный язык моделирования) [32].

Основные модели, используемые в системе символов ARIS, и их компоненты включают [32]: организационный элемент (Organizational unit); исполнитель (Person); местоположение (Location); должность, тип исполнителя (Role); процесс (Process); событие (Event); функция (Activities); сущность (Entity – таблица); атрибут сущности (Attributes – поле таблицы); уникальный атрибут сущности (Primary Key – первичный ключ таблицы); внешний ключ (Foreign Key); отношения между сущностями (Relationship – связь между таблицами); информационная система (IT system – частный случай «хранилища данных»); аппаратная часть (Hardware); сеть (Network); сетевой компонент (Network components); область (Domain); для рисков (Risks); для входных и выходных данных (Input and Output data); для ветвления и соединения процесса («и», «или», «исключающее или»); средство связи с рассматриваемым процессом; для главной диаграммы (General diagram).

Нотация BPMN обозначает символы, которые описывают процессы в виде диаграммы процессов. Нотация BPMN предназначена для технических специалистов и пользователей. В ней используется комбинация понятных базовых элементов, которые могут описывать сложные семантические структуры.

Обычно при составлении EPC-диаграммы разработчик начинает с события. Остальные процедуры следуют за событием [33, 34]. Поток управления процессом моделируется с использованием правил (шлюзов). ER-модель обычно

закрывается с тем же оператором, как была открыта, и заканчивается ЕРС-событием.

Все методы методологии ARIS не имеют формального описания. Для освоения методов данной методологии необходимо проходить обучение в соответствующих центрах подготовки.

1.3.4 Характеристика методов на базе SADT-методологии в рамках структурного подхода

Основная идея методологии основана на последовательном разложении сложной системы на более мелкие подсистемы. В структурном подходе разбираются сложные задачи на более мелкие, которые легко понять и решить. Их организуют в древовидные структуры, упорядоченные сверху вниз [28–35].

Существуют две основные группы методов: построение модели функциональной структуры и модели структуры данных.

Наиболее распространенными базовыми методами являются:

- функциональные модели, основанные на методологии SADT;
- модели данных «сущность-связь» (метод Чена);
- метод диаграмм потоков работ;
- метод диаграмм потоков данных (DFD).

Функциональное моделирование. Этот метод предназначен для анализа структурного моделирования системных функций и системных требований. Функциональная модель состоит из диаграмм, ссылок, глоссария и текстов. Диаграммы – основные в модели, все функции и интерфейсы на них как блоки и дуги (рис. 1.4) [29–34].

На диаграмме блоки связаны дугами. Выходные дуги одних блоков могут быть входными других. Дуги со свободным концом указывают на исходный или принимающий элемент вне диаграммы. Буквы I (вход), C (управление), O (выход) и M (механизм) используются для описания внешних дуг. Типы связей между блоками могут быть фиксированными: вывод-ввод; вывод-управление; вывод-механизм; обратная связь по управлению; обратная связь по входу.

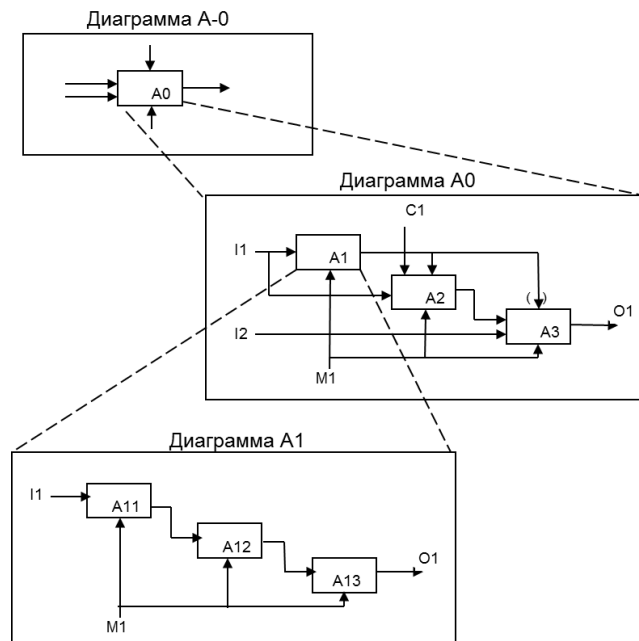


Рис. 1.4 Функциональная модель [39]

Метод диаграмм потоков работ [28–36] визуально представляет процесс или серию шагов, необходимых для выполнения задачи. Это похоже на дорожную карту, которая показывает последовательность действий, решений и взаимодействий между различными участниками или компонентами системы. Это похоже на блок-схему, описывающую, как это должно происходить от начала до конца. Метод делится на четыре основных компонента: единица работы, ссылки, связи (links), перекрестки (junctions). Перекрестки используются в IDEF3 для отображения логики взаимодействия стрелок при слиянии или разветвлении. В отличие от IDEF0 и DFD в IDEF3 стрелки могут сливаться или разветвляться только через перекрестки. Существуют две категории: перекрестки слияния, перекрестки ветвления.

В рамках методологии определены правила создания перекрестков и правила связывания работ. Метод диаграмм потоков данных DFD позволяет эффективно и наглядно проиллюстрировать процессы документооборота и обработки информации. Можно использовать две нотации: Джордана и Гейна-Сарсона. Существуют следующие типы структурных компонентов в нотации Гейна-Сарсона: процессы, поток данных, хранилища данных, внешние сущности. На рис. 1.5 представлен пример диаграммы потоков данных DFD.

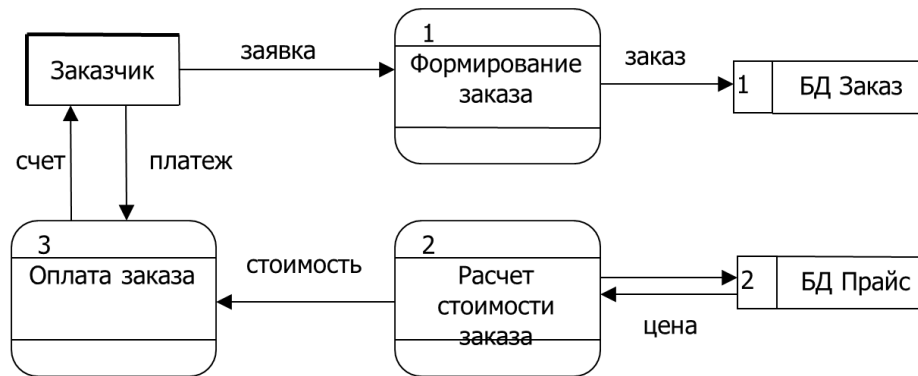


Рис. 1.5 Диаграмма потоков данных DFD [47]

Все структурные методы не имеют формального описания. Основное различие между ними заключается в символах, которые используются для обозначения процессов. Трудно определить, какая нотация лучше другой, но нотация Гейна-Сарсона более распространена.

1.3.5 Методы когнитивного подхода

Методология автоматизации интеллектуального труда (МАИТ) относится к когнитивному подходу. Данная методология (как теория) представляет собой совокупность методов моделирования предметных задач, подлежащих автоматизации [48, 49]. При этом предметные задачи могут представлять как разные виды деятельности: проектную, технологическую, производственную, управленческую, так и отражать разную сложность задач предметной области — от деятельности в целом до предметной операции.

Каждый метод представляет собой определенную модель и правила ее обработки на каждом этапе автоматизации задач (рис. 1.6): начальная модель, описывающая требуемые функциональные и информационные аспекты задачи при формировании технического задания на автоматизируемый комплекс; инфологическая (проектная) модель, представляющая все условия, чтобы решение задачи не зависело от используемого инструмента; даталогическая (технологическая) модель, которая ориентирована на среду и средства реализации; семантическая модель, обеспечивающая содержательное единство всех перечисленных синтаксических моделей [48, 50].

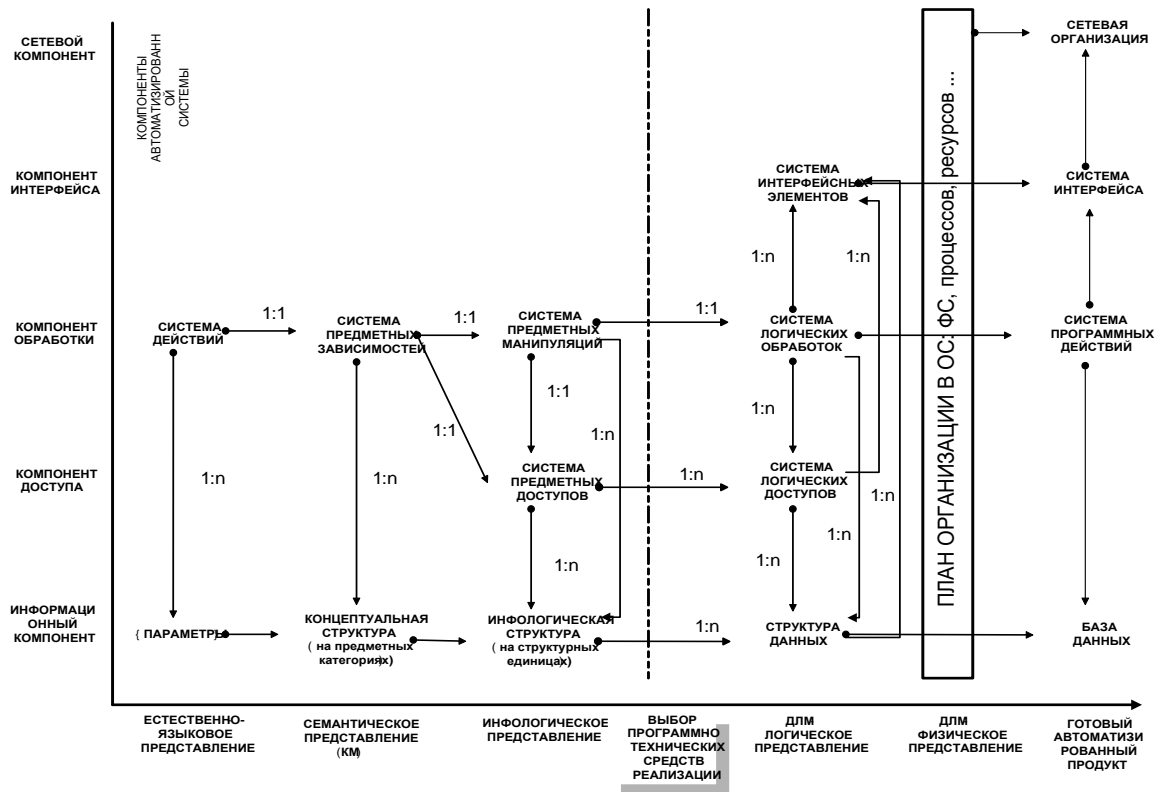


Рис. 1.6 Технология автоматизации предметных задач [48], где ОС — операционная система, ФС — файловая система.

На рис. 1.6 по оси Y представлены компоненты разрабатываемой автоматизированной системы и по оси X представлены этапы её разработки.

В отличие от предыдущего подхода, каждая модель после процедуры формирования может быть проанализирована, дополнительно аналитически обработана и синтезирована в комплекс. Дополнительная аналитическая обработка выполняется на основе методов структурного моделирования, обеспечивающих оптимизацию моделей по времени (распараллеливание), по конвейерам (процессорам), расслоение моделей и их фрагментацию [49, 50].

Начальная модель включает систему предметных действий, множество параметров и их увязку. Инфологическая модель включает систему предметных манипуляций, систему предметных доступов, инфологическую структуру и их увязку. Проектная модель отражает алгоритм и структуры данных для автоматизированного решения задачи, инвариантные к программно-техническим средствам реализации автоматизированной системы [48].

Даталогическая (технологическая) модель включает систему логических обработок (функциональная составляющая), систему логических доступов (динамическая составляющая), даталогическую структуру данных (статическая составляющая), систему интерфейсных элементов и их увязку. Технологическая

модель отражает общий алгоритм (обработки и доступа) и структуры данных (хранения и представления) для автоматизированного решения задачи, ориентированные на выбранные программно-технические средства реализации прикладной автоматизированной системы.

Семантическая (концептуальная) модель включает множество предметных категорий (понятий), множество статических отношений на них, множество динамических отношений и их увязку. Семантическое моделирование позволяет системным подходом объединить все процессы на протяжении всего их жизненного цикла, как было показано в работах [48, 53, 54].

Каждый метод МАИТ опирается на закономерности формирования моделей и имеет формальное описание как самих моделей, так и процедур их обработки. Соответственно, формирование и обработка каждой модели методически проработаны и доступны для самостоятельного освоения.

1.3.6 Сравнительный анализ методов моделирования деятельности

С учетом выбранных критериев сравнительный анализ вышеперечисленных методов приведен в табл. 1.1.

Таким образом, все исследованные модели имеют практически унифицированный набор базовых аспектов моделирования, форм представления и области применения. Методы в рамках МАИТ имеют теоретическую базу и возможности ее развития, что обеспечивает ее практическую реализацию и развитие в виде методического и программного инструментария.

1.4 Исследование особенности моделирования процессов в проектной деятельности

1.4.1 Общие положения

Процесс проектирования является самым сложным интеллектуальным процессом, и это определяет большую трудоемкость его моделирования. Главной отличительной особенностью проектной деятельности является то, что это прогнозная деятельность. Проектировщик на основании имеющейся информации и располагая определенным объемом знаний, прогнозирует перспективное состояние изделия или технической системы, возникновение которого обусловлено точностью прогноза. При этом такой прогноз охватывает фазы жизненного цикла от эксплуатации или функционирования изделия до его утилизации. Но точность прогноза определяется выбором средств и методов достижения цели. При этом прослеживается цепь событий в обратном порядке — от перспективного функционирования до начала проектирования [53].

Другой особенностью является представление процесса функционирования технической системы как проектного решения с учетом разных уровней абстракции технической системы — от требований к системе, далее к ее функциональному описанию, от него через возможную физическую реализацию к конструкторско-технологическому решению с оптимизацией параметров.

С учетом изложенного следует провести анализ методов и методологий проектной деятельности, учитывающий наличие и разнообразие уровней абстракции в проектных решениях как средства описания перспективного функционирования создаваемой технической системы.

В данном анализе были рассмотрены системная методология проектной деятельности по Попову В. В. [55, 56, 57], методология концептуального проектирования сложных ТС [58], методология проектирования с помощью каталогов по К. Роту [59], методологии проектирования Половинкина А. И. [57, 60, 61], методологии проектирования по Альтшуллеру Г. С. [62, 63].

Методы проектной деятельности анализировали по следующим критериям: название; охват уровней абстракции; наглядность представления процесса; удобство применения; простота в освоении; сопряжение модельных

представлений различных уровней; наглядность представления результатов; универсальность; разнообразие модельных представлений.

1.4.2 Характеристика системной методологии проектной деятельности

В данной методологии автор выделяет следующие уровни абстракции ТС и соответствующие виды деятельности, отражающие степень детализации проектных решений и целевую установку проектирования технических систем: анализ и синтез функциональных потребностей, анализ и синтез потребительских качеств, анализ и синтез функциональных структур, анализ и синтез принципов действия, анализ и синтез конструкторско-технологических решений, оптимизация конструкторско-технологических параметров. Главная идея разработки проектов заключается в использовании как репродуктивных, так и креативных навыков. [55, 57].

Методология включает три стратегии проектирования, которые отличаются степенью новизны получаемых результатов [57] :

- стратегия прямой оптимизации,
- стратегия итерационных приближений,
- стратегия синтеза новых (пионерных) проектных решений.

Стратегия прямой оптимизации предполагает, что при выполнении внешнего проектирования ТС на базе 1-го и 2-го уровней формируется техническое задание на создание ТС, внутреннее проектирование выполняется на основе найденного по заданным требованиям прототипа — полного (уровень 5) или частичной модификацией прототипа и оптимизацией его параметров (уровень 6). Таким образом, стратегия реализуется на уровне конструкторско-технологических решений и оптимизации параметров.

Переход к стратегии итерационных приближений осуществляется при отсутствии прототипов и необходимости выполнения проектирования на уровне функциональных структур и новых принципов действия. Данная стратегия включает последовательное прохождение уровней от 1-го до 6-го с циклическим возвратом на вышестоящий уровень при отсутствии положительных результатов на текущей итерации вплоть до полного пересмотра потребительских качеств

изделия и потребностей в целом. Таким образом, данная стратегия реализуется с учетом всех уровней абстракции ТС.

Неудача стратегий требует обратиться к новой стратегии синтеза новых (пионерных) решений. Она предполагает последовательную реализацию с 1-го по 6-й уровень, при этом с полной генерацией и выбором альтернатив на каждом уровне.

Реализация каждой из перечисленных стратегий опирается на законы и закономерности строения, функционирования и развития технических систем. Выполнение процедур анализа и синтеза в данных стратегиях опирается на систему рекомендаций по применению законов и закономерностей строения и развития технических систем. Методология достаточно проста в освоении и удобна в применении в различных отраслях.

1.4.3 Характеристика методологии концептуального проектирования сложных технических систем

Типовая процедура проектирования сложных технических систем (СТС) содержит два ключевых действия: формирование спецификации (требований) и собственно проектирование (получение) проектного решения [58]. Особенностью данной методологии является то, что наряду с использованием формально-логических методов применяются интуитивные методы проектирования, основанные на использовании образов, ощущений, эмоций. Применяя воображение и ощущения, снимаются информационные и психологические ограничения, часто создаваемые аналитическими процессами в голове проектировщика [58].

Под концептуализацией (формированием концепции) в широком смысле рассматривается процесс формирования проектного решения на основе интуитивного ощущения (осознания) ключевых абстракций (понятий) проблемной области и взаимосвязей между ними. В данной методологии процесс проектирования СТС включает два базовых компонента: концептуализацию и реализацию. Концептуализация включает: формирование концепции проблемной области проектирования (этап спецификации); формирование (выбор) модели

СТС для текущих уровней абстракций как набор ключевых понятий и взаимосвязей между ними (этап проектирования).

Реализация включает: формирование функциональных спецификаций и требований на основе концепции проблемной области (этап спецификации), вычисление параметров и режимов функционирования для каждого уровня абстракций, используя формально-логические средства: анализ, синтез и верификацию (этап проектирования).

Под концептуальным проектированием понимается процесс, обеспечивающий поддержку концептуализации на всех уровнях абстракции процесса проектирования СТС. Рассматриваемая методология включает в процесс проектирования интуитивные компоненты, наряду с формально-логическими, и составляет основу построения концептуальной структуры (семантической модели).

Основным принципом в данной методологии является представление концептуализации как направленного индивидуального маршрута формирования концепции. Достоинством подхода является повышение эффективности наиболее важной компоненты процесса проектирования — концептуализации, ведущее к уменьшению времени процесса проектирования и росту его качества.

Общая стратегия формирования концепции для каждого уровня абстракции СТС заключается в итеративном движении от «текущей» концепции к «улучшенной» путем преодоления информационных и психологических барьеров [58]. При этом основой выполнения каждой итерации является последовательное выполнение двух шагов: локализация и «преодоление» барьера. Исходная (прототипная) концепция выбирается на основе предшествующего опыта разработчика или экспертной системы.

Данная методология охватывает следующие уровни абстракции ТС: функциональные потребности, потребительские свойства и качества, функционально-логическая структура; принцип действия и конструкторско-технологическое решение. Методология опирается на систему рекомендаций по применению моделей знаний (в виде ERA-модели или онтологий), что предъявляет дополнительные требования к ее освоению и применению при проектировании сложных ТС.

1.4.4 Характеристика методологии проектирования с помощью каталогов

Весь процесс проектирования по методологии проектирования с помощью каталогов делится на четыре фазы [59]: фаза формулировки задачи, функциональная фаза, предметная фаза, технологическая фаза.

К особенностям данной методологии можно отнести следующие особенности:

1. Итерационный процесс проектирования, обусловленный необходимостью оценки результатов фазы на соответствие требованиям;
2. Формулирование дополнительных требований на отдельных фазах;
3. Каждый этап или фаза заканчивается сравнением реальной и идеальной функции, реализуемой в технической системе.

На первой фазе выполняются действия, связанные с уточнением постановки задачи на основе анализа (выполнение этапов описания функциональных положений и определения списков требований), и дополняется эта постановка инструктивной частью (указания, инструкции для составления конструкторско-технологической документации). Описание функциональных положений включает в себя фиксацию главной функции и совокупности воздействий или процессов, необходимых для реализации главной функции. Списки требований включают в себя совокупность ограничений, которые, с одной стороны, могут быть распределены по различным процессам жизненного цикла создаваемой ТС, а с другой стороны, которые могут быть заданы различными формами и способами.

Вторая фаза включает два этапа: формирование абстрактной функциональной структуры; формирование физической и логической структуры. Эти этапы могут быть реализованы с учетом двух различных методик — элементной и потоковой.

Третья фаза — это предметная фаза, связанная с геометрическим оформлением ТС. На предпоследней фазе последовательно формируется геометрически оформленная реализация ТС в виде набора схем и представлений: линейно-структурной схемы; контурного представления (эскизного); геометрического размерного представления (форма, размер, материал). В заключение проверяются технико-экономические (экологические) показатели

полученного проектного решения, в том числе и стоимостные. А также выполняется проверка технологичности конструкции.

Все этапы и фазы данной методологии достаточно хорошо методически проработаны и снабжены большим объемом справочной информации в виде разнообразных табличных и графических каталогов. Это является большим преимуществом в освоении и использовании данной методологии.

Методология проектирования с помощью каталогов охватывает следующие уровни абстракции ТС при формировании ее модельных представлений: функциональные потребности, потребительские свойства и качества, функционально-логическая структура, принцип действия и конструкторско-технологическое решение.

1.4.5 Характеристика методологии проектирования Половинкина А. И.

Для проектирования начальных этапов ТС Половинкин А. И. и его последователи разработали методологию, использующую физические эффекты (ФЭ) для синтеза и/или выбора физического принципа действия (ФПД) [60, 61, 64], обеспечивающих преобразование заданного входного воздействия в заданную выходную характеристику. ФПД [61] отражает взаимосвязь физических эффектов, в своей совокупности приводящих к выполнению главной функции ТС.

Линейные цепочки ФЭ, образуемые путем согласования выходного эффекта с входным эффектом ФЭ, и полученные таким образом технические решения приводят к формированию нереализуемых ФПД либо не учитывают все возможные варианты синтеза [57, 60, 61, 64]. Так как не учитываются свойства объектов ФЭ и отсутствуют проверки совместимости ФЭ на количественном уровне, они не всегда удовлетворяют в полной мере потребности инженера или научного работника.

Алгоритм синтеза структур ФПД описывается следующим образом:

$$F_i = (A_i, B_{1i}, B_{2i}, C_i),$$

где A_i – входное воздействие ФЭ; B_{1i} – начальное состояние объекта ФЭ; B_{2i} – конечное состояние объекта ФЭ; C_i – выходное воздействие ФЭ [60, 61].

Данная методология охватывает следующие уровни абстракции ТС: функциональные потребности, потребительские свойства и качества, функционально-логическая структура, принцип действия.

1.4.6 Характеристика методологии проектирования по Альтшуллеру Г. С.

Альтшуллер Г. С. показал, что в основе многих проектных задач лежит сравнительно небольшое число противоречий между обобщенными характеристиками технических систем. То есть существуют типовые технические противоречия, увязывающие эти характеристики, например «вес–прочность», «точность–производительность» [62, 63].

Альтшуллер Г. С., исследовав большое количество изобретений (технических решений) высокого уровня, обнаружил, что противоречия этих задач устранялись определенными приемами — способами преобразования исходной системы. Г. С. Альтшуллер составил матрицу применения этих приемов (всего около 40 приемов) в зависимости от типа противоречий.

Сформулировав технические противоречия для конкретной задачи, можно по матрице найти список рекомендуемых приемов для их устранения [62, 63]. Так появился один из первых сильных инструментов теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) — матрица выбора приемов для устранения технических противоречий.

Матрица представляет собой поле размером 39×39 ячеек. В ее заголовках по горизонтали и вертикали приведены, соответственно, параметры, которые необходимо изменить и параметры, которые в этом случае непременно ухудшаются. В качестве содержимого ячеек матрицы может быть определен перечень приёмов, которые можно использовать для устранения возникшего технического противоречия. Так как матрица большая, работа с ней достаточно затруднительна.

Дальнейшая эволюция теории осуществлялась с упором на: открытие принципов и закономерностей устройства, работоспособности и эволюции технических систем; поиск модельных представлений и методов их модификации для устранения технических сложностей.

Минимальной моделью техники в данном контексте выступает веполь — объединение источника энергии и двух материальных элементов, связанных между собой. Один элемент обрабатывает, другой — обрабатываемый. Все созданные человеком объекты моделируются вепольями.

Г. С. Альтшуллер и его ученики разработали коллекцию стандартов или шаблонов для решения технических задач, включающую 76 стандартов, обеспечивающих синтез и трансформацию технических систем через веполи.

Синтез современной техники основан на законах ее эволюции. Техника развивается в направлении увеличения управляемости и дробления рабочих компонентов. Важный закон — интеграция в более сложные системы. В базовом варианте система делится на две, формируется би-система, затем возникает поли-система [62–66].

Большой толчок к творчеству даёт знание и применение прикладных законов и методик ТРИЗ. Данная методология охватывает следующие уровни абстракции ТС: функциональные потребности, потребительские свойства и качества, функционально-логическая структура, принцип действия, конструкторско-технологическое решение.

1.4.7 Сравнительный анализ методов и методологий в проектной деятельности

Сравнительный анализ методологий проектирования позволил выявить их достоинства и недостатки (табл. 1.2). Анализ методологий проводился в соответствии со следующими критериями:

- охват всех уровней проектно-конструкторской деятельности;
- наглядность представления процесса проектирования;
- удобство применения;
- простота в освоении и использовании;
- сопряжение модельных представлений различных уровней;
- наглядность представления результатов;
- универсальность;
- разнообразие модельных представлений.

Табл. 1.2 Сравнительный анализ методологий проектирования

Критерии \ Методология	СМП	КП СТС	Половинкин	МПсК	Альтшулер
Охват уровней абстракции	+	-	-/+	+	-/+
Наглядность представления процесса	+	-	-/+	+	+
Удобство применения	+	+	-/+	+	-/+
Простота в освоении	+	-	+	+	+
Сопряжение модельных представлений различных уровней	+/-	+/-	-/+	-/+	-/+
Наглядность представления результатов	-/+	+/-	-/+	+	-/+
Универсальность	+	+	+	+	+
Разнообразие модельных представлений	+	+/-	+/-	+	-/+

Сокращения названий: СМП — системная методология проектирования, КП СТС — концептуальное проектирование сложных технических систем, МПсК — методология проектирования с помощью каталогов.

В сравнении с другими методологиями методология проектирования с помощью каталогов соответствует почти всем критериям анализа и является наиболее предпочтительной для анализа. Она наиболее полно отвечает интересам моделирования. В то же время она является обобщающей методологией проектной деятельности по немецкой практике.

1.5 Анализ существующих инструментальных средств анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем

1.5.1 Общая характеристика средств моделирования

Внедрение инструментальных средств моделирования процессов в промышленности повышает темпы выполнения проектов, направленных на совершенствование и оптимизацию производственных и управленческих процессов [50, 67, 68, 70].

Перед предприятием стоит, как правило, несколько целей, и каждая цель может быть достигнута несколькими путями. Надо выбирать рациональный вариант достижения цели путем анализа всех альтернативных вариантов. Моделирование деятельности также важно и при совершенствовании не только основных процессов, но и управленческих.

Использование инструментальных средств моделирования производственных процессов дает много преимуществ [71]. Средство моделирования дает стандартный подход и повышает качество при описании процессов. Получаемые модели могут использоваться многократно. Анализируя модели, можно проводить проверку соответствия процессов. Их можно использовать как исходную информацию для разработки автоматизированных систем [67, 68, 69].

Инструменты моделирования, как правило, поддерживаются определенными методиками. Важно разрабатывать внутрикорпоративные стандарты, которые бы определяли и методы, и инструментарий для использования на конкретном предприятии.

Для анализа производственной деятельности и совершенствования процессов требуются методическая и инструментальная поддержки. Наиболее популярными средствами моделирования производственных и управленческих процессов являются средства IDEF-технологий [10, 37, 38] и ARIS EXPRESS [31, 32], с помощью которых формируются модели, соответствующие предметной области и отражающие знания всех участников производственных процессов предприятия. Кроме того, будут рассмотрены средства моделирования процессов и знаний [48, 53], обеспечивающие поддержку методологии автоматизации интеллектуального труда (МАИТ).

1.5.2 Инструментальные средства на базе IDEF- технологий

Средства для описания деятельности на базе IDEF-технологии основаны на методологии SADT [50, 68, 70]. Семейство IDEF-технологий представлено набором следующих средств поддержки [50, 68]: IDEF0 — Function Modeling; IDEF1 — Information Modeling; IDEF1X (IDEF1 Extended) — Data Modeling; IDEF2 — Simulation Modeling; IDEF3 — Process Description Capture; IDEF4 — Object-oriented Design; IDEF5 — Ontology Description Capture и др.

К базовым средствам IDEF-технологий относят: IDEF0, IDEF1X, IDEF3. IDEF0 начинается с обобщенного уровня описания системы [72, 73]. При функциональном моделировании (рис. 1.7) для детализации производственной системы целесообразно пользоваться IDEF0. Функции описываются их входами, выходами, контрольными воздействиями и механизмами (ICOM-метки).

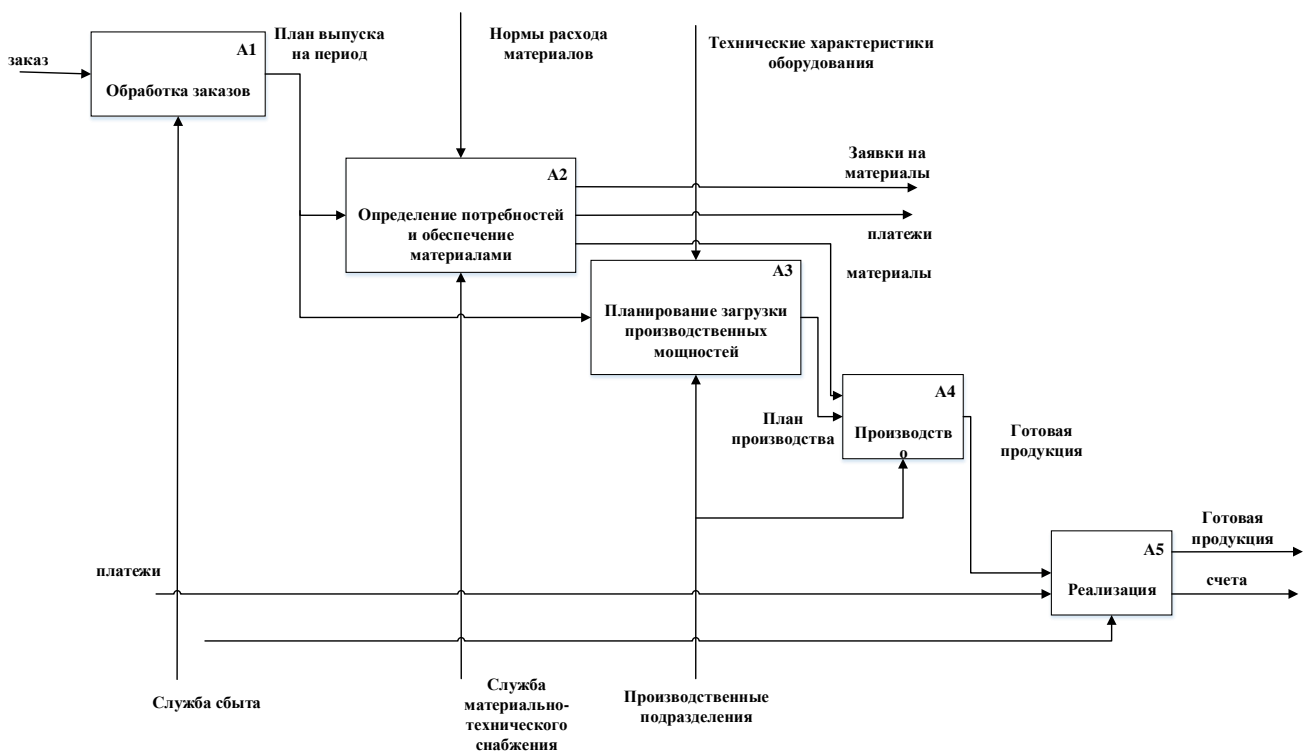


Рис. 1.7 Пример IDEF0-модели деятельности предприятия [73]

При моделировании в IDEF0 модели имеют слишком общий характер, но позволяют описать функции связи. IDEF3 обеспечивает детальное описание логических и временных связей между работами [72–74].

IDEF3 — специальная нотация, используемая для описания последовательности выполнения процедур. Используется логическая нотация IDEF3 для представления процесса, его последовательности и логики. На рис. 1.8 изображена диаграмма в этом формате [50, 68].

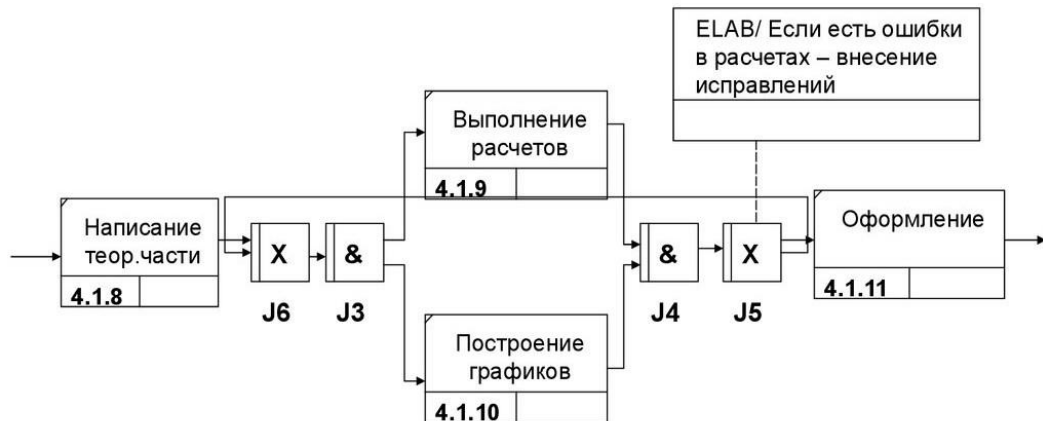


Рис. 1.8 Пример фрагмента описания процесса в нотации IDEF3 [52]

DFD-нотация применяется для описания данных, которыми обмениваемся на предприятии или в организации. С помощью объектов «хранилище данных» и двусторонних стрелок можно описать требования к информационной системе, а также информационный обмен (рис. 1.9) [73, 74].

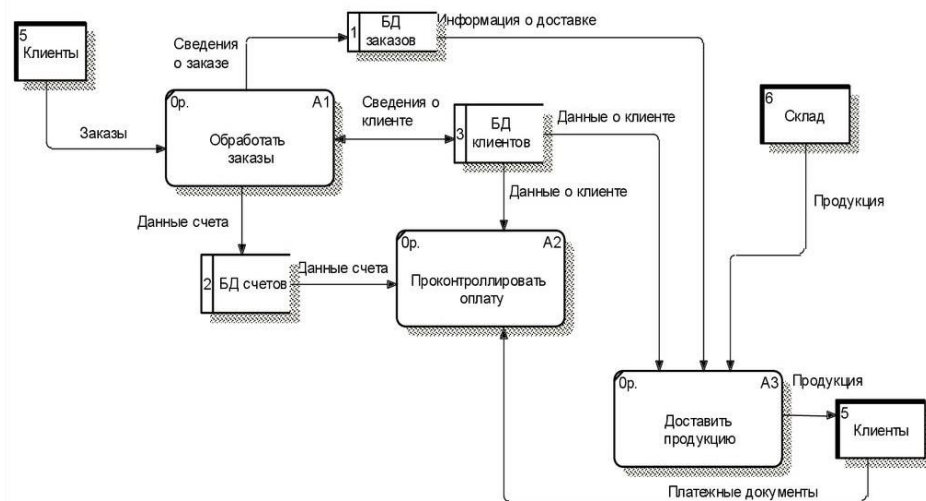


Рис. 1.9 Пример фрагмента описания документооборота в нотации DFD [73]

Таким образом, базовые технологии позволяют моделировать деятельность предприятия для оценки возможности ее совершенствования.

1.5.3 Характеристика системы ARIS Express

ARIS Express включает в себя как серверную часть (ARIS Server), хранящую данные в реляционной системе управления базами данных, так и набор пользовательских инструментов [75]. Технически ARIS-инструментарий достаточно прост для изучения, имеет интуитивно понятный интерфейс (рис. 1.10). В нём предусмотрена возможность автоматизации составления различных аналитических отчётов, нормативных документов, новых моделей.



Рис. 1.10 Главная интерфейсная форма ARIS Express [76]

Облачная версия ARIS Cloud включает в себя 4 типа диаграмм: EPC, OC, VAD, ASTD «application system type diagram». На рис. 1.11 представлена базовая модель eEPC, которая описывает часть производственного процесса [74, 76].

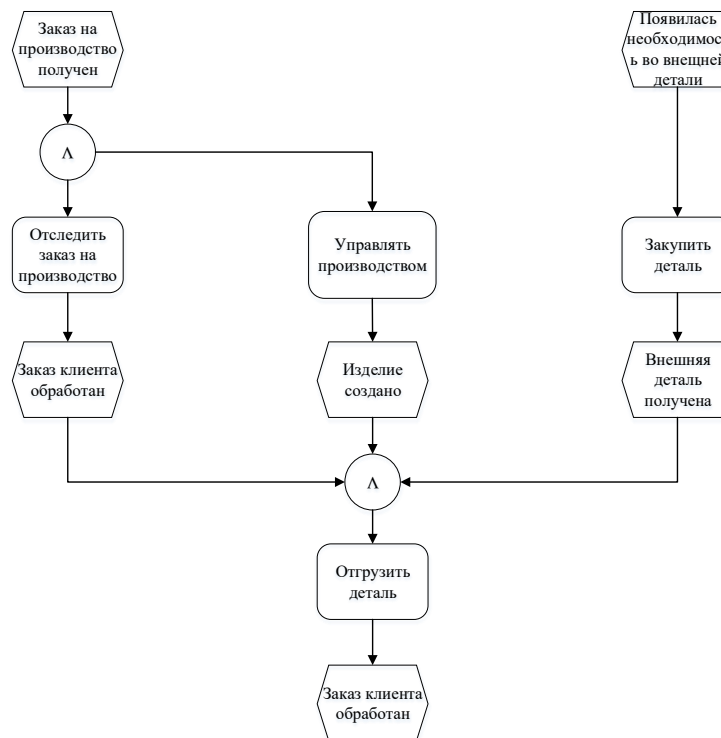


Рис. 1.11 Простейшая модель eEPC, описывающая фрагмент процесса предприятия [51]

Набор инструментов ARIS обеспечивает комплексную компьютерную поддержку моделирования [45]. Следующие модули предоставляют средства для автоматизированного анализа, планирования и реализации управленческих информационных систем:

1. ARIS-Modeler специализируется на системном моделировании.

2. ARIS-Analyzer предоставляет возможность изучения и оценки существующей системы с точки зрения ключевых показателей эффективности.
3. ARIS-Project Manager предназначен для планирования, контроля и мониторинга всего проекта на всех его этапах выполнения.
4. ARIS-Navigator предоставляет компьютеризированную документацию для корпоративной модели, разработанной на этапах моделирования.

Нотация ARIS Organizational Chart [31, 32, 74, 75] помогает представить структуру предприятия в виде иерархии. Нотация ARIS Information Flow (рис. 1.12) эквивалентна нотации DFD для отображения потоков данных и документов между функциями бизнес-процессов. Важно отметить, что допустимо сначала смоделировать процессы в формате eEPC, а потом перейти к информационным потокам.

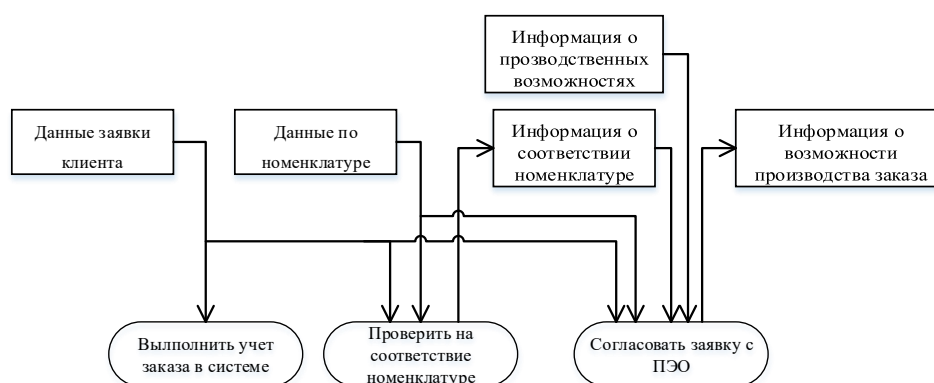


Рис. 1.12 Фрагмент диаграммы ARIS Information Flow [74]

Важно отметить, что допустимо сначала смоделировать процессы в формате eEPC, а потом перейти к информационным.

1.5.4 Характеристика средств моделирования по методологии автоматизации интеллектуального труда

Разработанный на кафедре «ИТиВС» МГТУ «СТАНКИН» инструментальный комплекс «ИС2» (рис. 1.13) обеспечивает поддержку процессов моделирования предметных задач, таких как проектные, технологические, управленческие [27, 48, 77]. Инструментальный комплекс позволяет создавать промежуточную отчетность в виде структурированных списков и различных диаграмм. Для работы с динамической составляющей моделей разработан универсальный графический редактор с возможностью

настройки предметных действий при начале работы над проектом и ПЗ-1 при его концептуальном моделировании. Интерфейс редакторов структурирован, в нем выделяется рабочая зона с ячейками, на которые размещаются стандартизированные элементы модели [78, 79].

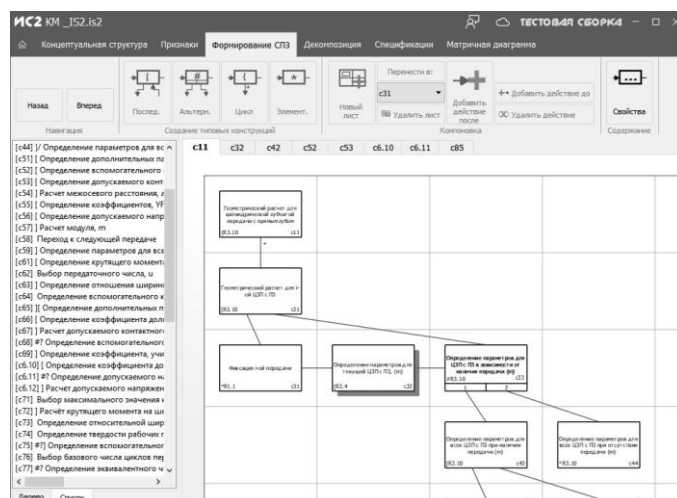


Рис. 1.13 Интерфейс версии ПК «ИС2 — Концептуальное моделирование» [80]

Блоки в ячейках обозначают строки и столбцы: строки указывают сложность элементов, а столбцы — их позицию на уровне декомпозиции. Создание функциональной модели происходит последовательно через декомпозицию элементов в структуры: последовательности, итерации или альтернативы с возможностью изменения количества блоков. Создание более сложных конструкций, как «цикл» или «переключатель», основано на основных моделях. Редактор статических аспектов модели (параметры задачи) включает отдельную таблицу для ввода данных и позволяет просматривать результаты (рис. 1.14).

Код	Наименование	Статус	Степень формализации
e11	Методика управление развитием визуальной интегрированной среды	П	Ал
e21	Анализ текущей конфигурации ВИС и дополнение БУК за счет специализированных файлов	П	Ал
e22	Разработка новой функциональности ВИС	П	Ал
e23	Конфигурирование ВИС	П	Ал
e24	Анализ и оценка текущих возможностей модулей среды	Э	Ан
e25	Составление списка специализированных файлов, которые планируется включить в БУК	Э	Ан
e26	Доработка всех файлов из списка для включения их в БУК	П	Ан
e27	Выделение списка доработанных файлов в БУК	Э	Ан
e28	Разработка новых версий всех существующих функциональных модулей	П	Ал
e29	Разработка новых функциональных модулей	П	Ал
e30	Выполнение конфигурационных процедур	П	Ал
e31	Анализ конфигурации	Э	Ан
e32	Документирование конфигурации	Э	Ан
e33	Применение конфигурации	Э	Ан
e34	Доработка i-го файлов из списка для включения их в БУК	П	Ал
e35	Определение списка модулей, нуждающихся в модификации	Э	Ан
e36	Модификация всех модулей из списка	П	Ан
e37	Определение списка модулей, которые необходимо разработать	Э	Ан
e38	Разработка массива модулей из списка	П	Ан
e39	Добавление массива разработанных модулей в ВИС	Э	Ан
e40	Планирование перечня конфигурационных процедур	Э	Ан
e41	Выполнение всех конфигурационных процедур из перечня	П	Ан
e42	Фиксация текущего файла	Э	Ан
e43	Доработать текущего файла для включения его в БУК	П	Ал
e44	Формирование списка доработанных файлов в зависимости от их наличия	П	Ан

Рис. 1.14 Графический интерфейс ПК «ИС2»: модуль вывода спецификаций начальной модели [80]

Информационные связи модулей отражаются на рис. 1.15.

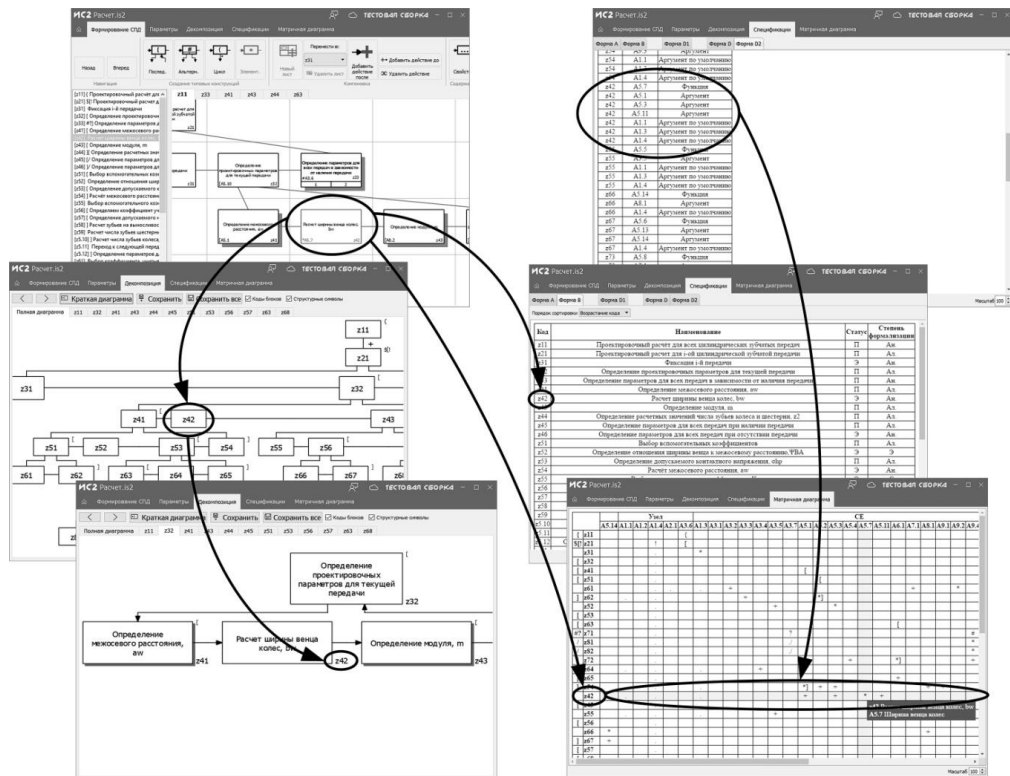


Рис. 1.15 Информационные связи функциональных модулей в системе ИС2 «Начальное моделирование» [81]

Графический редактор позволяет фиксировать свойства блоков (тип, код, связи). Редактор создания статической модели включает в себя графический инструмент для создания статической структуры, табличный инструмент для определения элементов и инструмент связи для создания связей между блоками статической структуры.

Генерация спецификаций и визуализация происходят на основе браузера Chromium. Спецификации экспортируются в различные текстовые редакторы, а динамические диаграммы отображаются с фиксированной структурой и блоками. Модуль визуализации предоставляет два варианта: полный и сокращенный, где размеры блоков зависят от объема текста и других параметров. Таким образом, создание и поддержка модулей основывается на единых процедурах, обеспечивая высокую технологичность и стандартизацию при разработке программ.

1.5.5 Сравнительный анализ средств моделирования

С учетом выбранных критериев сравнительный анализ вышеперечисленных инструментальных средств приведен в табл. 1.3.

Табл. 1.3 Сравнение функциональных возможностей ARIS Express, базовые IDEF-средства, среда IS2 [74]

№	Критерии	ARIS Express	IDEF-средства	IS2 (МАИТ)
1	Система хранения данных модели	Объектная база данных	Модели хранятся в файлах. Возможно создание репозитория на основе реляционной СУБД	Модели хранятся в файлах.
2	Ограничение на размер базы данных	Размер базы данных ограничивается вычислительными ресурсами	Размер базы данных ограничивается вычислительными ресурсами	Размер базы данных ограничивается вычислительными ресурсами
3	Возможность групповой работы	Есть. Используется ARIS Cloud	Есть. Используется ModelMart	Нет, в разработке
4	Ограничение на количество объектов на диаграмме	Нет	Для IDEF0 ограничено рекомендациями нотации. Для DFD и IDEF3 — нет.	Для отдельных алгоритмических конструкций
5	Возможность декомпозиции	Неограниченная декомпозиция. Возможна декомпозиция на различные типы моделей	Ограничения по индексации функциональных блоков. Возможен переход на другую нотацию в процессе декомпозиции	Неограниченная декомпозиция, поддерживается правилами индексации
6	Формы представления моделей	Не регламентируется	Стандартный бланк (каркас) IDEF с возможностью его отключения	Специальные диаграммы для каждого компонента модели, спецификации
7	Удобство работы по созданию моделей	Сложная панель управления, есть выравнивание объектов, есть функция undo	Простая панель управления, нет выравнивания объектов, нет функции undo	Простая панель управления, нет выравнивания объектов, нет функции undo
8	Возможность анализа стоимости процессов	Есть. Возможность использовать ARIS ABC	Упрощенный ABC — анализ стоимости по частоте использования в процессе.	Нет
9	Генерация отчетов	Создание отчетов на основе стандартных и настраиваемых пользователем макросов Visual Basic	Возможность визуальной настройки отчетов, включая расчет по формулам с использованием UDP	Создание отчетов на основе стандартных форм
10	Сложность разработки нестандартных отчетов	Сложно	Просто	Средней сложности путем ручного оформления
11	Экспорт отчетов	Реализован экспорт отчетов в MS Office, текстовый файл, RTF, HTML	Реализован экспорт отчетов в MS Office, текстовый файл, RTF, HTML	Экспорт спецификаций в формате HTML

Табл. 1.3 Продолжение

№	Критерии	ARIS Express	IDEF-средства	IS2 (МАИТ)
12	Связь с моделью данных	Возможность построения ERD-диаграмм, для экспорта необходимо дополнительное программное обеспечение	Реализована связь с моделью данных. Каждой стрелке может быть поставлен в соответствие набор сущностей и атрибутов	Автоматическая генерация описаний в виде спецификаций.
13	Описание сопутствующей документации	Есть, поддержка OLE	С помощью UDP типа command с каждой стрелкой связывается любой документ, который может быть загружен с помощью Windows-приложения	Встроенный справочник

В ARIS eEPC управление деятельности отражается только при указании входящих документов, но в IDEF0 каждая процедура имеет управляющее воздействие, указанное стрелкой сверху на модели. Для анализа моделируемого бизнес-процесса важно отражать управляющее воздействие, иначе уменьшается анализируемость модели [71, 73, 74].

В нотации IDEF0 не позволяет употреблять логические символы выполнения процесса, но, в отличие от нотации IDEF3, возможно отразить максимально условий и ограничений.

ARIS Toolset и BPwin можно сравнивать только по определенным задачам. При моделировании управляющих воздействий в eEPC ARIS, в отличие от нотации IDEF0 системы BPwin, отсутствуют четкие соглашения. Но моделирование при помощи eEPC ARIS адекватнее, чем при помощи IDEF0 или IDEF3 BPwin. В ARIS модели хранятся в объектной СУБД и предусмотрены функции по администрированию базы данных, а в BPwin хранятся в файле, что упрощает работу. Для хранения больших моделей BPwin пользуется репозитарием Model Mart (электронная библиотека) [73, 82].

Работа в ARIS даёт побольше возможностей, но должно регламентироваться по созданию модели и требует значительного времени и квалифицированных специалистов. В отличие от ARIS, использование в BPwin проще. Поэтому для малых и средних предприятий используется BPwin, и для крупных предприятий подходят ARIS.

Так как из-за многообразия возможностей инструмента осложняется задача управления деятельностью, средство моделирования должно быть узким и глубоким. Иначе могут появиться неполадки в процессе моделирования.

1.6 Выводы по главе

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

1. Темпы развития промышленности в Республике Союз Мьянма сдерживаются нехваткой квалифицированных инженерных, технических и рабочих кадров, обеспечивающих разработку, производство, эксплуатацию и утилизацию промышленной продукции различного назначения, и недостатком научно обоснованных рекомендаций по анализу и моделированию производственных процессов в различных отраслях промышленности при подготовке предприятий и организаций к автоматизации и информатизации.

2. Отечественный и зарубежный опыт автоматизации и информатизации проектных, производственных и управленческих процессов в промышленности показывает, что необходимо более тщательно подходить на начальных этапах к анализу и моделированию этих процессов в рамках жизненного цикла продукции с учетом системного подхода.

3. Одним из серьезных недостатков имеющихся методов и подходов к моделированию процессов жизненного цикла ТС является отсутствие формализованного аппарата для описания и обработки модельных представлений и отсутствие средств увязки и сопряжения модельных представлений систем по различным аспектам.

4. Процесс освоения требует значительных усилий, а стоимость инструментальных средств поддержки моделирования процессов жизненного цикла ТС и управления ими является высокой.

5. Отсутствие методических и инструментальных средств сопряжения моделей разных процессов жизненного цикла технических систем.

ГЛАВА 2

РАЗРАБОТКА МЕТОДА АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

2.1 Характеристика особенностей процесса анализа и моделирования проектных и производственных систем/процессов и разработка требований к методу

Моделирование процессов жизненного цикла технических систем обеспечит понимание структуры процессов, их свойств, а также состав и структуру компонентов, связанных с процессами.

Кроме того, при выборе средств реализации определенных процессов, модельное представление позволит выявить как требуемые характеристики процессов, так и характеристики объектов окружения.

К особенностям жизненного цикла технических систем по российской практике, выявленным в ходе исследования, следует отнести следующие [83, 84]:

- все процессы жизненного цикла выделены с учетом преобразования объекта или его моделей от идеи/потребности до утилизации;
- проектно-конструкторская деятельность и проектно-технологическая деятельность выполняются разными субъектами;
- начиная с проектной деятельности, практически все процессы ЖЦ регламентированы (наличие стандартов разного уровня).

К особенностям жизненного цикла технических систем по немецкой практике, выявленным в ходе исследования, следует отнести [59]:

- процессы жизненного цикла разделены на группы, относящиеся как к объекту создания и его моделям, так и к вспомогательным процессам (транспортировка и торговля);
- в каждой группе процессы увязаны, но их деление не всегда обосновано (разделение процесса изготовления на два процесса — изготовление деталей и сборка);
- в жизненный цикл не входят исследовательские процессы по изучению потребностей и анализу осуществимости этих потребностей;

- в проектной деятельности интегрированы анализ потребностей (фаза формулировки задачи), проектирование (функциональная фаза), конструирование (предметная фаза), и технологическая проработка (технологическая фаза);
- очень детальная методическая проработка фаз методологии проектирования с помощью каталогов;
- объемный справочный (иллюстративный) материал по каждой фазе проектирования.

Требования к методу анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем заключаются в следующем:

- выделение процессов и объектов, участвующих в них, их свойств и связей;
- описание среды окружения и увязки ее с процессами.

2.2 Разработка формального аппарата метода анализа и моделирования процессов жизненного цикла на основе системного подхода

2.2.1 Общие положения

Поскольку описание жизненного цикла технических систем есть сложный комплекс взаимосвязанных моделей, относящихся к различным видам деятельности, осуществляемых в жизненном цикле, то для формирования этого описания необходимо выполнение целостного взаимосвязанного моделирования всех процессов цикла и управления ими. Для разработки метода анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем необходимо выявить методологические, теоретические и практические основания, которые позволяют установить состав, структуру и взаимосвязи моделей.

Методологическим базисом являются: укрупнённая классификация видов деятельности предприятия или организации, задействованных в жизненном цикле: функционирование, управление, поддержание, развитие; взаимоувязанное представление управляющего и управляемого процессов; анализ философского понятия «производство»; системный подход.

Теоретической основой для разработки данного метода являются:

- обобщенное формальное описание систем с позиции системного подхода;

- формальное описание концептуального представления предметных задач в рамках методологии автоматизации интеллектуального труда, изложенное в работах Волковой Г.Д. и др.

- формальное описание взаимосвязанного семантического моделирования основных и управленческих процессов.

В качестве практических оснований выделены: практика и опыт создания, функционирования и развития технических систем, изложенных в публикациях в соответствии с немецкой и российской практиками; а также опыт приобретения и внедрения технических систем в промышленное производство в соответствии с практикой республики Союз Мьянма.

Метод анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем заключается в разработке системы правил (F), увязывающих процессные и компонентные модели жизненного цикла технических систем с учетом различных практик.

Требования к модельным представлениям заключаются в следующем:

- описывать структуру и свойства ЖЦ ТС в целом,
- описывать структуру и свойства как отдельных фаз ЖЦ, так и отдельных процессов,
- описывать основные и дополнительные компоненты процессов: действия, объекты, субъектов, различные средства (технические, программные, методические и др.), а также их свойства и связи.,
- настраивать обобщенные описания сложных систем на различные практики,
- моделировать семантику (содержание) процессов ЖЦ ТС для обеспечения описания связей этих процессов.

В системном подходе объект исследования рассматривается как система, которая определяет целостный комплекс взаимоувязанных элементов [18, 19]. По сути, элементы этой системы являются неоднородными.

В общем виде формальное описание системы представляется как [21, 24]:

$$S_1 = \langle Y, X, q(Y), q(X), R_1 \rangle, \quad (2.1)$$

где Y - структура процесса, выполняемого системой; X - множество входных/выходных объектов процесса; $q(Y)$ - множество разнородных свойств, описывающих элементы структуры процесса; $q(X)$ - множество разнородных

свойств, описывающих множество объектов X ; R_1 - совокупность связей между компонентами системы S_1 .

Процесс выявления системы заключается в разделении предметной области на две составляющие: объект анализа (рассматриваемая система) и среда (набор существующих в пространстве и во времени объектов, которые воздействуют на систему). Формальное описание системы с учетом среды с точки зрения системного подхода принимает вид:

$$S_2 = \langle S_1, Z, R_2 \rangle, \quad (2.2)$$

где $Z = \langle CR, q(CR), R_z \rangle$ - среда, включающая множество элементов CR , множество свойств элементов $q(CR)$ и множество связей между компонентами этой среды R_z ; R_2 - множество связей между компонентами системы S_2 .

Множество элементов среды есть совокупность множеств объектов, характеризующих ресурсы среды: кадры, оборудование, документы и др.

Укрупненно, структуру жизненного цикла технических систем можно представить в виде на рис. 2.1.

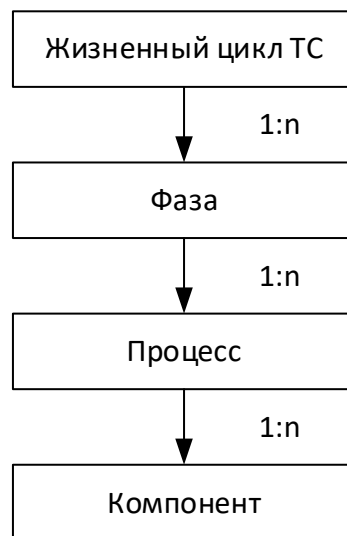


Рис. 2.1 Структура жизненного цикла технических систем

Формальное описание жизненного цикла ТС как системы можно представить:

$$S_{LC} = \langle Y_{LC}, q(Y_{LC}), R_{LC} \rangle, \quad (2.3)$$

где Y_{LC} - структура процесса, выполняемого системой; $q(Y_{LC})$ - множество разнородных свойств, описывающих элементы структуры процесса; R_{LC} - совокупность связей между компонентами системы S_{LC} .

Формальное описание фазы жизненного цикла ТС как системы можно представить:

$$S_F = \langle Y_F, q(Y_F), R_F \rangle, \quad (2.4)$$

где Y_F - структура фазы, выполняемой системой, $q(Y_F)$ - множество разнородных свойств, описывающих элементы структуры фазы; R_F - совокупность связей между компонентами системы S_F .

Формальное описание процесса жизненного цикла ТС как системы можно представить:

$$S_P = \langle Y_P, q(Y_P), R_P \rangle, \quad (2.5)$$

где Y_P - структура процесса, выполняемого системой, $q(Y_P)$ - множество разнородных свойств, описывающих элементы структуры процесса; R_P - совокупность связей между компонентами системы S_P .

В общем виде формальное описание процесса как сложной системы из компонентов представляется [20, 23]:

$$S_P^1 = \langle Y_P^1, X_P^1, q(Y_P^1), q(X_P^1), R_P^1 \rangle, \quad (2.6)$$

где Y_P^1 - структура процесса, выполняемого системой; X_P^1 - множество входных/выходных объектов процесса; $q(Y_P^1)$ - множество разнородных свойств, описывающих элементы структуры процесса; $q(X_P^1)$ - множество разнородных свойств, описывающих множество объектов X_P^1 ; R_P^1 - совокупность связей между компонентами системы S_P^1 .

Формальное описание процесса как системы с учетом среды с точки зрения системного подхода принимает вид:

$$S_P^2 = \langle S_P^1, Z_P, R_P^2 \rangle, \quad (2.7)$$

где $Z_P = \langle U_P, q(U_P), R_Z \rangle$ - среда, включающая множество элементов U_P , множество свойств элементов $q(U_P)$ и множество связей между компонентами этой среды R_Z ; R_P^2 - множество связей между компонентами системы S_P^2 .

Метод моделирования процессов жизненного цикла ТС заключается в формировании взаимосвязанных моделей этих процессов и моделей управления этими процессами. При этом модели процессов жизненного цикла ТС формируются на основе анализа моделей соответствующих процессов по рассматриваемым практикам (русской и немецкой), а модели управления

процессами жизненного цикла ТС формируются на основе метода взаимосвязанного семантического моделирования основных и управленческих процессов.

2.2.2 Разработка формального описания процессов в рамках жизненного цикла технических систем (российская практика)

В рамках российской практики в качестве базовых процессов или фаз жизненного цикла (ЖЦ) ТС рассматривают следующие обобщенные процессы: маркетинг или изучение потребности в ТС; исследование; проектирование; подготовка производства; изготовление; эксплуатация; утилизация [85].

Рассмотрим их формальное описание с позиции системного подхода.

$$LCr = \langle MI, IS, DK, DT, MN, EX, LQ, R_r^{LC} \rangle, \quad (2.8)$$

где MI – модель фазы маркетинговых исследований, IS – модель фазы исследований, DK – модель фазы проектирования, DT – модель фазы технологического проектирования или подготовки производства, MN – модель фазы изготовления, EX – модель фазы эксплуатации, LQ – модель фазы утилизации, R_r^{LC} – увязка моделей в рамках ЖЦ ТС в соответствии с российской практикой.

1. Формальное описание фазы «Маркетинговые исследования/Изучение потребности»

Модель фазы маркетинговых исследований ЖЦ ТС (индекс MI) на основе системного подхода и теории систем имеет вид:

$$MI^1 = \langle Y_{MI}, X_{MI}, q(Y_{MI}), q(X_{MI}), R_1^{MI} \rangle, \quad (2.9)$$

где а) $Y_{MI} = \langle \overline{Y_{MI}}, R_{MI}^Y \rangle$ – структура процессов фазы маркетинговых исследований, в которой $\overline{Y_{MI}}$ – множество процессов маркетинговых исследований, R_{MI}^Y – множество связей между ними; б) $X_{MI} = \langle \overline{X_{MI}}, R_{MI}^X \rangle$ – система входных/выходных объектов или маркетинговая модель ТС, в которой $\overline{X_{MI}}$ – множество входных/выходных объектов, R_{MI}^X – множество связей между этими ними; в) $q(Y_{MI}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(Y_{MI})$ – множество разнородных свойств процессов фазы маркетинговых исследований; г) $q(X_{MI}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(X_{MI})$ – множество разнородных свойств, описывающих объекты или маркетинговую

модель ТС; д) R_1^{MI} – множество связей между процессами и объектами фазы маркетинговых исследований.

Систему MI^1 , описывающую фазу маркетинговых исследований жизненного цикла ТС, необходимо дополнить параметрами, отражающими среду фазы. Формально это можно представить путем введения в систему MI^1 дополнительных компонентов и отношений:

$$MI^2 = \langle MI^1, Z_{MI}, R_2^{MI} \rangle, \quad (2.10)$$

или

$$MI^2 = \langle Y_{MI}, X_{MI}, q(Y_{MI}), q(X_{MI}), R_1^{MI}, Z_{MI}, R_2^{MI} \rangle, \quad (2.11)$$

где а) $Z_{MI} = \langle CR_{MI}, q(CR_{MI}), R_{MI}^Z \rangle$ – структура, описывающая среду фазы маркетинговых исследований (модели рынка и его сегментов, требования к квалификации персонала, методики исследований); CR_{MI} – среда фазы маркетинговых исследований; $q(CR_{MI})$ – множество свойств элементов среды; R_{MI}^Z – множество связей между элементами среды; б) R_2^{MI} – множество связей между элементами системы MI^2 .

2. Формальное описание фазы «Исследования»

Модель фазы исследований ЖЦ ТС (индекс IS) на основе системного подхода и теории систем имеет вид:

$$IS^1 = \langle Y_{IS}, X_{IS}, q(Y_{IS}), q(X_{IS}), R_1^{IS} \rangle, \quad (2.12)$$

где а) $Y_{IS} = \langle \overline{Y}_{IS}, R_{IS}^Y \rangle$ – структура процессов фазы исследований, в которой \overline{Y}_{IS} – множество процессов исследований, R_{IS}^Y – множество связей между ними; б) $X_{IS} = \langle \overline{X}_{IS}, R_{IS}^X \rangle$ – система входных/выходных объектов или исследовательская модель ТС, в которой \overline{X}_{IS} – множество входных/выходных объектов, R_{IS}^X – множество связей между ними; в) $q(Y_{IS}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(Y_{IS})$ – множество разнородных свойств процессов фазы исследований; г) $q(X_{IS}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(X_{IS})$ – множество разнородных свойств, описывающих объекты или исследовательскую модель ТС; д) R_1^{IS} – множество связей между процессами и объектами фазы исследований.

Систему IS^1 , описывающую фазу исследований ЖЦ ТС, необходимо дополнить параметрами, отражающими среду данной фазы. Формально это можно представить путем введения в систему IS^1 дополнительных компонентов и отношений:

$$IS^2 = \langle IS^1, Z_{IS}, R_2^{IS} \rangle, \quad (2.13)$$

или

$$IS^2 = \langle Y_{IS}, X_{IS}, q(Y_{IS}), q(X_{IS}), R_1^{IS}, Z_{IS}, R_2^{IS} \rangle, \quad (2.14)$$

где а) $Z_{IS} = \langle CR_{IS}, q(CR_{IS}), R_{IS}^Z \rangle$ – структура, описывающая среду фазы исследований (математические, физические, имитационные и др. модели, требования к квалификации персонала, методики исследований, оборудование для исследований); CR_{IS} – среда фазы исследований; $q(CR_{IS})$ – множество свойств элементов среды исследования; R_{IS}^Z – множество связей между элементами среды; б) R_2^{IS} – множество связей между элементами системы IS^2 .

3. Формальное описание фазы «Проектирование»

Модель фазы проектирования ЖЦ ТС (индекс DK) на основе системного подхода и теории систем имеет вид:

$$DK^1 = \langle Y_{DK}, X_{DK}, q(Y_{DK}), q(X_{DK}), R_1^{DK} \rangle, \quad (2.15)$$

где а) $Y_{DK} = \langle \overline{Y_{DK}}, R_{DK}^Y \rangle$ – структура процессов фазы проектирования, в которой $\overline{Y_{DK}}$ – множество процессов проектирования, R_{DK}^Y – множество связей между ними; б) $X_{DK} = \langle \overline{X_{DK}}, R_{DK}^X \rangle$ – система входных/выходных объектов или конструкторская модель ТС, в которой $\overline{X_{DK}}$ – множество входных/выходных объектов, R_{DK}^X – множество связей между ними; в) $q(Y_{DK}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(Y_{DK})$ – множество разнородных свойств процессов фазы проектирования; г) $q(X_{DK}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(X_{DK})$ – множество разнородных свойств, описывающих объекты или конструкторскую модель ТС; д) R_1^{DK} – множество связей между процессами и объектами фазы проектирования.

Систему DK^1 , описывающую фазу проектирования ЖЦ ТС, необходимо дополнить параметрами, отражающими среду фазы. Формально это можно представить путем введения в систему DK^1 дополнительных компонентов и отношений:

$$DK^2 = \langle DK^1, Z_{DK}, R_2^{DK} \rangle, \quad (2.16)$$

или

$$DK^2 = \langle Y_{DK}, X_{DK}, q(Y_{DK}), q(X_{DK}), R_1^{DK}, Z_{DK}, R_2^{DK} \rangle, \quad (2.17)$$

где а) $Z_{DK} = \langle CR_{DK}, q(CR_{DK}), R_{DK}^Z \rangle$ – структура, описывающая среду фазы проектирования (математические и другие модели, требования к квалификации персонала, методики проектирования, программные и технические средства проектирования); CR_{DK} – среда фазы проектирования; $q(CR_{DK})$ – множество свойств элементов среды; R_{DK}^Z – множество связей между элементами среды; б) R_2^{DK} – множество связей между элементами системы DK^2 .

4. Формальное описание фазы «Подготовка производства»

Модель фазы технологического проектирования или подготовки производства ЖЦ ТС (индекс DT) на основе системного подхода и теории систем имеет вид:

$$DT^1 = \langle Y_{DT}, X_{DT}, q(Y_{DT}), q(X_{DT}), R_1^{DT} \rangle, \quad (2.18)$$

где а) $Y_{DT} = \langle \overline{Y_{DT}}, R_{DT}^Y \rangle$ – структура процессов фазы технологического проектирования, в которой $\overline{Y_{DT}}$ – множество процессов технологического проектирования, R_{DT}^Y – множество связей между ними; б) $X_{DT} = \langle \overline{X_{DT}}, R_{DT}^X \rangle$ – система входных/выходных объектов или технологическая модель ТС, в которой $\overline{X_{DT}}$ – множество входных/выходных объектов, R_{DT}^X – множество связей между этими ними; в) $q(Y_{DT}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(Y_{DT})$ – множество разнородных свойств процессов фазы технологического проектирования; г) $q(X_{DT}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(X_{DT})$ – множество разнородных свойств, описывающих объекты или технологическую модель ТС; д) R_1^{DT} – множество связей между процессами и объектами фазы технологического проектирования.

Систему DT^1 , описывающую фазу технологического проектирования ЖЦ ТС, необходимо дополнить параметрами, отражающими среду фазы. Формально это можно представить путем введения в систему DT^1 дополнительных компонентов и отношений:

$$DT^2 = \langle DT^1, Z_{DT}, R_2^{DT} \rangle, \quad (2.19)$$

или

$$DT^2 = \langle Y_{DT}, X_{DT}, q(Y_{DT}), q(X_{DT}), R_1^{DT}, Z_{DT}, R_2^{DT} \rangle, \quad (2.20)$$

где а) $Z_{DT} = \langle CR_{DT}, q(CR_{DT}), R_{DT}^Z \rangle$ – структура, описывающая среду фазы технологического проектирования (математические, информационные и др. модели и методы, требования к квалификации персонала, методики

технологического проектирования, программные и технические средства технологического проектирования); CR_{DT} – среда фазы технологического проектирования; $q(CR_{DT})$ – множество свойств элементов среды; R_{DT}^Z – множество связей между элементами среды; б) R_2^{DT} – множество связей между элементами системы DT^2 .

5. Формальное описание фазы «Изготовление»

Модель фазы изготовления ЖЦ ТС (индекс MN) на основе системного подхода и теории систем имеет вид:

$$MN^1 = \langle Y_{MN}, X_{MN}, q(Y_{MN}), q(X_{MN}), R_1^{MN} \rangle, \quad (2.21)$$

где а) $Y_{MN} = \langle \overline{Y_{MN}}, R_{MN}^Y \rangle$ – структура процессов фазы изготовления, в которой $\overline{Y_{MN}}$ – множество процессов изготовления, R_{MN}^Y – множество связей между ними; б) $X_{MN} = \langle \overline{X_{MN}}, R_{MN}^X \rangle$ – система входных/выходных объектов или производственная модель ТС, в которой $\overline{X_{MN}}$ – множество входных/выходных объектов, R_{MN}^X – множество связей между этими ними; в) $q(Y_{MN}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(Y_{MN})$ – множество разнородных свойств процессов фазы изготовления; г) $q(X_{MN}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(X_{MN})$ – множество разнородных свойств, описывающих объекты или производственную модель ТС; д) R_1^{MN} – множество связей между процессами и объектами фазы изготовления.

Систему MN^1 , описывающую фазу изготовления ЖЦ ТС, необходимо дополнить параметрами, отражающими среду фазы. Формально это можно представить путем введения в систему MN^1 дополнительных компонентов и отношений:

$$MN^2 = \langle MN^1, Z_{MN}, R_2^{MN} \rangle, \quad (2.22)$$

или

$$MN^2 = \langle Y_{MN}, X_{MN}, q(Y_{MN}), q(X_{MN}), R_1^{MN}, Z_{MN}, R_2^{MN} \rangle, \quad (2.23)$$

где а) $Z_{MN} = \langle CR_{MN}, q(CR_{MN}), R_{MN}^Z \rangle$ – структура, описывающая среду фазы изготовления (технологические карты и чертежи, требования к квалификации персонала, программные средства, технологическое и производственное оборудование и средства оснащения); CR_{MN} – среда фазы изготовления; $q(CR_{MN})$ – множество свойств элементов среды; R_{MN}^Z – множество связей между

элементами среды; б) R_2^{MN} – множество связей между элементами системы MN^2 .

7. Формальное описание фазы «Эксплуатация ТС»

Модель фазы эксплуатации ЖЦ ТС (индекс EX) на основе системного подхода и теории систем имеет вид:

$$EX^1 = \langle Y_{EX}, X_{EX}, q(Y_{EX}), q(X_{EX}), R_1^{EX} \rangle, \quad (2.24)$$

где а) $Y_{EX} = \langle \overline{Y_{EX}}, R_{EX}^Y \rangle$ – структура процессов фазы эксплуатации, в которой $\overline{Y_{EX}}$ – множество процессов эксплуатации (к ним относят рабочее функционирование ТС, техническое обслуживание ТС, ремонт ТС); R_{EX}^Y – множество связей между ними; б) $X_{EX} = \langle \overline{X_{EX}}, R_{EX}^X \rangle$ – система входных/выходных объектов или эксплуатационная модель ТС, в которой $\overline{X_{EX}}$ – множество входных/выходных объектов, R_{EX}^X – множество связей между этими ними; в) $q(Y_{EX}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(Y_{EX})$ – множество разнородных свойств процессов фазы эксплуатации; г) $q(X_{EX}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(X_{EX})$ – множество разнородных свойств, описывающих объекты или эксплуатационную модель ТС; д) R_1^{EX} – множество связей между процессами и объектами фазы эксплуатации.

Систему EX^1 , описывающую фазу эксплуатации ЖЦ ТС, необходимо дополнить параметрами, отражающими среду фазы. Формально это можно представить путем введения в систему EX^1 дополнительных компонентов и отношений:

$$EX^2 = \langle EX^1, Z_{EX}, R_2^{EX} \rangle, \quad (2.25)$$

или

$$EX^2 = \langle Y_{EX}, X_{EX}, q(Y_{EX}), q(X_{EX}), R_1^{EX}, Z_{EX}, R_2^{EX} \rangle, \quad (2.26)$$

где а) $Z_{EX} = \langle CR_{EX}, q(CR_{EX}), R_{EX}^Z \rangle$ – структура, описывающая среду фазы эксплуатации (при этом среда эксплуатации делится на технологическую среду и ремонтно-техническую среду). К технологической среде относят: технологические карты, персонал-операторы, программные средства, технологическое оборудование и средства технологического оснащения. К ремонтно-технической среде относят: персонал -наладчики, программные средства тестирования, ремонтное оборудование и средства оснащения. CR_{EX} – среда фазы эксплуатации; $q(CR_{EX})$ – множество свойств элементов среды; R_{EX}^Z –

множество связей между элементами среды; б) R_2^{EX} – множество связей между элементами системы EX^2 .

8. Формальное описание фазы «Утилизация ТС»

Модель фазы утилизации ЖЦ ТС (индекс LQ) на основе системного подхода и теории систем имеет вид:

$$LQ^1 = \langle Y_{LQ}, X_{LQ}, q(Y_{LQ}), q(X_{LQ}), R_1^{LQ} \rangle, \quad (2.27)$$

где а) $Y_{LQ} = \langle \overline{Y_{LQ}}, R_{LQ}^Y \rangle$ – структура процессов фазы утилизации, в которой $\overline{Y_{LQ}}$ – множество процессов утилизации, R_{LQ}^Y – множество связей между ними; б) $X_{LQ} = \langle \overline{X_{LQ}}, R_{LQ}^X \rangle$ – система входных/выходных объектов или ликвидационная модель ТС, в которой $\overline{X_{LQ}}$ – множество входных/выходных объектов, R_{LQ}^X – множество связей между этими ними; в) $q(Y_{LQ}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(Y_{LQ})$ – множество разнородных свойств процессов фазы утилизации; г) $q(X_{LQ}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(X_{LQ})$ – множество разнородных свойств, описывающих объекты или ликвидационную модель ТС; д) R_1^{LQ} – множество связей между процессами и объектами фазы утилизации.

Систему LQ^1 , описывающую фазу утилизации ЖЦ ТС, необходимо дополнить параметрами, отражающими среду фазы. Формально это можно представить путем введения в систему LQ^1 дополнительных компонентов и отношений:

$$LQ^2 = \langle LQ^1, Z_{LQ}, R_2^{LQ} \rangle, \quad (2.28)$$

или

$$LQ^2 = \langle Y_{LQ}, X_{LQ}, q(Y_{LQ}), q(X_{LQ}), R_1^{LQ}, Z_{LQ}, R_2^{LQ} \rangle, \quad (2.29)$$

где а) $Z_{LQ} = \langle CR_{LQ}, q(CR_{LQ}), R_{LQ}^Z \rangle$ – структура, описывающая среду фазы утилизации (персонал, оборудование и средства утилизации, технологии утилизации); CR_{LQ} – среда фазы утилизации; $q(CR_{LQ})$ – множество свойств элементов среды; R_{LQ}^Z – множество связей между элементами среды; б) R_2^{LQ} – множество связей между элементами системы LQ^2 .

Таким образом, разработанное формальное описание процессов в рамках жизненного цикла технической системы по российской практике позволит перейти к формальному описанию связей этих процессов.

2.2.3 Разработка формального описания процессов в рамках жизненного цикла технических систем (немецкая практика)

В рамках немецкой практики в качестве базовых процессов или фаз ЖЦ ТС рассматривают следующие обобщенные процессы: производство, которое включает процессы проектирования, подготовку производства, изготовление деталей, сборку изделия; распределение, включающее транспортировку, хранение и сбыт; применение включает рабочее состояние, техобслуживание и ремонт; возобновление, включающее завершение ЖЦ и рециклинг. Рассмотрим их формальное описание с позиции системного подхода.

$$LCn = \langle PRn, DS, EXn, LQn, R_n^{LC} \rangle, \quad (2.30)$$

где PRn – модель фазы производства, DS – модель фазы распределения, EXn – модель фазы эксплуатации, LQn – модель фазы возобновления, R_n^{LC} – увязка моделей в рамках жизненного цикла технических систем в соответствии с немецкой практикой.

1. Формальное описание фазы «Производство»

Модель фазы «Производство» (индекс PRn) на основе системного подхода и с учетом немецкой практики (n) имеет вид:

$$PRn = \langle DKn, DTn, M1n, M2n, R_{PR} \rangle, \quad (2.31)$$

где DKn – модель процесса проектирования, DTn – модель процесса подготовки производства, $M1n$ – модель процесса изготовления деталей, $M2n$ – модель процесса сборки изделия, R_{PR} – множество связей между процессами на фазе «Производство».

1.1. Формальное описание процесса «Проектирование»

Модель фазы проектирования ЖЦ ТС (индекс DKn) на основе системного подхода и теории систем имеет вид:

$$DKn^1 = \langle Y_{DKn}, X_{DKn}, q(Y_{DKn}), q(X_{DKn}), R_1^{DKn} \rangle, \quad (2.32)$$

где а) $Y_{DKn} = \langle \overline{Y_{DKn}}, R_{DKn}^Y \rangle$ – структура процессов проектирования, в которой $\overline{Y_{DKn}}$ – множество процессов проектирования, R_{DKn}^Y – множество связей между ними; б) $X_{DKn} = \langle \overline{X_{DKn}}, R_{DKn}^X \rangle$ – система входных/выходных объектов или конструкторская модель ТС, в которой $\overline{X_{DKn}}$ – множество входных/выходных объектов, R_{DKn}^X – множество связей между этими ними; в)

$q(Y_{DKn}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(Y_{DKn})$ – множество разнородных свойств процессов фазы проектирования; г) $q(X_{DKn}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(X_{DKn})$ – множество разнородных свойств, описывающих объекты или конструкторскую модель ТС; д) R_1^{DKn} – множество связей между процессами и объектами фазы проектирования.

Систему DKn^1 , описывающую фазу проектирования ЖЦ ТС, необходимо дополнить параметрами, отражающими среду фазы.

Формально это можно представить путем введения в систему DKn^1 дополнительных компонентов и отношений:

$$DKn^2 = \langle DKn^1, Z_{DKn}, R_2^{DKn} \rangle, \quad (2.33)$$

или

$$DKn^2 = \langle Y_{DKn}, X_{DKn}, q(Y_{DKn}), q(X_{DKn}), R_1^{DKn}, Z_{DKn}, R_2^{DKn} \rangle, \quad (2.34)$$

где а) $Z_{DKn} = \langle CR_{DKn}, q(CR_{DKn}), R_{DKn}^Z \rangle$ – структура, описывающая среду фазы проектирования (математические и другие модели и методы, требования к квалификации персонала, методики проектирования, программные и технические средства проектирования); CR_{DKn} – среда фазы проектирования; $q(CR_{DKn})$ – множество свойств элементов среды; R_{DKn}^Z – множество связей между элементами среды; б) R_2^{DKn} – множество связей между элементами системы DKn^2 .

1.2. Формальное описание процесса «Подготовка производства»

Модель фазы технологического проектирования или подготовки производства ЖЦ ТС (индекс DTn) на основе системного подхода и теории систем имеет вид:

$$DTn^1 = \langle Y_{DTn}, X_{DTn}, q(Y_{DTn}), q(X_{DTn}), R_1^{DTn} \rangle, \quad (2.35)$$

где а) $Y_{DTn} = \langle \overline{Y_{DTn}}, R_{DTn}^Y \rangle$ – структура процессов фазы технологического проектирования, в которой $\overline{Y_{DTn}}$ – множество процессов технологического проектирования, R_{DTn}^Y – множество связей между ними; б) $X_{DTn} = \langle \overline{X_{DTn}}, R_{DTn}^X \rangle$ – система входных/выходных объектов или технологическая модель ТС, в которой $\overline{X_{DTn}}$ – множество входных/выходных объектов, R_{DTn}^X – множество связей между этими ними; в) $q(Y_{DTn}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(Y_{DTn})$ – множество разнородных свойств процессов фазы технологического проектирования; г) $q(X_{DTn}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(X_{DTn})$ – множество разнородных свойств, описывающих объекты или

технологическую модель ТС; д) R_1^{DTn} – множество связей между процессами и объектами фазы технологического проектирования.

Систему DTn^1 , описывающую фазу технологического проектирования ЖЦ ТС, необходимо дополнить параметрами, отражающими среду фазы.

Формально это можно представить путем введения в систему DTn^1 дополнительных компонентов и отношений:

$$DTn^2 = \langle DTn^1, Z_{DTn}, R_2^{DTn} \rangle, \quad (2.36)$$

или

$$DTn^2 = \langle Y_{DTn}, X_{DTn}, q(Y_{DTn}), q(X_{DTn}), R_1^{DTn}, Z_{DTn}, R_2^{DTn} \rangle, \quad (2.37)$$

где а) $Z_{DTn} = \langle CR_{DTn}, q(CR_{DTn}), R_{DTn}^Z \rangle$ – структура, описывающая среду фазы технологического проектирования (математические, информационные и другие модели и методы, требования к квалификации персонала, методики технологического проектирования, программные и технические средства технологического проектирования); CR_{DTn} – среда фазы технологического проектирования; $q(CR_{DTn})$ – множество свойств элементов среды; R_{DTn}^Z – множество связей между элементами среды; б) R_2^{DTn} – множество связей между элементами системы DTn^2 .

1.3. Формальное описание процесса «Изготовление деталей»

Модель процесса изготовления деталей в рамках ЖЦ ТС (индекс $M1n$) на основе системного подхода и теории систем имеет вид:

$$M1n^1 = \langle Y_{M1n}, X_{M1n}, q(Y_{M1n}), q(X_{M1n}), R_1^{M1n} \rangle, \quad (2.38)$$

где а) $Y_{M1n} = \langle \overline{Y_{M1n}}, R_{M1n}^Y \rangle$ – структура процессов фазы изготовления, в которой $\overline{Y_{M1n}}$ – множество процессов изготовления, R_{M1n}^Y – множество связей между ними; б) $X_{M1n} = \langle \overline{X_{M1n}}, R_{M1n}^X \rangle$ – система входных/выходных объектов или производственная модель ТС, в которой $\overline{X_{M1n}}$ – множество входных/выходных объектов, R_{M1n}^X – множество связей между этими ними; в) $q(Y_{M1n}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(Y_{M1n})$ – множество разнородных свойств процессов фазы изготовления; г) $q(X_{M1n}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(X_{M1n})$ – множество разнородных свойств, описывающих объекты или производственную модель ТС; д) R_1^{M1n} – множество связей между процессами и объектами фазы изготовления.

Систему $M1n^1$, описывающую фазу изготовления ЖЦ ТС, необходимо дополнить параметрами, отражающими среду фазы. Формально это можно представить путем введения в систему $M1n^1$ дополнительных компонентов и отношений:

$$M1n^2 = \langle M1n^1, Z_{M1n}, R_2^{M1n} \rangle, \quad (2.39)$$

или

$$M1n^2 = \langle Y_{M1n}, X_{M1n}, q(Y_{M1n}), q(X_{M1n}), R_1^{M1n}, Z_{M1n}, R_2^{M1n} \rangle, \quad (2.40)$$

где а) $Z_{M1n} = \langle CR_{M1n}, q(CR_{M1n}), R_{M1n}^Z \rangle$ – структура, описывающая среду изготовления (технологические карты, требования к квалификации персонала, программные средства, технологическое и производственное оборудование и средства оснащения); CR_{M1n} – среда фазы изготовления; $q(CR_{M1n})$ – множество свойств элементов среды изготовления; R_{M1n}^Z – множество связей между элементами среды; б) R_2^{M1n} – множество связей между элементами системы $M1n^2$.

1.4. Формальное описание процесса «Сборка изделия»

Модель процесса «сборки изделия» в рамках ЖЦ ТС (индекс $M2n$) на основе системного подхода и теории систем имеет вид:

$$M2n^1 = \langle Y_{M2n}, X_{M2n}, q(Y_{M2n}), q(X_{M2n}), R_1^{M2n} \rangle, \quad (2.41)$$

где а) $Y_{M2n} = \langle \overline{Y_{M2n}}, R_{M2n}^Y \rangle$ – структура процессов подфазы сборки изделия, в которой $\overline{Y_{M2n}}$ – множество процессов сборки, R_{M2n}^Y – множество связей между ними; б) $X_{M2n} = \langle \overline{X_{M2n}}, R_{M2n}^X \rangle$ – система входных/выходных объектов или производственно-сборочная модель ТС, в которой $\overline{X_{M2n}}$ – множество входных/выходных объектов, R_{M2n}^X – множество связей между этими ними; в) $q(Y_{M2n}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(Y_{M2n})$ – множество разнородных свойств процессов фазы сборки; г) $q(X_{M2n}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(X_{M2n})$ – множество разнородных свойств, описывающих объекты или производственно-сборочную модель ТС; д) R_1^{M2n} – множество связей между процессами и объектами сборки изделия.

Систему $M2n^1$, описывающую подфазу сборки ЖЦ ТС, необходимо дополнить параметрами, отражающими среду фазы. Формально это можно представить путем введения в систему $M2n^1$ дополнительных компонентов и отношений:

$$M2n^2 = \langle M2n^1, Z_{M2n}, R_2^{M2n} \rangle, \quad (2.42)$$

или

$$M2n^2 = \langle Y_{M2n}, X_{M2n}, q(Y_{M2n}), q(X_{M2n}), R_1^{M2n}, Z_{M2n}, R_2^{M2n} \rangle, \quad (2.43)$$

где а) $Z_{M2n} = \langle CR_{M2n}, q(CR_{M2n}), R_{M1n}^Z \rangle$ – структура, описывающая среду подфазы сборки (технологические карты, требования к квалификации персонала, программные средства, технологическое оборудование и средства оснащения); CR_{M2n} – среда фазы сборки; $q(CR_{M2n})$ – множество свойств элементов среды; R_{M2n}^Z – множество связей между элементами среды; б) R_2^{M2n} – множество связей между элементами системы $M2n^2$.

2. Формальное описание фазы «Распределение»

Модель фазы «Распределение» (индекс DS) на основе системного подхода и с учетом немецкой практики имеет вид:

$$DS = \langle TR, ST, SL, R_{DS} \rangle, \quad (2.44)$$

где TR – модель процесса транспортировки, ST – модель процесса хранения, SL – модель процесса сбыта (продажи), R_{DS} – множество связей между процессами на фазе «Распределение».

2.1. Формальное описание процесса «Транспортировка»

Модель процесса транспортировки ЖЦ ТС (индекс TR) на основе системного подхода и теории систем имеет вид:

$$TR^1 = \langle Y_{TR}, X_{TR}, q(Y_{TR}), q(X_{TR}), R_1^{TR} \rangle, \quad (2.45)$$

где а) $Y_{TR} = \langle \overline{Y_{TR}}, R_{TR}^Y \rangle$ – структура процессов транспортировки, в которой $\overline{Y_{TR}}$ – множество процессов транспортировки, R_{TR}^Y – множество связей между ними; б) $X_{TR} = \langle \overline{X_{TR}}, R_{TR}^X \rangle$ – система входных/выходных объектов или транспортировочная модель ТС, в которой $\overline{X_{TR}}$ – множество входных/выходных объектов, R_{TR}^X – множество связей между этими ними; в) $q(Y_{TR}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(Y_{TR})$ – множество разнородных свойств процессов транспортировки; г) $q(X_{TR}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(X_{TR})$ – множество разнородных свойств, описывающих объекты; д) R_1^{TR} – множество связей между процессами и объектами транспортировки.

Систему TR^1 , описывающую процесс транспортировки ЖЦ ТС, необходимо дополнить параметрами, отражающими среду. Формально это можно представить путем введения в систему TR^1 дополнительных компонентов и отношений:

$$TR^2 = \langle TR^1, Z_{TR}, R_2^{TR} \rangle, \quad (2.46)$$

или

$$TR^2 = \langle Y_{TR}, X_{TR}, q(Y_{TR}), q(X_{TR}), R_1^{TR}, Z_{TR}, R_2^{TR} \rangle, \quad (2.47)$$

где а) $Z_{TR} = \langle CR_{TR}, q(CR_{TR}), R_{TR}^Z \rangle$ – структура, описывающая среду процесса транспортировки (логистические модели и методы, требования к квалификации персонала, логистические траектории и средства транспортирования); CR_{TR} – среда процесса транспортировки; $q(CR_{TR})$ – множество свойств элементов среды; R_{TR}^Z – множество связей между элементами среды; б) R_2^{TR} – множество связей между элементами системы TR^2 .

2.2. Формальное описание процесса «Хранение»

Модель процесса «Хранение» (индекс ST) на основе системного подхода и теории систем имеет вид:

$$ST^1 = \langle Y_{ST}, X_{ST}, q(Y_{ST}), q(X_{ST}), R_1^{ST} \rangle, \quad (2.48)$$

где а) $Y_{ST} = \langle \overline{Y_{ST}}, R_{ST}^Y \rangle$ – структура процессов хранения, в которой $\overline{Y_{ST}}$ – множество процессов хранения, R_{ST}^Y – множество связей между ними; б) $X_{ST} = \langle \overline{X_{ST}}, R_{ST}^X \rangle$ – система входных/выходных объектов или модель хранения, в которой $\overline{X_{ST}}$ – множество входных/выходных объектов, R_{ST}^X – множество связей между этими ними; в) $q(Y_{ST}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(Y_{ST})$ – множество разнородных свойств процессов хранения; г) $q(X_{ST}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(X_{ST})$ – множество разнородных свойств, описывающих объекты; д) R_1^{ST} – множество связей между процессами и объектами.

Систему ST^1 , описывающую фазу технологического проектирования ЖЦ ТС, необходимо дополнить параметрами, отражающими среду фазы. Формально это можно представить путем введения в систему ST^1 дополнительных компонентов и отношений:

$$ST^2 = \langle ST^1, Z_{ST}, R_2^{ST} \rangle, \quad (2.49)$$

или

$$ST^2 = \langle Y_{ST}, X_{ST}, q(Y_{ST}), q(X_{ST}), R_1^{ST}, Z_{ST}, R_2^{ST} \rangle, \quad (2.50)$$

где а) $Z_{ST} = \langle CR_{ST}, q(CR_{ST}), R_{ST}^Z \rangle$ – структура, описывающая среду хранения (требования к квалификации персонала, условия и режимы хранения, технические средства и оборудование для хранения); CR_{ST} – среда хранения;

$q(CR_{ST})$ – множество свойств элементов среды; R_{ST}^Z – множество связей между элементами среды; б) R_2^{ST} – множество связей между элементами системы ST^2 .

2.3. Формальное описание процесса «Сбыт»

Модель процесса сбыта в рамках ЖЦ ТС (индекс SL) на основе системного подхода и теории систем имеет вид:

$$SL^1 = \langle Y_{SL}, X_{SL}, q(Y_{SL}), q(X_{SL}), R_1^{SL} \rangle, \quad (2.51)$$

где а) $Y_{SL} = \langle \overline{Y_{SL}}, R_{SL}^Y \rangle$ – структура процессов сбыта, в которой $\overline{Y_{SL}}$ – множество процессов сбыта, R_{SL}^Y – множество связей между ними; б) $X_{SL} = \langle \overline{X_{SL}}, R_{SL}^X \rangle$ – система входных/выходных объектов, в которой $\overline{X_{SL}}$ – множество входных/выходных объектов или торговая модель ТС, R_{SL}^X – множество связей между этими ними; в) $q(Y_{SL}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(Y_{SL})$ – множество разнородных свойств процессов сбыта; г) $q(X_{SL}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(X_{SL})$ – множество разнородных свойств, описывающих объекты в процессах сбыта; д) R_1^{SL} – множество связей между процессами и объектами.

Систему SL^1 , описывающую сбыт в ЖЦ ТС, необходимо дополнить параметрами, отражающими среду фазы. Формально это можно представить путем введения в систему SL^1 дополнительных компонентов и отношений:

$$SL^2 = \langle SL^1, Z_{SL}, R_2^{SL} \rangle, \quad (2.52)$$

или

$$SL^2 = \langle Y_{SL}, X_{SL}, q(Y_{SL}), q(X_{SL}), R_1^{SL}, Z_{SL}, R_2^{SL} \rangle, \quad (2.53)$$

где а) $Z_{SL} = \langle CR_{SL}, q(CR_{SL}), R_{SL}^Z \rangle$ – структура, описывающая среду сбыта (требования к квалификации персонала, технологии продаж, технологическое и производственное оборудование торговых площадок); CR_{SL} – среда сбыта; $q(CR_{SL})$ – множество свойств элементов среды; R_{SL}^Z – множество связей между элементами среды; б) R_2^{SL} – множество связей между элементами системы SL^2 .

3. Формальное описание фазы «Применение»

Модель фазы «Применение» (индекс EX) на основе системного подхода и с учетом немецкой практики имеет вид:

$$EX = \langle FN, TO, RE, R_{EX} \rangle, \quad (2.54)$$

где FN – модель процесса функционирования ТС, TO – модель процесса технического обслуживания ТС, RE – модель процесса ремонта ТС, R_{EX} – множество связей между процессами на фазе «Эксплуатация».

3.1. Формальное описание процесса «Функционирование ТС»

Модель процесса функционирования ТС (индекс FN) на основе системного подхода и теории систем имеет вид:

$$FN^1 = \langle Y_{FN}, X_{FN}, q(Y_{FN}), q(X_{FN}), R_1^{FN} \rangle, \quad (2.55)$$

где а) $Y_{FN} = \langle \overline{Y_{FN}}, R_{FN}^Y \rangle$ – структура процессов функционирования ТС, в которой $\overline{Y_{FN}}$ – множество процессов функционирования, R_{FN}^Y – множество связей между ними; б) $X_{FN} = \langle \overline{X_{FN}}, R_{FN}^X \rangle$ – система входных/выходных объектов или эксплуатационная модель ТС, в которой $\overline{X_{FN}}$ – множество входных/выходных объектов, R_{FN}^X – множество связей между этими ними; в) $q(Y_{FN}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(Y_{FN})$ – множество разнородных свойств процесса функционирования ТС; г) $q(X_{FN}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(X_{FN})$ – множество разнородных свойств, описывающих объекты; д) R_1^{FN} – множество связей между процессами и объектами функционирования ТС.

Система FN^1 , описывающая функциональные процессы ТС, должна быть дополнена параметрами, отражающими окружающую среду. Формально это может быть выражено путем добавления дополнительных компонентов и связей к системе FN^1 :

$$FN^2 = \langle FN^1, Z_{FN}, R_2^{FN} \rangle, \quad (2.56)$$

или

$$FN^2 = \langle Y_{FN}, X_{FN}, q(Y_{FN}), q(X_{FN}), R_1^{FN}, Z_{FN}, R_2^{FN} \rangle, \quad (2.57)$$

где а) $Z_{FN} = \langle CR_{FN}, q(CR_{FN}), R_{FN}^Z \rangle$ – структура, описывающая среду процесса функционирования (требования к квалификации персонала, регламенты функционирования, программные и технические средства и оборудование функционирования); CR_{FN} – среда процесса функционирования ТС; $q(CR_{FN})$ – множество свойств элементов среды; R_{FN}^Z – множество связей между элементами среды; б) R_2^{FN} – множество связей между элементами системы FN^2 .

3.2. Формальное описание процесса «Техобслуживание»

Модель процесса технического обслуживания (индекс TO) на основе системного подхода и теории систем имеет вид:

$$TO^1 = \langle Y_{TO}, X_{TO}, q(Y_{TO}), q(X_{TO}), R_1^{TO} \rangle, \quad (2.58)$$

где а) $Y_{TO} = \langle \overline{Y_{TO}}, R_{TO}^Y \rangle$ – структура процессов технического обслуживания, в которой $\overline{Y_{TO}}$ – множество процессов технического обслуживания, R_{TO}^Y – множество связей между ними; б) $X_{TO} = \langle \overline{X_{TO}}, R_{TO}^X \rangle$ – система входных/выходных объектов или модель обслуживания ТС, в которой $\overline{X_{TO}}$ – множество входных/выходных объектов, R_{TO}^X – множество связей между этими ними; в) $q(Y_{TO}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(Y_{TO})$ – множество разнородных свойств процессов технического обслуживания; г) $q(X_{TO}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(X_{TO})$ – множество разнородных свойств, описывающих объекты; д) R_1^{TO} – множество связей между процессами и объектами.

Систему TO^1 , описывающую техническое обслуживание ТС, необходимо дополнить параметрами, отражающими среду. Формально это можно представить путем введения в систему TO^1 дополнительных компонентов и отношений:

$$TO^2 = \langle TO^1, Z_{TO}, R_2^{TO} \rangle, \quad (2.59)$$

или

$$TO^2 = \langle Y_{TO}, X_{TO}, q(Y_{TO}), q(X_{TO}), R_1^{TO}, Z_{TO}, R_2^{TO} \rangle, \quad (2.60)$$

где а) $Z_{TO} = \langle CR_{TO}, q(CR_{TO}), R_{TO}^Z \rangle$ – структура, описывающая среду технического обслуживания (требования к квалификации персонала, регламенты обслуживания, программные и технические средства обслуживания); CR_{TO} – среда технического обслуживания; $q(CR_{TO})$ – множество свойств элементов среды; R_{TO}^Z – множество связей между элементами среды; б) R_2^{TO} – множество связей между элементами системы TO^2 .

3.3. Формальное описание процесса «Ремонт»

Модель процесса ремонта ТС (индекс RE) на основе системного подхода и теории систем имеет вид:

$$RE^1 = \langle Y_{RE}, X_{RE}, q(Y_{RE}), q(X_{RE}), R_1^{RE} \rangle, \quad (2.61)$$

где а) $Y_{RE} = \langle \overline{Y_{RE}}, R_{RE}^Y \rangle$ – структура процессов ремонта, в которой $\overline{Y_{RE}}$ – множество процессов ремонта, R_{RE}^Y – множество связей между ними; б) $X_{RE} = \langle \overline{X_{RE}}, R_{RE}^X \rangle$ – система входных/выходных объектов, в которой $\overline{X_{RE}}$ – множество входных/выходных объектов или ремонтная модель ТС, R_{RE}^X – множество связей между ними; в) $q(Y_{RE}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(Y_{RE})$ – множество разнородных свойств

процессов ремонта; г) $q(X_{RE}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(X_{RE})$ – множество разнородных свойств, описывающих объекты в процессах ремонта; д) R_1^{RE} – множество связей между процессами и объектами.

Систему RE^1 , описывающую ремонт в ЖЦ ТС, необходимо дополнить параметрами, отражающими среду фазы. Формально это можно представить путем введения в систему RE^1 дополнительных компонентов и отношений:

$$RE^2 = \langle RE^1, Z_{RE}, R_2^{RE} \rangle, \quad (2.62)$$

или

$$RE^2 = \langle Y_{RE}, X_{RE}, q(Y_{RE}), q(X_{RE}), R_1^{RE}, Z_{RE}, R_2^{RE} \rangle, \quad (2.63)$$

где а) $Z_{RE} = \langle CR_{RE}, q(CR_{RE}), R_{RE}^Z \rangle$ – структура, описывающая среду ремонта (требования к квалификации персонала, регламенты ремонта технологическое и производственное оборудование, средства оснащения для ремонта); CR_{RE} – среда ремонта; $q(CR_{RE})$ – множество свойств элементов среды; R_{RE}^Z – множество связей между элементами среды; б) R_2^{RE} – множество связей между элементами системы RE^2 .

4. Формальное описание фазы «Возобновление»

Модель фазы возобновления (индекс LQn) на основе системного подхода и с учетом немецкой практики имеет вид:

$$LQn = \langle UT, RC, R_{LQn} \rangle, \quad (2.64)$$

где UT – модель процесса завершения, RC – модель процесса рециклинга ТС, R_{LQn} – множество связей между процессами на фазе «Возобновление».

4.1. Формальное описание процесса «Завершение»

Модель процесса завершения ТС (индекс UT) на основе системного подхода и теории систем имеет вид:

$$UT^1 = \langle Y_{UT}, X_{UT}, q(Y_{UT}), q(X_{UT}), R_1^{UT} \rangle, \quad (2.65)$$

где а) $Y_{UT} = \langle \overline{Y_{UT}}, R_{UT}^Y \rangle$ – структура процессов завершения, в которой $\overline{Y_{UT}}$ – множество процессов завершения, R_{UT}^Y – множество связей между ними; б) $X_{UT} = \langle \overline{X_{UT}}, R_{UT}^X \rangle$ – система входных/выходных объектов или ликвидационная модель ТС, в которой $\overline{X_{UT}}$ – множество входных/выходных объектов, R_{UT}^X – множество связей между этими ними; в) $q(Y_{UT}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(Y_{UT})$ – множество разнородных свойств процесса завершения; г) $q(X_{UT}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(X_{UT})$ –

множество разнородных свойств, описывающих объекты; д) R_1^{UT} – множество связей между процессами и объектами завершения.

К системе UT^1 , описывающей процесс завершения ТС, необходимо добавить параметры, отражающие окружающую среду. Формально это можно выразить путем добавления дополнительных компонентов и связей в систему UT^1 :

$$UT^2 = \langle UT^1, Z_{UT}, R_2^{UT} \rangle, \quad (2.66)$$

или

$$UT^2 = \langle Y_{UT}, X_{UT}, q(Y_{UT}), q(X_{UT}), R_1^{UT}, Z_{UT}, R_2^{UT} \rangle, \quad (2.67)$$

где а) $Z_{UT} = \langle CR_{UT}, q(CR_{UT}), R_{UT}^Z \rangle$ – структура, описывающая среду процесса завершения (требования к квалификации персонала, технологии утилизации, оборудование и средства утилизации); CR_{UT} – среда процесса завершения; $q(CR_{UT})$ – множество свойств элементов среды; R_{UT}^Z – множество связей между элементами среды; б) R_2^{UT} – множество связей между элементами системы UT^2 .

4.2. Формальное описание процесса «Рециклинг»

Модель процесса рециклинга (индекс RC) на основе системного подхода и теории систем имеет вид:

$$RC^1 = \langle Y_{RC}, X_{RC}, q(Y_{RC}), q(X_{RC}), R_1^{RC} \rangle, \quad (2.68)$$

где а) $Y_{RC} = \langle \overline{Y_{RC}}, R_{RC}^Y \rangle$ – структура процессов рециклинга, в которой $\overline{Y_{RC}}$ – множество процессов рециклинга, R_{RC}^Y – множество связей между ними; б) $X_{RC} = \langle \overline{X_{RC}}, R_{RC}^X \rangle$ – система входных/выходных объектов или ресурсная модель ТС, в которой $\overline{X_{RC}}$ – множество входных/выходных объектов, R_{RC}^X – множество связей между этими ними; в) $q(Y_{RC}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(Y_{RC})$ – множество разнородных свойств процессов рециклинга; г) $q(X_{RC}) = \bigcup_{i=1}^m q_i(X_{RC})$ – множество разнородных свойств, описывающих объекты; д) R_1^{RC} – множество связей между процессами и объектами рециклинга.

Систему RC^1 , описывающую рециклинг ТС, необходимо дополнить параметрами, отражающими среду. Формально это можно представить путем введения в систему RC^1 дополнительных компонентов и отношений:

$$RC^2 = \langle RC^1, Z_{RC}, R_2^{RC} \rangle, \quad (2.69)$$

или

$$RC^2 = \langle Y_{RC}, X_{RC}, q(Y_{RC}), q(X_{RC}), R_1^{RC}, Z_{RC}, R_2^{RC} \rangle, \quad (2.70)$$

где а) $Z_{RC} = \langle CR_{RC}, q(CR_{RC}), R_{RC}^Z \rangle$ – структура, описывающая среду рециклинга (требования к квалификации персонала, технологии рециклинга, оборудование и средства рециклинга); CR_{RC} – среда рециклинга; $q(CR_{RC})$ – множество свойств элементов среды; R_{RC}^Z – множество связей между элементами среды; б) R_2^{RC} – множество связей между элементами системы RC^2 .

Таким образом, разработанное формальное описание процессов в рамках жизненного цикла технической системы по немецкой практике позволит перейти к формальному описанию связей этих процессов.

2.3 Разработка формального описания моделей проектных решений с учетом уровней абстракции технической системы

2.3.1 Классификация моделей

При проектировании технических систем будем различать следующие модельные представления: представление изделия (или И-модель); представление знаний (или К-модель) [86, 87]. Модель, представляющая изделие (u_n^k) – это модель создаваемой технической системы, позволяющая получить достаточное описание ее структуры и функционирования для k-го уровня абстракции на n-ом этапе создания (табл. 2.1) [86, 87].

Табл. 2.1 Уровни абстракции ТС

	Уровень абстракции ТС	Обозначение	Наименование модели
1	Функциональные потребности (ФП)	ВшФМ	Внешняя функциональная модель
2	Потребительские свойства и качества (ПС)	ВшСМ	Внешняя структурная модель
3	Функционально-логическая структура (ФС)	ВнФМ	Внутренняя функциональная модель
4	Принцип действия (ПД)	ФФМ	Функционально-физическая модель
5	Конструкторско-технологическое решение (КТ)	КТМ	Конструкторско-технологическая модель
6	Параметрический (ПР)	ПМ	Параметрическая модель

Модель, представляющая знания об изделии (k_{nj}^k) – это модель системы знаний, позволяющая описать поведение технической системы для k-го уровня абстракции на n-ом этапе создания с j-ой точки зрения.

Соотношения между модельными представлениями [86]:

$$u_n^k \rightarrow \{k_{nj}^k\}.$$

Интегрированные концептуальные модельные представления [86]:

- по точкам зрения;

$$k_n^k = \bigcup_j k_{nj}^k$$

- по этапам создания;

$$k^k = \bigcup_n k_n^k$$

- по уровням абстракций;

$$k = \bigcup_k k^k$$

Сопряжение или отображение модельных представлений изделия на практике осуществляется на основе опыта и интуиции проектировщиков.

2.3.2 Разработка формального описания моделей проектных решений с учетом уровней абстракции технической системы по немецкой практике

Проектные решения как объекты формально представлены следующим образом (в модели процесса проектирования) [88, 89]:

$X_{DKn} = \langle \overline{X_{DKn}}, R_{DKn}^X \rangle$ – система входных/выходных объектов или конструкторская модель ТС, в которой $\overline{X_{DKn}}$ – множество входных/выходных объектов, R_{DKn}^X – множество связей между этими ними.

При этом $\overline{X_{DKn}}$ – совокупность проектных решений/модельных представлений на всех фазах проектирования по методологии с помощью каталогов (методологии Рота) – фаза формулировка задачи, функциональная фаза, предметная фаза, технологическая фаза.

$$\overline{X_{DKn}} = \langle FZM, FM, PM, TM \rangle, \quad (2.71)$$

где FZM – проектное решение/модель фазы формулировка задачи, FM – проектное решение/модель функциональной фазы, PM – проектное решение/модель предметной фазы, TM – проектное решение/модель технологической фазы.

Каждая фаза делится на этапы и подэтапы, которым соответствуют определенные проектные решения.

Так, для фазы «Формулировка задачи» — это членение формально можно описать следующим образом [87]:

$$FMZ = \langle FP, ST, R^{FMZ} \rangle, \quad (2.72)$$

где FP – модель функциональных положений создаваемой ТС и соответствует внешней функциональной модели, ST – модель системы требований к создаваемой ТС и соответствует внешней структурной модели, R^{FMZ} – множество связей между ними.

Система требований по методологии Рота формируется с трех точек зрения: ТС как «черный ящик», ТС с учетом окружения, ТС с позиции ее жизненного цикла (как определенные «масштабы» анализа ТС).

Формально это можно описать:

$$ST = \langle ST1, ST2, ST3, R_{FMZ}^{ST} \rangle, \quad (2.73)$$

где $ST1$ – модель требований для ТС как «черный ящик», $ST2$ – модель требований для ТС с учетом окружения, $ST3$ – модель требований для ТС с позиции ее жизненного цикла, R_{FMZ}^{ST} – множество связей между ними.

Функциональная фаза по методологии Рота может выполняться по двум разным методикам: на основе элементной структуры ТС (1) и на основе потоковой структуры ТС (2), что формально описывается:

$$FM = \langle FM1, FM2 \rangle, \quad (2.74)$$

где $FM1$ – проектное решение/модель создаваемой ТС на функциональной фазе на основе элементной структуры, $FM2$ – проектное решение/модель создаваемой ТС на этой фазе на основе потоковой структуры.

Проектное решение/модель по каждой методике включает проектные решения по трем этапам.

Для элементной методики совокупность решений формально описывается:

$$FM1 = \langle AFS, VFS, GFS, R_{FM}^{FM1} \rangle, \quad (2.75)$$

где AFS – модель ТС в виде абстрактной функциональной структуры, VFS – модель ТС в виде векторной функциональной структуры, GFS – модель ТС в виде геометрической функциональной структуры, R_{FM}^{FM1} – множество связей между ними.

Модель ТС в виде абстрактной функциональной структуры соответствует внутренней функциональной модели и с позиции системного подхода формально может быть описана:

$$AFS^1 = \langle X^A, q(X^A), R_{FM}^A \rangle, \quad (2.76)$$

где X^A – множество абстрактных функциональных элементов, $q(X^A)$ – свойства абстрактных функциональных элементов, R_{FM}^A – множество связей между элементами.

Модель ТС в виде векторной функциональной структуры соответствует функционально-физической модели и с позиции системного подхода формально может быть описана:

$$VFS^1 = \langle X^V, q(X^V), R_{FM}^V \rangle, \quad (2.77)$$

где X^V – множество векторных функциональных элементов, $q(X^V)$ – свойства векторных функциональных элементов, R_{FM}^V – множество связей между элементами.

Модель ТС в виде геометрической функциональной структуры соответствует также функционально-физической модели и с позиции системного подхода формально может быть описана:

$$GFS^1 = \langle X^G, q(X^G), R_{FM}^G \rangle, \quad (2.78)$$

где X^G – множество структурно-функциональных элементов, $q(X^G)$ – свойства структурно-функциональных элементов, R_{FM}^G – множество связей между элементами.

Для потоковой методике совокупность решений формально описывается:

$$FM2 = \langle ADP, DPIQ, PSh, R_{FM}^{FM2} \rangle, \quad (2.79)$$

где ADP – модель ТС в виде абстрактной диаграммы потоков, $DPIQ$ – модель ТС в виде диаграммы потоков с интенсивностно-количественными величинами, PSh – модель ТС в виде принципиальной схемы, R_{FM}^{FM2} – множество связей между ними.

Модель ТС в виде абстрактной диаграммы потоков с позиции системного подхода формально может быть описана:

$$ADP^1 = \langle Y^A, q(Y^A), R_{FM}^A \rangle, \quad (2.80)$$

где Y^A – множество обобщенных процессов (передача вещества/энергии/информации), $q(Y^A)$ – свойства обобщенных процессов, R_{FM}^A – множество связей между обобщенными процессами.

Модель ТС в виде диаграммы потоков с интенсивностно-количественными величинами с позиции системного подхода формально может быть описана:

$$DPIQ^1 = \langle Y^{IQ}, q(Y^{IQ}), R_{FM}^{IQ} \rangle, \quad (2.81)$$

где Y^{IQ} – множество идеальных функций (с учетом частных функциональных положений), $q(Y^{IQ})$ – свойства идеальных функций, R_{FM}^{IQ} – множество связей между идеальными функциями.

Модель ТС в виде принципиальной схемы с позиции системного подхода формально может быть описана:

$$PSh^1 = \langle Y^{Sh}, q(Y^{Sh}), X^{Sh}, q(X^{Sh}), R_{FM}^{Sh} \rangle, \quad (2.82)$$

где Y^{Sh} – множество действий/функций, $q(Y^{Sh})$ – свойства действий, X^{Sh} – множество условных структурно-функциональных элементов, реализующих действия, $q(X^{Sh})$ – свойства условных структурно-функциональных элементов, R_{FM}^{Sh} – множество связей между действиями и элементами.

Формальное описание модельных представлений ТС с учетом уровней их абстракции в процессе проектирования позволило увязать процессы их жизненных циклов. Формально это можно описать следующим образом (R_n^{LC})..

Расширенное описание процесса функционирования ТС фиксируется в виде совокупности объектов процессов проектирования:

$$EX^2 \rightarrow X_{DK} \quad (2.83)$$

Расширенное описание процесса функционирования ТС с учетом уровней абстракции фиксируется в виде совокупности объектов процесса проектирования [69]:

$$EX^2(FP) \rightarrow X_{DKn}, \quad (2.84)$$

$$EX^2(ST) \rightarrow X_{DKn},$$

$$EX^2(AFS/ADP) \rightarrow X_{DKn},$$

$$EX^2(VFS\&GFS/DPIQ\&PSh) \rightarrow X_{DKn},$$

$$EX^2(PM) \rightarrow X_{DKn}.$$

Расширенное описание процессов эксплуатации, утилизации и производства ТС фиксируется в виде совокупности объектов процесса технологического проектирования:

$$\begin{aligned}
 RC^2 &\rightarrow X_{DTn}, \\
 UT^2 &\rightarrow X_{DTn}, \\
 RE^2 &\rightarrow X_{DTn}, \\
 TO^2 &\rightarrow X_{DTn}, \\
 MN1n^2 &\rightarrow X_{DTn}, \\
 MN2n^2 &\rightarrow X_{DTn}.
 \end{aligned}
 \tag{2.85}$$

Кроме того, расширенное описание процессов эксплуатации, утилизации, производства и хранения в явном или неявном виде фиксируются в описании требований к создаваемой ТС (ST). Графически эти связи приведены на рис. 2.2.

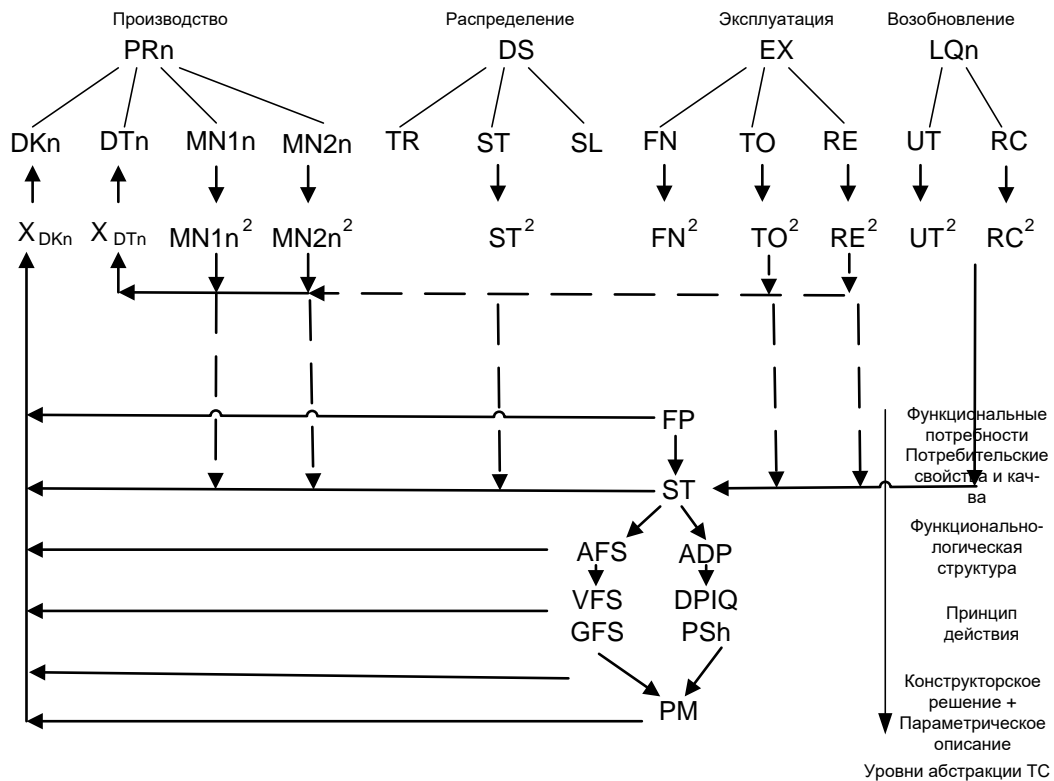


Рис. 2.2 Связи составляющих процессов ЖЦ ТС в соответствии с немецкой практикой

Таким образом, разработанное формальное описание взаимосвязей процессов ЖЦ ТС в соответствии с немецкой практикой позволяет перейти к концептуальному моделированию этих процессов.

2.3.3 Формальное описание моделей проектных решений с учетом уровней абстракции технической системы по российской практике

Проектные решения как объекты формально представлены следующим образом (в модели процесса проектирования):

$$X_{DK} = \langle \overline{X_{DK}}, R_{DK}^X \rangle \quad (2.86)$$

где X_{DK} – система входных/выходных объектов или конструкторская модель ТС, в которой $\overline{X_{DK}}$ – множество входных/выходных объектов, R_{DK}^X – множество связей между этими ними;

При этом $\overline{X_{DK}}$ – совокупность проектных решений/модельных представлений на всех стадиях проектирования в соответствии с российскими стандартами – техническое предложение, эскизный проект, технический проект, рабочий проект или рабочая документация:

$$\overline{X_{DK}} = \langle PT, EP, TP, RP \rangle, \quad (2.87)$$

где PT – проектное решение стадии технического предложения, EP – проектное решение стадии эскизного проекта, TP – проектное решение стадии технического проектирования, RP – проектное решение стадии рабочего проекта.

Каждая стадия по российским регламентам делится на проектные процедуры и проектные операции, которым также соответствуют определенные проектные решения. В рамках процесса проектирования допустимо агрегирование стадий в этапы. Этап называется по последней стадии, но при этом решения по всем агрегированным стадиям формируются, но только для последней стадии выполняется документирование, т.е. формирование конструкторской документации.

Рассмотрим формальное описание для этапа технорабочего проектирования:

$$TRP = \langle TP, RP, R^{TRP} \rangle, \quad (2.88)$$

где TP – модель технического проекта создаваемой ТС и соответствует конструкторско-технологической модели, RP – модель рабочего проекта создаваемой ТС и соответствует параметрической модели, R^{FMZ} – множество связей между моделями.

В соответствии с российскими регламентами любое изделие имеет структуру, которая формируется исходя из единого представления: изделие,

комплекс, комплект, сборочная единица и деталь. В зависимости от сложности изделия его членение на составляющие определяется иерархической организацией входимости сборочных единиц или комплексов друг в друга.

На каждом уровне иерархии составляющих конструкций изделия выполняется однотипный набор проектных действий:

- расчет основных характеристик сложной составляющей;
- проектирование всех компонентов этой составляющей;
- увязка компонентов в составляющей;
- документирование сложной составляющей;
- согласование проектного решения по сложной составляющей;
- утверждение проектного решения по сложной составляющей.

При техническом проектировании изделия (сложной технической системы) этот набор проектных действий повторяется для всех составляющих каждого уровня иерархии.

При рабочем проектировании изделия (сложной технической системы) этот набор проектных действий повторяется для каждой детали всех составляющих каждого уровня иерархии.

Соответственно, при технорабочем проектировании эти задачи совмещаются, и проработка составляющих выполняется до деталей. Для учета замечаний при согласовании проектных решений вводится понятие версий для каждой простой и сложной составляющей проектируемого изделия.

Формально это можно описать следующим образом:

$$TP = \langle \overline{PD}_{TP}, q(\overline{PD}_{TP}), R_{TP}^{PD} \rangle, \quad (2.89)$$

где \overline{PD}_{TP} – формирование проектных решений при выполнении типовых действий при техническом проектировании, $q(\overline{PD}_{TP})$ – совокупность свойств типовых действий, R_{TP}^{PD} – множество связей между типовыми действиями в техническом проектировании.

$$RP = \langle \overline{PD}_{RP}, q(\overline{PD}_{RP}), R_{RP}^{PD} \rangle, \quad (2.90)$$

где \overline{PD}_{RP} – формирование проектных решений при выполнении типовых действий при рабочем проектировании, $q(\overline{PD}_{RP})$ – совокупность свойств типовых действий, R_{RP}^{PD} – множество связей между типовыми действиями в рабочем проектировании.

Рассмотрим типовую процедуру технорабочего проектирования:

$$\overline{PD_{RP}} = \{PD_{RP}\}, \quad (2.91)$$

$$PD_{RP} = \langle Cal, DesI, Comp, Dok, Sog, Utv, R_{RP}^{PD} \rangle,$$

где *Cal* – проектная операция по расчету основных характеристик сложной составляющей изделия, *DesI* – проектирование всех компонентов сложной составляющей, *Comp* – увязка всех компонентов в сложной составляющей, *Dok* – документирование проектного решения по сложной составляющей изделия, *Sog* – согласование проектного решения, *Utv* – утверждение проектного решения, R_{RP}^{PD} – связи проектных операций.

Формальное описание модельных представлений ТС с учетом уровней их абстракции в процессе проектирования позволило увязать процессы жизненного цикла ТС. Формально это можно описать следующим образом (R_r^{LC}).

Расширенное описание процесса функционирования ТС фиксируется в виде совокупности объектов процессов проектирования, исследования и маркетинга:

$$EX^2 \rightarrow X_{DK}, \quad (2.92)$$

$$EX^2 \rightarrow X_{IS},$$

$$EX^2 \rightarrow X_{MI}.$$

Расширенное описание процесса функционирования ТС с учетом уровней абстракции фиксируется в виде совокупности объектов процесса проектирования:

$$EX^2(PT) \rightarrow X_{DK}, \quad (2.93)$$

$$EX^2(EP) \rightarrow X_{DK},$$

$$EX^2(TP) \rightarrow X_{DK},$$

$$EX^2(RP) \rightarrow X_{DK}.$$

Расширенное описание процессов функционирования, утилизации и производства ТС фиксируется в виде совокупности объектов процесса технологического проектирования:

$$EX^2 \rightarrow X_{DT}, \quad (2.94)$$

$$LQ^2 \rightarrow X_{DT},$$

$$MN^2 \rightarrow X_{DT}.$$

Кроме того, расширенное описание процессов функционирования, утилизации и производства в явном или неявном виде фиксируются в техническом задании на создание ТС.

Графически эти связи приведены на рис. 2.3.

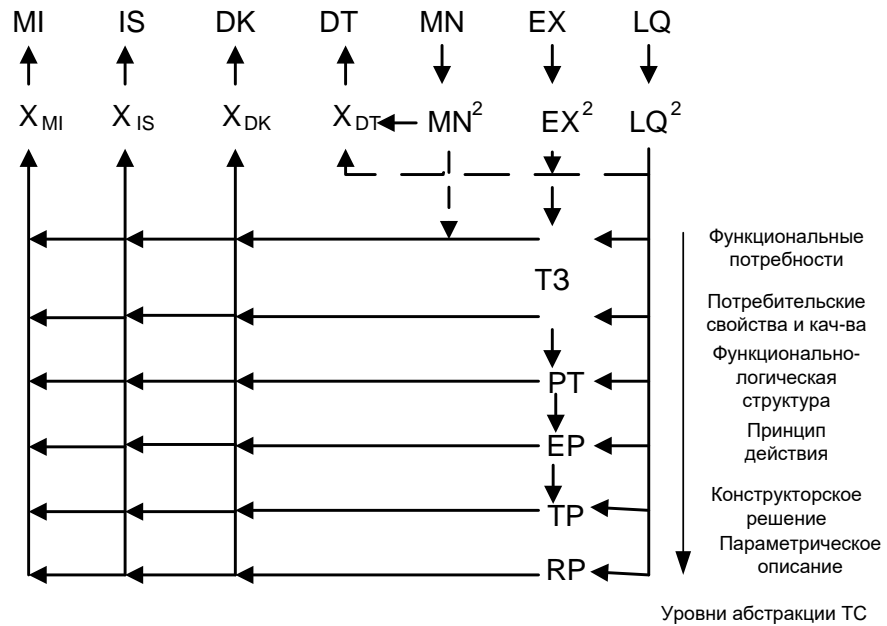


Рис. 2.3 Связи составляющих процессов ЖЦ ТС в соответствии с российской практикой

Таким образом, разработанное формальное описание взаимосвязей процессов ЖЦ ТС в соответствии с российской практикой позволяет перейти к концептуальному моделированию этих процессов.

2.4 Метод концептуального моделирования для описания процессов в рамках жизненного цикла технических систем

2.4.1 Общие положения

КМ предметной задачи n -й предметной задачи формально описывается набором моделей в виде [90, 91, 92]:

$$KP(n) = \langle KP2(n), \overline{KP3}(n), R_{23}^{KP}(n) \rangle, \quad (2.95)$$

где $KP2(n)$ – КМ n -й предметной задачи на объектном уровне;

$$\overline{KP3}(n) = \{KP3(nm)\}, \quad (2.96)$$

где $KP3(nm)$ – КМ конкретного уровня m -й реализации n -й предметной задачи, $R_{23}^{KP}(n)$ – отношения, описывающие взаимосвязи КМ разных уровней абстрагирования для n -й предметной задачи.

Формально, связи между составляющими КМ предметной задачи можно описать следующими соотношениями (рис. 2.4 и формула 2.97):

$$R_{23}^{KP}(n) = \{\overline{R_{23}^{KP-1}}(n), \overline{R_{23}^{KP-2}}(n)\} \quad (2.97)$$

$$\overline{R_{23}^{KP-1}}(n) = \{R_{23}^{KP-1}(nm)\}$$

$$\overline{R_{23}^{KP-2}}(n) = \{R_{23}^{KP-2}(nm)\}$$

$$R_{23}^{KP-1}(nm) = \{R_{23}^{KP-11}(nm), R_{23}^{KP-12}(nm)\}$$

$$R_{23}^{KP-2}(nm) = \{R_{23}^{KP-21}(nm), R_{23}^{KP-22}(nm)\}$$

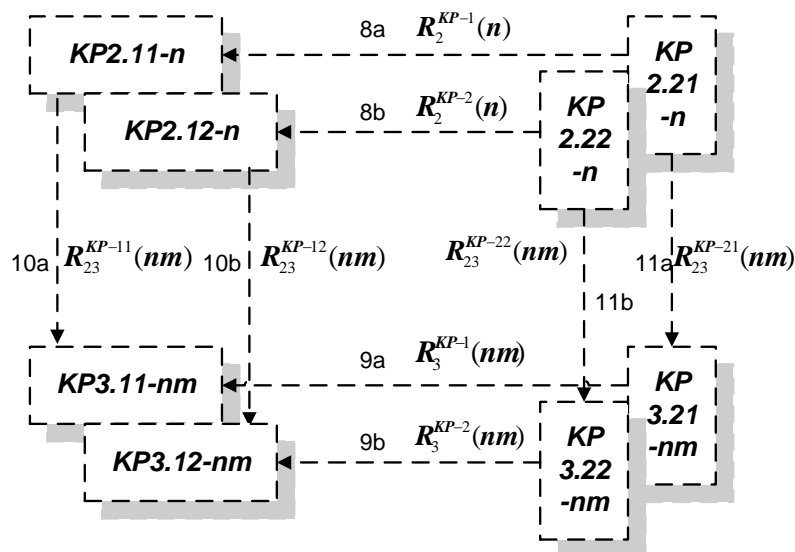


Рис. 2.4 Структура концептуального представления предметных задач [53]

Рассмотрим КМ объектного уровня для данного представления. КМ объектного уровня для n -ой предметной задачи есть совокупность множества ПК, множества статических (структурных) отношений и множества динамических отношений на ПК [93]:

$$KP2(n) = \langle M2(n), TH2(n), \overline{FU2}(n), R_2^{KP}(n) \rangle, \quad (2.98)$$

где каждое из множеств можно представить:

$$M2(n) \equiv A(n) = \{a_{km}\}, A(n) = \bigcup_i A_i(n), \quad (2.99)$$

$$A_i(n) \cap A_j(n) = \emptyset, A_i(n) \subset A(n), A_i(n) = \{a_{ik}\},$$

$$TH2(n) = \langle T2(n), H2(n), \overline{H2}(n), Th2(n) \rangle, \quad (2.100)$$

где $T2(n)$ – множество бинарных отношений и $H2(n)$ – множество тернарных отношений на предметных категориях, $\overline{H2}(n)$ – множество схем предметных категорий и $Th2$ – множество бинарных отношений на схемах предметных категорий для n -ой предметной задачи. Рассмотрим только множество бинарных и тернарных отношений.

$$T2(n) \subset A(n) \times A(n) \quad (2.101)$$

Множество $T2(n)$ можно представить как совокупность подмножеств определенного вида:

$$T2(n) = \{LA_i(n), LA_i(n)A_j(n), LA_j(n)/A_i(n)\} \quad (2.102)$$

Подмножество $LA_i(n)$ определяет бинарные связи вида «упорядочивание» между ПК одного подмножества:

$$LA_i(n) = \{(a_{il}, a_{is}) | a_{il}, a_{is} \in A_i(n)\} \quad (2.103)$$

Подмножество $LA_i(n)A_j(n)$ определяет бинарные связи вида «состав» между ПК разных подмножеств и имеет вид:

$$LA_i(n)A_j(n) = \{(a_{il}, a_{jm}) | a_{il} \in A_i(n), a_{jm} \in A_j(n)\} \quad (2.104)$$

Подмножество $LA_j(n)/A_i(n)$ определяет бинарные связи вида «компоновка» между ПК одного подмножества:

$$LA_j(n)/A_i(n) = \{(a_{jm}, a_{jt}) | a_{jm}, a_{jt} \in A_j(n) \ \& \ (\exists a_{il} \in A_i(n): (a_{il}, a_{jm}), (a_{il}, a_{jt}) \in LA_i(n)A_j(n))\} \quad (2.105)$$

$$H2(n) \subset A(n) \times A(n) \times A(n) \quad (2.106)$$

Множество $H2(n)$ также можно представить как совокупность подмножеств определенного вида:

$$H2(n) = \{HA_i(n) A_j(n) A_k(n)\} \quad (2.107)$$

$$HA_i(n) A_j(n) A_k(n) = \{(a_{il}, a_{jm}, a_{kn}) | a_{il} \in A_i(n), \quad (2.108)$$

$$a_{jm} \in A_j(n), a_{kn} \in A_k(n) \ \&$$

$$(a_{il}, a_{jm}) \in LA_i(n) A_j(n) \ \&$$

$$(a_{jm}, a_{kn})$$

$$\in LA_j(n) A_k(n) \ \& (a_{il} - \text{контекстуальная ПК},$$

$$a_{jm} - \text{структурная ПК}, a_{kn} - \text{монадическая ПК})\}$$

Динамические отношения включают два вида ограничений: системы предметных зависимостей первого $\overline{F2}(n)$ и второго $\overline{U2}(n)$ рода. Рассмотрим формальное описание системы предметных зависимостей 1-го рода:

$$\overline{FU2}(n) = \langle \overline{F2}(n), \overline{U2}(n) \rangle \quad (2.109)$$

$$\overline{F2}(n) = (\overline{V2}(n), \overline{FV2}(n)), \quad (2.110)$$

где $\overline{V2}(n)$ – множество предметных зависимостей 1-го рода и $\overline{FV2}(n)$ – множество бинарных связей между ПЗ-1.

$$\overline{V2}(n) \equiv \overline{W}(n), \overline{W}(n) = \cup_s \overline{W}_s(n), \quad (2.111)$$

$$\overline{W}_s(n) \subset \overline{W}(n), \overline{W}_s(n) = \{\overline{w}_{sp}\}$$

Множество ПЗ разбивается на подмножества разных уровней разложения (декомпозиции).

$$\overline{FV2}(n) \subset \overline{W}(n) \times \overline{W}(n) \quad (2.112)$$

$$\overline{FV2}(n) = \{L\overline{W}_s(n), L\overline{W}_s(n)\overline{W}_t(n), L\overline{W}_t(n)/\overline{W}_s(n)\}, \quad (2.113)$$

Подмножество $L\overline{W}_s(n)$ определяет бинарные связи вида «упорядочивание» между ПЗ-1 одного подмножества:

$$L\overline{W}_s(n) = \{(\overline{w}_{sp}, \overline{w}_{sv}) \mid \overline{w}_{sp}, \overline{w}_{sv} \in \overline{W}_s(n)\} \quad (2.114)$$

Подмножество $L\overline{W}_s(n)\overline{W}_t(n)$ определяет бинарные связи вида «состав» между ПЗ-1 разных подмножеств:

$$L\overline{W}_s(n)\overline{W}_t(n) = \{(\overline{w}_{sp}, \overline{w}_{tn}) \mid \overline{w}_{sp} \in \overline{W}_s(n), \overline{w}_{tn} \in \overline{W}_t(n)\} \quad (2.115)$$

Подмножество $L\overline{W}_t(n)/\overline{W}_s(n)$ определяет бинарные связи вида «компоновка» между ПЗ-1 одного подмножества:

$$L\overline{W}_t(n)/\overline{W}_s(n) = \{(\overline{w}_{tk}, \overline{w}_{tn}) \mid \overline{w}_{tk}, \overline{w}_{tn} \in \overline{W}_t(n) \& \\ (\exists \overline{w}_{sp} \in \overline{W}_s(n) : (\overline{w}_{sp}, \overline{w}_{tk}), (\overline{w}_{sp}, \overline{w}_{tn}) \in L\overline{W}_s(n)\overline{W}_t(n))\} \quad (2.116)$$

На объектном уровне анализируются зависимости в предметной области, и каждая ПЗ-1 может быть классифицирована как определенный тип. Так как тип зависимости всегда определяется в рамках определенного набора категорий, то зависимость 1-го рода определяется в пределах подмножества этого набора категорий:

$$\overline{w}_{sp} = \overline{w}_{sp}(i, t, u_{sp}) \quad (2.117)$$

В общем виде соотношения между ПЗ-1 и ПК можно представить:

$$\overline{w}_{sp}(i, t, u_{sp}) = (a_{j1}, \dots, a_{jq})_{u_{sp}} \& Q_{it}^{sp}(n), \quad (2.118)$$

где $Q_{it}^{sp}(n)$ – отражает соотношения структурных и контекстуальных ПК, и индекс u_{sp} помечает подмножество множества $A_j(n)$ ПК, которое характеризует sp -е ограничение или ПЗ-1 для выделенной предметной задачи.

2.4.2 Особенности применения метода концептуального моделирования к процессам жизненного цикла технических систем (российская практика)

Концептуальное моделирование — это формализованное описание совокупности знаний в предметной области на разных уровнях абстракции.

Модели объектного уровня отражают обобщенные знания, а модели конкретного уровня — знания о конкретных задачах. КМ объектного уровня включает множество предметных категорий, множество статических отношений на них, множество динамических отношений и их увязку.

Из множества статических отношений анализируем бинарные связи на ПК или ОКС. Из множества динамических отношений — систему предметных зависимостей 1-го рода (СПЗ-1) или систему ограничений 1-го рода (СО-1).

Рассмотрим особенности описания каждой составляющей концептуальной модели для каждого из процессов ЖЦ ТС по российской практике с учетом выявленных взаимосвязей.

1. Процесс «**Маркетинговые исследования**»

СПЗ-1 представляет собой структуру ограничений в маркетинговой деятельности, обеспечивающих выявление закономерностей в определенной области знаний или методику маркетинговых исследований для данной ТС.

Основная концептуальная структура отражает процесс функционирования существующего или гипотетического технического объекта в виде совокупности требований (характеристик), отражающих различные аспекты потребности в таком продукте.

2. Процесс «**Исследования**»

СПЗ-1 представляет собой структуру ограничений в исследовательской деятельности, обеспечивающих выявление закономерностей в определенной области знаний с учетом уровней абстракции технической системы: функциональных потребностей, принципа действия, конструкторско-технологических решений и оптимизации целевых характеристик.

Основная концептуальная структура отражает процесс функционирования существующего или гипотетического технического объекта в виде совокупности характеристик на определенном уровне абстракции, отражающих критерии эффективности, параметры структуры, внешние факторы и т. д.

При этом, если объект или его модель существует и выполняет роль средства достижения поставленной цели, то исследованию подлежат либо условия функционирования/использования объекта/модели, либо режимы их функционирования, либо ограничения среды для функционирования объекта/модели.

Если объект не существует и точно задана цель его функционирования, то исследованию подлежат структуры (модельные представления) объекта и перспективные характеристики функционирования/использования структур, отражающие условия, режимы и ограничения этого процесса.

3. Процесс «**Проектирование**»

Процесс проектирования начинается с поиска прототипа создаваемой технической системы (т. е. существует техническое задание как совокупность требований к ТС и точной целевой характеристики её функционирования). При наличии частичного прототипа реализуется стратегия 1 проектирования — модификация существующего прототипа, либо стратегия 2 — совершенствование или модернизация существующего прототипа по системной методологии проектирования [55, 56]. При отсутствии прототипа может быть реализована стратегия 3 по той же методологии.

Каждая стратегия опирается на определенную систему предметных закономерностей (СО-1), обеспечивающих генерацию, анализ и синтез проектных решений с учетом уровня абстракции.

Проектная деятельность регламентирована в соответствии с ГОСТами серии ЕСКД и по любой стратегии и методике выполняется в соответствии с этапами и стадиями проектирования: техническое предложение, эскизное проектирование, техническое проектирование, рабочее проектирование [83].

Все особенности и итерационные действия отражаются в разнообразии проектных процедур, результаты которых фиксируются в пояснительных записках проектной документации.

Основная концептуальная структура отражает процесс перспективного функционирования создаваемого технического объекта с учетом его модельного представления на определенном уровне абстракции (вида структуры).

4. Процесс «**Подготовка производства**»

Подготовка производства включает три основных подпроцесса: технологическая подготовка, конструкторская подготовка, организационная подготовка. Рассмотрим процесс технологической подготовки.

СО-1 для задач технологической подготовки представляет собой структуру проектирования системы технологических действий разных уровней детализации: технологический процесс, технологическая операция, технологический переход и

т. д. Проектно-технологическая деятельность регламентирована в соответствии с ГОСТами серии ЕСТД. [84].

Содержанием проектирования технологических действий или основной концептуальной структурой является описание процесса функционирования технологической среды предприятия в относительном (модельном) времени, оформленного в виде технологической документации (технологических карт).

При этом точно задана цель функционирования этой среды в виде совокупности сборочных и детализовочных чертежей (модельного представления) создаваемой технической системы. Для обеспечения технологичности изготовления ТС процесс проектирования технологии начинается с поиска ее частичного технологического прототипа.

При наличии процессов-прототипов выполняется их доработка и/или разработка по отдельным технологическим действиям. При этом наиболее предпочтительным является использование уже имеющегося или унифицированного инструмента, технологической оснастки и оборудования.

При отсутствии технологических прототипов осуществляется разработка оригинальных технологических действий разного уровня детализации при соблюдении тех же предпочтений. Конструкторская подготовка заключается в разработке конструкции и технологии изготовления средств технологического оснащения при соответствующем экономическом обосновании. Организационная подготовка заключается в организации процессов обеспечения ресурсами, необходимыми при реализации процессов изготовления (заключение договоров на поставку материалов и комплектующих, подготовку кадров и т. д.).

5. Процесс «Производство/Изготовление»

СПЗ-1 для процесса изготовления представляет собой структуру технологических действий разных уровней детализации: технологический процесс, технологическая операция, технологический переход и т. д., привязанных к реальному времени (плановому и фактическому).

Объектами технологических действий, отраженных в основной концептуальной структуре, являются ресурсы технологической среды предприятия в реальном времени (плановом и фактическом).

6. Процесс «Эксплуатация»

Процесс эксплуатации ТС включает несколько процессов — рабочее функционирование ТС и ее ремонты (предупредительные и текущие). Концептуальное моделирование процесса рабочего функционирования ТС заключается в формировании СПЗ-1 в виде декомпозиции реального функционирования ТС в реальном времени и основной концептуальной структуры, отражающей реальное функционирование технологической среды предприятия-заказчика.

Концептуальное моделирование процесса ремонта ТС (предупредительного или текущего) заключается в формировании СО-1 в виде декомпозиции процесса ремонта ТС в реальном времени и основной концептуальной структуры, отражающей реальное функционирование и ресурсы производственной среды предприятия-заказчика.

7. Процесс «Утилизация»

Концептуальное моделирование процесса утилизации ТС заключается в формировании СПЗ-1 в виде декомпозиции процесса утилизации ТС в реальном времени и основной концептуальной структуры, отражающей реальное функционирование производственной среды специализированного предприятия по утилизации.

2.4.3 Особенности применения метода концептуального моделирования к процессам жизненного цикла технических систем (немецкая практика)

Фаза производства ТС включает в себя проектирование (конструирование) ТС, подготовку производства, изготовление деталей и сборку ТС.

При концептуальном моделировании задач процесса проектирования ТС СО-1 представляет структуру процесса проектирования ТС.

Специфика процесса проектирования ТС по методологии проектирования с помощью каталогов заключается в том, что проектные фазы соответствуют внешнему проектированию (фаза формулировки задачи), внутреннему макропроектированию (функциональная фаза), внутреннему микропроектированию (предметная фаза) и технологическому проектированию (технологическая фаза). При этом фаза формулировки задачи моделирует систему требований к ТС таким образом, что охватывает процессы всего жизненного

цикла ТС. Функциональная фаза может быть реализована по двум альтернативным методикам, учитывающим разные модели структуры ТС — элементную и потоковую. При этом каждая методика позволяет формировать как функционально-логическое, так и функционально-физическое представление или модель ТС. Предметная фаза позволяет формировать обобщенные конструкторские решения и оптимизировать параметрическое описание ТС, которое оформляется в конструкторской документации.

Основная концептуальная структура для каждой фазы отражает «родословную» предметных категорий от самой сложной, а именно, предметной категории «процесс функционирования ТС» до простых предметных категорий класса «Признак» для соответствующего модельного представления структуры ТС в виде проектного решения.

При концептуальном моделировании задач процесса подготовки производства СПЗ-1 представляет структуру процесса подготовки производства, и основная концептуальная структура отражает «родословную» предметных категорий от самой сложной, а именно предметной категории «процесс функционирования технологической среды в относительном времени».

При концептуальном моделировании задач процесса изготовления деталей СО-1 представляет структуру процесса изготовления деталей, и основная концептуальная структура отражает «родословную» предметных категорий от самой сложной, а именно предметной категории «процесс функционирования технологической среды в реальном времени».

При концептуальном моделировании задач процесса сборки изделия СПЗ-1 представляет структуру процесса сборки изделия, и основная концептуальная структура отражает «родословную» предметных категорий от самой сложной, а именно предметной категории «процесс функционирования технологической среды в реальном времени».

Фаза распределения ТС включает в себя транспортировку ТС, хранение ТС и сбыт.

При концептуальном моделировании задач процесса планирования транспортировки (логистики) СО-1 представляет структуру процесса планирования транспортировки (логистики), и основная концептуальная структура отражает «родословную» предметных категорий от самой сложной, а

именно предметной категории «процесс функционирования транспортной среды в относительном времени».

При концептуальном моделировании задач процесса транспортировки СПЗ-1 представляет структуру процесса транспортировки, и основная концептуальная структура отражает «родословную» предметных категорий от самой сложной, а именно предметной категории «процесс функционирования транспортной среды в реальном времени».

При концептуальном моделировании задач процесса хранения СО-1 представляет структуру процесса хранения, и основная концептуальная структура отражает «родословную» предметных категорий от самой сложной, а именно предметной категории «процесс функционирования производственной среды хранения».

При концептуальном моделировании задач процесса сбыта СПЗ-1 представляет структуру процесса сбыта, и основная концептуальная структура отражает «родословную» предметных категорий от самой сложной, а именно предметной категории «процесс функционирования рынка».

Фаза применения ТС включает в себя функционирование (рабочее состояние и состояние покоя) ТС, техобслуживание ТС и ремонт ТС.

При концептуальном моделировании задач процесса функционирования ТС СО-1 представляет структуру процесса функционирования ТС, и ОКС отражает «родословную» ПК от самой сложной, а именно ПК «процесс функционирования изделия в реальном времени».

При концептуальном моделировании задач процесса техобслуживания ТС СПЗ-1 представляет структуру процесса техобслуживания ТС, и ОКС отражает «родословную» предметных категорий от самой сложной, а именно предметной категории «процесс функционирования ремонтной технологической среды».

При концептуальном моделировании задач процесса ремонта ТС СО-1 представляет структуру процесса ремонта ТС, и основная концептуальная структура отражает «родословную» предметных категорий от самой сложной, а именно предметной категории «процесс функционирования ремонтной технологической среды».

Фаза возобновления включает в себя замыкание жизненного цикла (утилизация ТС) и рециклинг ТС.

При концептуальном моделировании задач процесса утилизации ТС (замыкание жизненного цикла) СПЗ-1 представляет структуру процесса утилизации ТС, и основная концептуальная структура отражает «родословную» предметных категорий от самой сложной, а именно предметной категории «процесс функционирования утилизационной технологической среды».

При концептуальном моделировании задач процесса рециклинга ТС СО-1 представляет структуру процесса рециклинга ТС, и основная концептуальная структура отражает «родословную» предметных категорий от самой сложной, а именно предметной категории «процесс функционирования среды переработки».

2.4.4 Увязка процессов жизненного цикла технических систем с процессами управления ими

Каждый процесс жизненного цикла технических систем с учетом управления формально может быть описан [94]:

$$XU^i = \langle U_X^i, X^i, R_{XU}^i \rangle, \quad (2.119)$$

где XU^i – модель процесса ЖЦ ТС i -го уровня описания с учетом управления, U_X^i – процесс управления X -процессом ЖЦ ТС i -го уровня описания (орган управления), X^i – X -процесс ЖЦ ТС i -го уровня описания (объект управления), R_{XU}^i – множество связей (различных типов) между органом управления и объектом управления.

2.5 Выводы по главе

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

1. Установлены взаимосвязи между характеристиками процессов жизненного цикла технических систем.
2. Разработан метод анализа и моделирования процессов ЖЦ ТС на основе системного подхода.
3. Разработаны формальные описания взаимосвязей процессов жизненного цикла на основе проектных решений с учетом уровней абстракции технических систем.
4. Выполненное формальное описание процессов жизненного цикла технических систем с учетом российской и немецкой практик и увязка этих процессов с процессами управления позволили перейти к семантическому моделированию этих процессов.
5. Разработанные формальные описания процессов ЖЦ ТС могут служить базой для их автоматизации.
6. Модельные представления процессов функционирования и эксплуатации ТС являются содержанием проектных решений для проектной деятельности каждой практики.
7. Выявленные связи составляющих процессов ЖЦ ТС для обеих практик позволяют повышать эффективность их реализации в различных отраслях. Полученные результаты могут применяться как обобщенный пример при становлении и развитии промышленной базы в Республике Союз Мьянма.

ГЛАВА 3.

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

3.1. Особенности методики концептуального моделирования предметной задачи

Концептуальное моделирование включает выделение и описание конструкций системы знаний в предметной области задачи и их документирование. Оно включает несколько этапов, начиная с разработки обобщенной модели и заканчивая синтезом моделей задач и комплексов.

Исходной информацией для концептуального моделирования служит начальное модельное представление задачи, содержащее диаграммы и спецификации системы предметных действий, параметров и их увязки. При разработке концептуальной модели (КМ) из предметной области извлекаются конструкции, позволяющие формировать специальные диаграммы и описать их в форме спецификаций. КМ включает конструкции: систему предметных зависимостей 1-го рода (СПЗ-1), основную концептуальную структуру (ОКС) и модель в целом (матричная диаграмма).

При формировании СПЗ-1 применяются единые правила декомпозиции задачи на базовые и типовые конструкции: последовательности, переключатели и циклы. Их структурные свойства определяются с помощью специальных знаков, которые указывают на начало и окончание конструкций, а также - их дополнительные свойства.

При формировании ОКС начальными понятиями являются жизненный цикл изделия, производственные процессы и задачи. Полученные концептуальные структуры отражают иерархическую организацию системы понятий моделируемой задачи [53, 95–98].

Концептуальная модель в целом получается в виде матричной диаграммы. СПЗ 1-го рода отражается по вертикальным заголовкам на диаграмме, а предметные категории – по горизонтальным заголовкам. Свойства предметных категорий представляются на диаграмме с помощью специальных символов [95–98].

Формирование спецификаций заключается в отображении разработанных диаграмм в табличный вид для предметной задачи. Формы F1–F6 представлены на рисунках 3.1–3.5 [53]. Разработкой концептуальной модели предметной задачи занимается инженер-специалист по представлению знаний. Полученная концептуальная модель проверяется на целостность и непротиворечивость.

Форма F1: описание предметных категорий

Код ПК	Наименование ПК	Класс ПК	Тип ПК	Статус ПК	Оценка

Рис. 3.1 Описание спецификации (формы) F1 [53]

Форма F2: описание бинарных связей предметных категорий

Код связи ПК	Класс связи ПК	Код ПК1	Код ПК2	Код ПК3	Наименование связи ПК	Тип связи ПК	Оценка

Рис. 3.2 Описание спецификации (формы) F2 [53]

Форма F3: описание ПЗ-1

Код ПЗ-1	Наименование ПЗ-1	Степень формализации	Статус ПЗ-1	Структурное свойство

Рис. 3.3 Описание спецификации (формы) F3 [53]

Форма F4: описание СПЗ-1

Код ПЗ-1	Код ПЗ-2	Код ПЗ-3	Оценка связи	Вид	Код связи ПЗ

Рис. 3.4 Описание спецификации (формы) F4 [53]

Форма F6: описание концептуальной модели в целом

Код ПЗ-1	Стр. свойство ПЗ-1	Код ПК	Роль ПК	Структурное свойство ПК	Объемное свойство ПК	Особая роль ПК

Рис. 3.5 Описание спецификации (формы) F6 [53]

В итоге получается конечная версия концептуальной модели для комплекса предметных задач и для каждой предметной задачи.

3.2 Разработка концептуального представления задач по методологии проектирования с помощью каталогов (немецкая практика)

3.2.1 Особенности методологии проектирования с помощью каталогов, учитываемые при семантическом моделировании

Весь процесс моделирования по методологии проектирования с помощью каталогов (немецкая практика) достаточно условно делится на четыре фазы [59]: фаза формулировки задачи (ФЗ), содержанием которой является внешнее проектирование технической системы в виде системы требований к ней на всех этапах ее жизненного цикла; функциональная фаза (Ф), которая определяет внутреннее проектирование технической системы в виде обоснования ее функционально-физической структуры, обеспечивающей достижение заданных целей; предметная фаза (П) также относится к внутреннему проектированию технической системы, но при этом формируется ее конструктивный облик и оптимизируются ее целевые характеристики; технологическая фаза (Т) обеспечивает проектное представление процесса изготовления создаваемой технической системы (ТС) в рамках конкретной технологической среды предприятия.

К особенностям методологии проектирования с помощью каталогов следует отнести [59]: наличие иерархии проектных действий: проект в целом, фаза, этап фазы; итерационный процесс проектирования, т.е. отработка решений (модельных представлений изделия или ТС) на каждом этапе, на каждой фазе вплоть до проекта в целом; возможность формулирования дополнительных требований к ТС на отдельных фазах и этапах проектирования; каждая фаза/этап заканчивается сравнением реальной (полученной в результате проектирования ТС) и идеальной (требуемой) функции; наличие методического обеспечения фаз и этапов процесса проектирования с использованием большого объема разнообразных каталогов; интеграция проектно-конструкторской и проектно-технологической деятельности в рамках методологии.

На первой фазе выполняются следующие действия: 1) уточнение постановки задачи на основе анализа и дополнение этой постановки инструктивной частью (указания, инструкции для составления конструкторско-технологической документации); 2) описание функциональных положений,

отражающих рабочий цикл возможного функционирования создаваемой ТС; 3) составление списков требований, которые включают в себя совокупность ограничений. С одной стороны, эти ограничения могут быть распределены по различным фазам жизненного цикла ТС, а с другой стороны, могут быть заданы различными формами и способами (либо конкретное целевое значение, либо ограничительное значение, либо диапазон).

На второй фазе (функциональной) выполняются два этапа, связанных с: формированием абстрактной функциональной структуры ТС; формированием физической и логической структуры ТС. Эти этапы могут выполняться по двум методикам моделирования структуры ТС – элементной и потоковой методикам, отражающим разные функциональные элементы. Для каждого этапа формируется набор модельных представлений ТС в соответствии с определенным типом структур [59].

На третьей фазе выполняются действия, связанные с конструктивным оформлением создаваемой ТС на основе инженерных расчетов и документирования полученных результатов. На этой фазе формируется геометрически оформленная реализация изделия в виде: 1) линейно-структурной схемы; 2) контурного представления (эскизного); 3) геометрического размерного представления (форма, размер, материал) с обоснованием технико-экономических показателей полученного решения, в том числе и стоимостных. На четвертой фазе выполняется технологическая проработка разработанной конструкции ТС с обоснованием методов и средств получения элементов конструкции и их сборки [59].

Детальный анализ рассмотренной методологии проектирования с помощью каталогов позволил приступить к семантическому моделированию проектных задач в виде концептуальных представлений по методологии автоматизации интеллектуального труда для первых двух фаз. При этом учет особенностей обуславливает формирование полного модельного представления объекта/изделия как совокупности модельных представлений объекта на всех фазах. А модельное представление объекта на фазе как совокупности модельных представлений объекта на всех этапах фазы. При этом модельное представление объекта на фазе или этапе определяется как положительно оцененная версия.

3.2.2 Разработка динамической структуры модели

3.2.2.1 Формирование диаграмм системы предметных зависимостей 1-го рода

Начальной конструкцией алгоритма формирования модельных представлений объекта на всех фазах проектирования по методологии проектирования с помощью каталогов является цикл a1.1 (рис. 3.6).

В позиции a2.1 происходит формирование модельных представлений объекта на i -й фазе проектирования. Далее i -я фаза фиксируется в позиции a3.1, и выполняется формирование модельных представлений объекта на текущей фазе в позиции a3.2. Позиция a3.3 раскрывается как альтернатива, определяющая продолжение цикла. При наличии следующей фазы a4.4 происходит переход на следующую фазу $i = i + 1$ в позиции a5.2 и модельное представление объекта для предыдущей фазы добавляется в массив как промежуточный элемент в позиции a5.3. А в случае отсутствия следующей фазы, в позиции a4.5 модельное представление объекта для текущей фазы добавляется в массив последним элементом, и происходит выход из цикла.

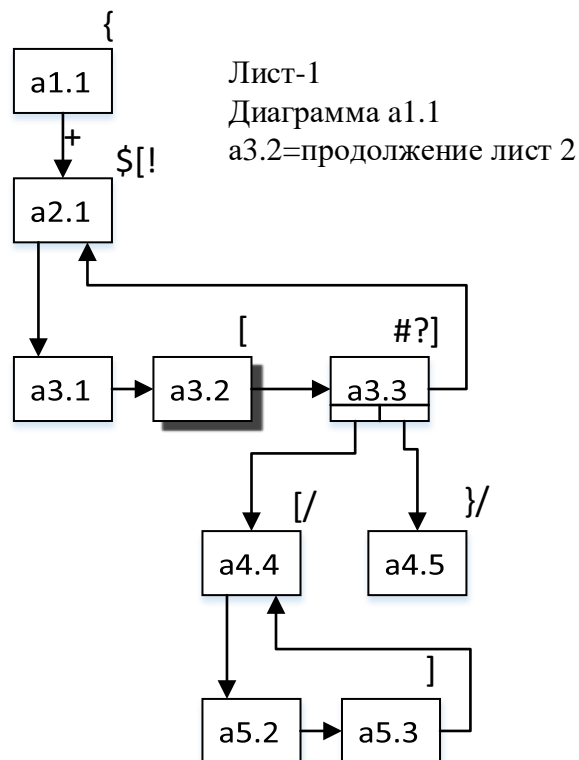
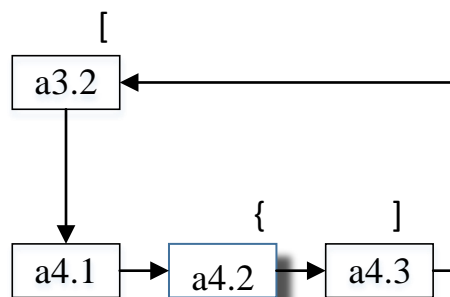


Рис. 3.6 Формирование модельных представлений объекта на всех фазах проектирования, где a1.1: формирование модельных представлений объекта на всех фазах проектирования; a2.1: формирование модельных представлений объекта на i -й фазе проектирования; a3.1: фиксация фазы; a3.2: формирование модельных представлений объекта на текущей фазе; a3.3: формирование модельных представлений объекта на всех фазах проектирования в зависимости

от продолжения; а4.4: формирование модельных представлений объекта на всех фазах проектирования при продолжении; а5.2: переход на следующей фазе; а5.3: формирование модельных представлений объекта на всех фазах проектирования при продолжении для предыдущей фазы; а4.5: формирование модельных представлений объекта на всех фазах проектирования при окончании.

Позиция а3.2 раскрывается как последовательность из трех действий (рис. 3.7). В позиции а4.1 определяется наименование фазы. Далее в а4.2 выполняется формирование множества версий модельных представлений объекта на текущей фазе, и в а4.3 формируются окончательные модельные представления объекта на текущей фазе.



Лист 2

Диаграмма а3.2

а4.2=продолжение лист 3

Рис. 3.7 Формирование модельных представлений объекта (МПО) на текущей фазе, где а3.2: формирование модельных представлений объекта на текущей фазе; а4.1: определение наименования фазы; а4.2: формирование множества версий модельных представлений объекта на текущей фазе; а4.3: формирование окончательных модельных представлений объекта на текущей фазе.

Позиция а4.2 раскрывается как цикл, в котором происходит формирование множества версий модельных представлений объекта на текущей фазе (рис. 3.8). В позиции а6.1 происходит фиксация версии модельного представления МП объекта на текущей фазе. Формирование версии МП объекта на текущей фазе в зависимости от наименования фазы выполняется в позиции а6.2.

В третьей позиции последовательности находится альтернатива. Эксперту предоставляется возможность самостоятельно выбирать, удовлетворительна ли оценка версии МП объекта фазы. При неудовлетворительной оценке переходит к новой версии в позиции а8.3. В позиции а8.4 формируется множество версий МП объекта на текущей фазе при неудовлетворительной оценке для предыдущей версии. В случае удовлетворительной оценки формируется окончательная версия МП объекта на текущей фазе в позиции а7.6.

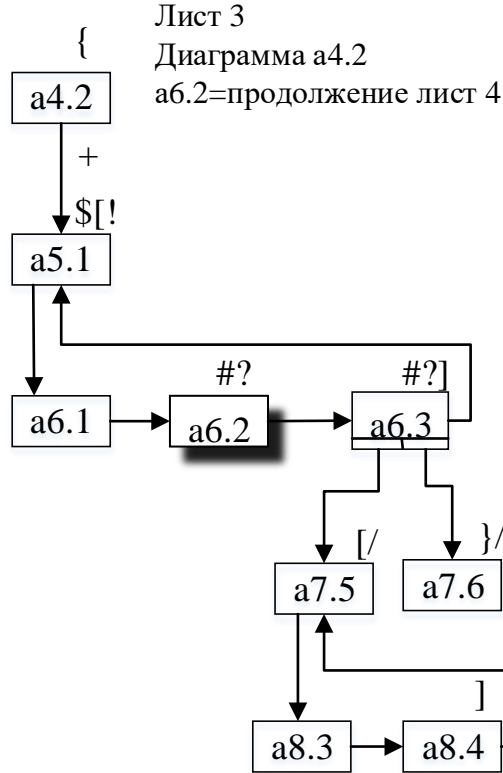


Рис. 3.8 Формирование множества версий МПО на текущей фазе, где а4.2: формирование множества версий модельных представлений объекта на текущей фазе; а5.1: формирование j-й версии модельных представлений объекта на текущей фазе; а6.1: фиксация версии; а6.2: формирование текущей версии модельных представлений объекта на текущей фазе в зависимости от наименования фазы; а6.3: формирование множества версий модельных представлений объекта на текущей фазе в зависимости от оценки версии; а7.5: формирование множества версий модельных представлений объекта на текущей фазе при неудовлетворительной оценке; а8.3: переход к новой версии; а8.4: формирование множества версий модельных представлений объекта на текущей фазе при неудовлетворительной оценке для предыдущей версии; а7.6: формирование множества версий модельных представлений объекта на текущей фазе при удовлетворительной оценке.

Позиция а6.2 является альтернативой, в которой формируется версия МП объекта на текущей фазе в зависимости от наименования фазы (рис. 3.9).

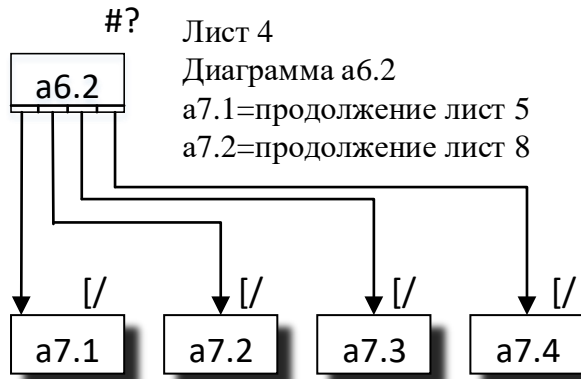


Рис. 3.9 Формирование версии МПО на текущей фазе в зависимости от наименования фазы, где а6.2: формирование текущей версии модельных представлений объекта на текущей фазе в зависимости от наименования фазы; а7.1: формирование текущей версии модельных представлений объекта на текущей фазе при наименовании фазы «Ф3»; а7.2: формирование

текущей версии модельных представлений объекта на текущей фазе при наименовании фазы «Ф»; а7.3: формирование текущей версии модельных представлений объекта на текущей фазе при наименовании фазы «П»; а7.4: формирование текущей версии модельных представлений объекта на текущей фазе при наименовании фазы «Т».

В дальнейшем позиция а7.1 определяет формирование текущей версии модельных представлений объекта на текущей фазе при наименовании фазы «ФЗ», а позиция а7.2 определяет формирование текущей версии модельных представлений объекта на текущей фазе при наименовании фазы «Ф». Далее они будут переименованы в позиции b1.1 и c1.1 соответственно.

Позиция b1.1 раскрывается как последовательность и представлена на рис. 3.10. В позиции b2.1 формируется версия МП объекта на текущей фазе при наименовании фазы «ФЗ» с учетом этапов. В позиции b2.2 выполняется оценка текущей версии МП объекта фазы.

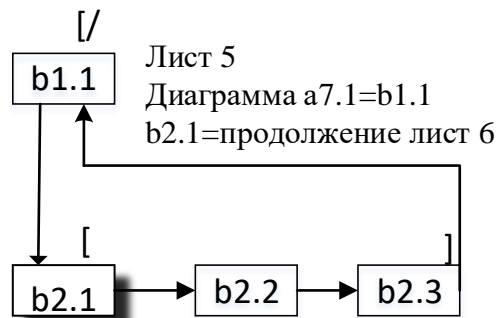


Рис. 3.10 Формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ», где b1.1: формирование версии на фазе МПО на текущей фазе «ФЗ»; b2.1: формирование версии на фазе МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапов; b2.2: формирование версии на фазе МПО на текущей фазе «ФЗ»; b2.3: оценка версии на фазе МПО на текущей фазе «ФЗ».

Позиция b2.1 раскрывается как цикл на рис.3.11. В позиции b3.1 происходит формирование версии МП объекта на текущей фазе при наименовании фазы «ФЗ» с учетом k -го этапа. В позиции b4.1 фиксируется этап. В позиции b4.2 происходит формирование версии МП объекта на текущей версии фазы при наименовании фазы «ФЗ» для текущего этапа. Позиция b4.3 является альтернативой. При неудовлетворительной оценке происходит переход к следующему этапу $k = k + 1$ в позиции b6.6 и формируется версия МП объекта для предыдущего этапа в позиции b6.7. При удовлетворительной оценке в позиции b5.4 происходит добавление версии МП объекта текущей фазы в массив.

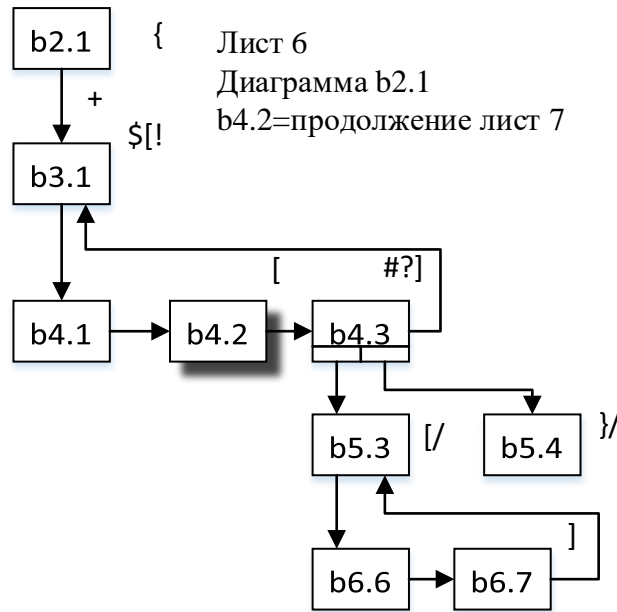


Рис. 3.11 Формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапов, где b2.1: формирование текущей версии МПО на текущей фазе при наименовании фазы «ФЗ» с учетом множества этапов; b3.1: формирование текущей версии МПО на текущей фазе при наименовании фазы «ФЗ» на k-ом этапе; b4.1: фиксация этапа; b4.2: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «ФЗ» на текущем этапе; b4.3: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом множества этапов в зависимости от оценки этапа; b5.3: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом множества этапов при неудовлетворительной оценке; b6.6: переход к следующему этапу $k = k + 1$; b6.7: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом множества этапов при неудовлетворительной оценке для предыдущего этапа; b5.4: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом множества этапов при удовлетворительной оценке.

Позиция b4.2, в которой происходит формирование версии МП объекта на текущей фазе «ФЗ» на текущем этапе, представляет собой последовательность (рис. 3.12).

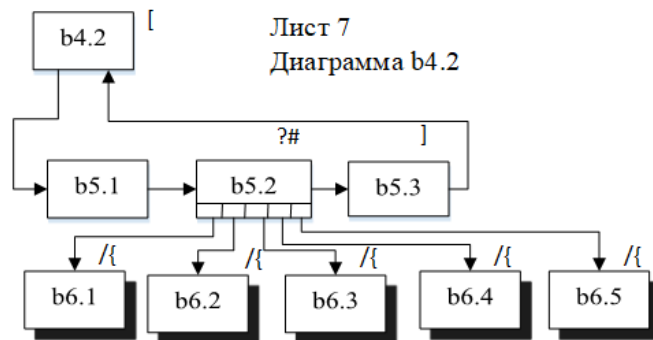


Рис. 3.12 Формирование текущей версии МПО на текущей фазе «ФЗ» на текущем этапе, где b6.1: продолжение, лист 8; b6.2: продолжение, лист 10; b6.3: продолжение, лист 12; b6.4: продолжение, лист 14; b6.5: продолжение, лист 16; b4.2: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «ФЗ» на текущем этапе; b5.1: определение наименования этапа; b5.2: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «ФЗ» на текущем этапе в зависимости от наименования этапа; b6.1: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «ФЗ» на текущем этапе при наименовании этапа «Постановка задачи»; b6.2: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «ФЗ» на текущем этапе при наименовании этапа «Описание

функциональных положений»; b6.3: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «ФЗ» на текущем этапе при наименовании этапа «Формирование списка требований 1»; b6.4: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «ФЗ» на текущем этапе при наименовании этапа «Формирование списка требований 2»; b6.5: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «ФЗ» на текущем этапе при наименовании этапа «Формирование списка требований 3»; b5.2: формирование результата этапа.

В позиции b5.1 определяется наименование этапа. В позиции b5.2 формируется версия МП объекта на текущей фазе «ФЗ» для текущего этапа в зависимости от его наименования. В позиции b6.1 формируется версия МП объекта на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «постановка задачи» «ПЗ». В позиции b6.2 формируется версия МП объекта на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «описание функциональных положений» «Ф-П». В позиции b6.3 формируется версия МП объекта на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «формирование списка требований 1» «СТ1». В позиции b6.4 формируется версия МП объекта на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «формирование списка требований 2» «СТ2». В позиции b6.5 формируется версия МП объекта на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «формирование списка требований 3» «СТ3».

Позиция b6.1 раскрывается как цикл на рис. 3.13.

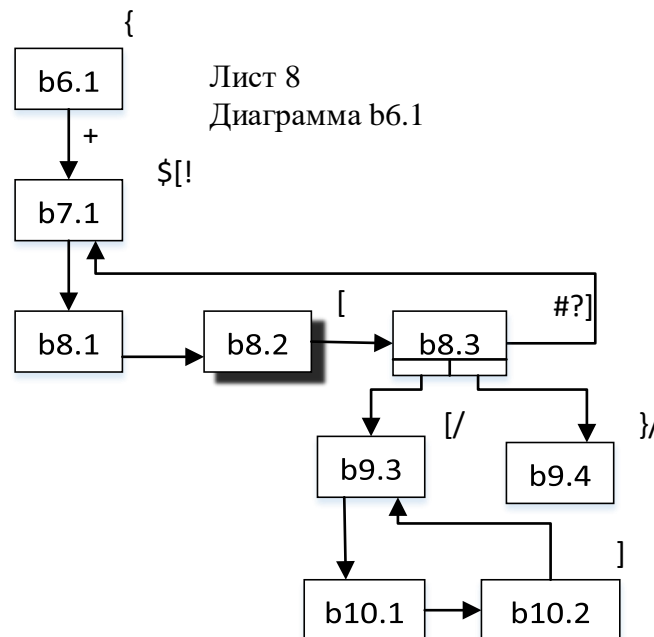


Рис. 3.13 Формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» на текущем этапе «ПЗ», где b8.2 = продолжение, лист 9; b6.1: формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «ПЗ» для множества версий этапа; b7.1: формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «ПЗ» для r-й версии этапа; b8.1: фиксация версии этапа; b8.2: формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «ПЗ» для текущей версии этапа с учетом ее оценки; b8.3: формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «ПЗ» для множества версий этапа в зависимости от ее оценки; b9.3: формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «ПЗ» для множества версий этапа при отрицательной оценке; b10.1: переход к следующей версии $p = p + 1$; b10.2: формирование версии МПО на

текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «ПЗ» для множества версий этапа при отрицательной оценке для предыдущей версии этапа; b9.4: формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «ПЗ» для множества версий этапа при положительной оценке.

В позиции b7.1 происходит формирование версии МПО на текущей фазе при наименовании фазы «ФЗ» с учетом этапа «ПЗ» для r -й его версии. В позиции b8.1 фиксируется версия этапа. В позиции b8.2 происходит формирование версии МПО на текущей версии фазы при наименовании фазы «ФЗ» для текущей версии этапа «ПЗ». Позиция b8.3 является альтернативой. При неудовлетворительной оценке происходит переход к следующей версии этапа $r=r+1$ в позиции b10.1 и формируется версия МПО для предыдущего этапа в позиции b10.2. При удовлетворительной оценке в позиции b9.4 происходит добавление версии этапа «ПЗ» в МПО текущей фазы «ФЗ» в массив.

Позиция b8.2 раскрывается как последовательность на рис. 3.14. В позиции b9.1 формируется версия МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «ПЗ» для текущей версии этапа. В позиции b9.2 выполняется оценка текущей версии этапа для версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «ПЗ».

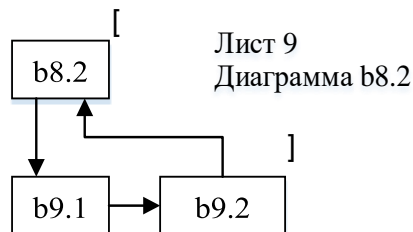


Рис. 3.14 Формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «ПЗ» для текущей версии этапа с учетом ее оценки, где b8.2: формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «ПЗ» для текущей версии этапа с учетом ее оценки; b9.1: формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «ПЗ» для текущей версии этапа; b9.2: оценка текущей версии этапа для версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «ПЗ».

Позиция b6.2 раскрывается как цикл на рис.3.15. В позиции b7.2 происходит формирование версии МП объекта на текущей фазе при наименовании фазы «ФЗ» с учетом этапа «Ф-П» для s -й его версии. В позиции b8.4 фиксируется версия этапа. В позиции b8.5 происходит формирование версии МПО на текущей версии фазы при наименовании фазы «ФЗ» для текущей версии этапа «Ф-П». Позиция b8.6 является альтернативой. При неудовлетворительной оценке происходит переход к следующей версии этапа $s=s+1$ в позиции b10.3 и формируется версия МПО для предыдущего этапа в позиции b10.4. При удовлетворительной оценке в позиции b9.8 происходит добавление версии этапа «Ф-П» в МПО текущей фазы «ФЗ» в массив.

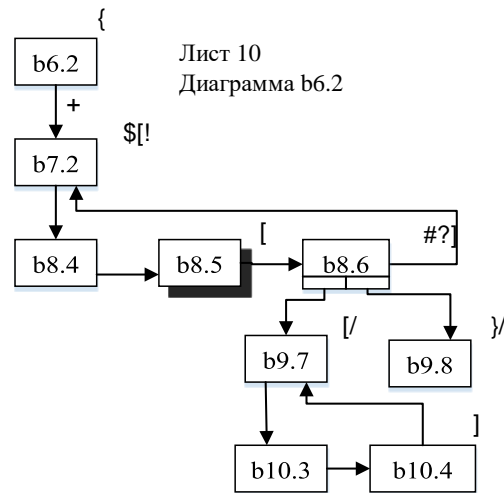


Рис. 3.15 Формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» на текущем этапе «Ф-П», где b8.5 = продолжение, лист 11; b6.2: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «Ф-П» для множества версий этапа; b7.2: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «Ф-П» для s-й версии этапа; b8.4: фиксация версии этапа; b8.5: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «Ф-П» для текущей версии этапа с учетом ее оценки; b8.6: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «Ф-П» для множества версий этапа в зависимости от ее оценки; b9.7: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «Ф-П» для множества версий этапа при отрицательной оценке; b10.3: переход к следующей версии $s = s + 1$; b10.4: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «Ф-П» для множества версий этапа при отрицательной оценке для предыдущей версии этапа; b9.8: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «Ф-П» для множества версий этапа при положительной оценке.

Позиция b8.5 раскрывается как последовательность на рис. 3.16. В позиции b9.5 формируется версия МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «Ф-П» для текущей версии этапа. В позиции b9.6 выполняется оценка текущей версии этапа для версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «Ф-П».

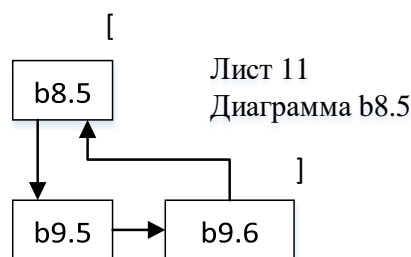


Рис. 3.16 Формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «Ф-П» для текущей версии этапа с учетом ее оценки, где b8.5: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «Ф-П» для текущей версии этапа с учетом ее оценки; b9.5: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «Ф-П» для текущей версии этапа; b9.6: оценка текущей версии этапа для версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «Ф-П».

Позиция b6.3 раскрывается как цикл на рис. 3.17. В позиции b7.3 происходит формирование версии МПО на текущей фазе при наименовании фазы «Ф3» с учетом этапа «СТ1» для r-й его версии. В позиции b8.7 фиксируется версия этапа. В позиции b8.8 происходит формирование версии МПО на текущей

версии фазы при наименовании фазы «ФЗ» для текущей версии этапа «СТ1». Позиция b8.9 является альтернативой. При неудовлетворительной оценке происходит переход к следующей версии этапа $r = r + 1$ в позиции b10.5 и формируется версия МПО для предыдущего этапа в позиции b10.6. При удовлетворительной оценке в позиции b9.12 происходит добавление версии этапа «СТ1» в МПО текущей фазы «ФЗ» в массив.

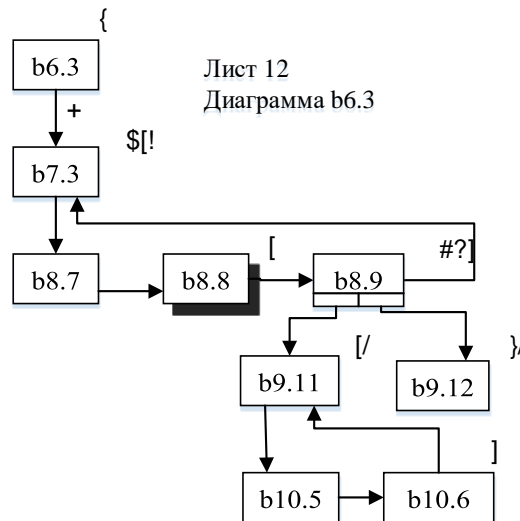


Рис. 3.17 Формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» на текущем этапе «СТ1», где b8.8 = продолжение, лист 13; b6.3: формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «СТ1» для множества версий этапа; b7.3: формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «СТ1» для r -й версии этапа; b8.7: фиксация версии этапа; b8.8: формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «СТ1» для текущей версии этапа с учетом ее оценки; b8.9: формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «СТ1» для множества версий этапа в зависимости от ее оценки; b9.11: формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «СТ1» для множества версий этапа при отрицательной оценке; b10.5: переход к следующей версии $r = r + 1$; b10.6: формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «СТ1» для множества версий этапа при отрицательной оценке для предыдущей версии этапа; b9.12: формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «СТ1» для множества версий этапа при положительной оценке.

Позиция b8.8 раскрывается как последовательность на рис. 3.18.

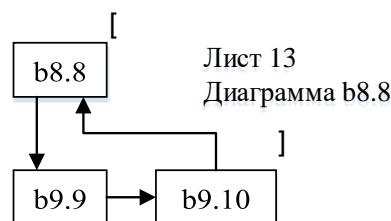


Рис. 3.18 Формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «СТ1» для текущей версии этапа с учетом ее оценки, где b8.8: формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «СТ1» для текущей версии этапа с учетом ее оценки; b9.9: формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «СТ1» для текущей версии этапа; b9.10: оценка текущей версии этапа для версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «СТ1».

В позиции b9.9 формируется версия МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ1» для текущей версии этапа. В позиции b9.10 выполняется оценка текущей версии этапа для версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ1».

Позиция b6.4 раскрывается как цикл на рис. 3.19.

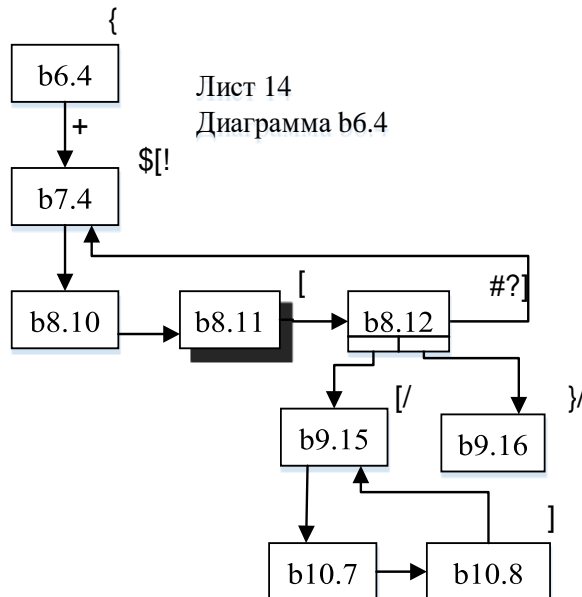


Рис. 3.19 Формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» на текущем этапе «СТ2», где b8.11 = продолжение, лист 15; b6.4: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ2» для множества версий этапа; b7.4: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ2» для t-й версии этапа; b8.10: фиксация версии этапа; b8.11: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ2» для текущей версии этапа с учетом ее оценки; b8.12: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ2» для множества версий этапа в зависимости от ее оценки; b9.15: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ2» для множества версий этапа при отрицательной оценке; b10.7: переход к следующей версии $t = t + 1$; b10.8: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ2» для множества версий этапа при отрицательной оценке для предыдущей версии этапа; b9.16: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ2» для множества версий этапа при положительной оценке.

В позиции b7.4 происходит формирование версии МПО на текущей фазе при наименовании фазы «Ф3» с учетом этапа «СТ2» для t-й его версии. В позиции b8.10 фиксируется версия этапа. В позиции b8.11 происходит формирование версии МПО на текущей версии фазы при наименовании фазы «Ф3» для текущей версии этапа «СТ2». Позиция b8.12 является альтернативой. При неудовлетворительной оценке происходит переход к следующей версии этапа $t=t+1$ в позиции b10.7 и формируется версия МПО для предыдущего этапа в позиции b10.8. При удовлетворительной оценке в позиции b9.16 происходит добавление версии этапа «СТ2» в МПО текущей фазы «Ф3» в массив.

Позиция b8.11 раскрывается как последовательность на рис. 3.20. В позиции b9.13 формируется версия МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ2» для текущей версии этапа. В позиции b9.14 выполняется оценка текущей версии этапа для версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ2».

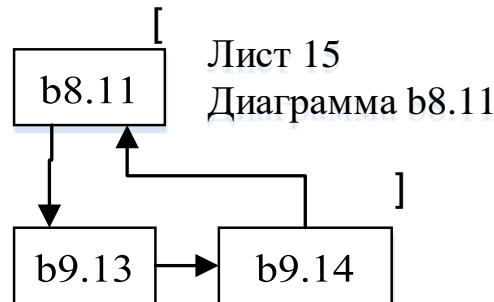


Рис. 3.20 Формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ2» для текущей версии этапа с учетом ее оценки, где b8.11: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ2» для текущей версии этапа с учетом ее оценки; b9.13: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ2» для текущей версии этапа; b9.14: оценка текущей версии этапа для версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ2».

Позиция b6.5 раскрывается как цикл на рис. 3.21.

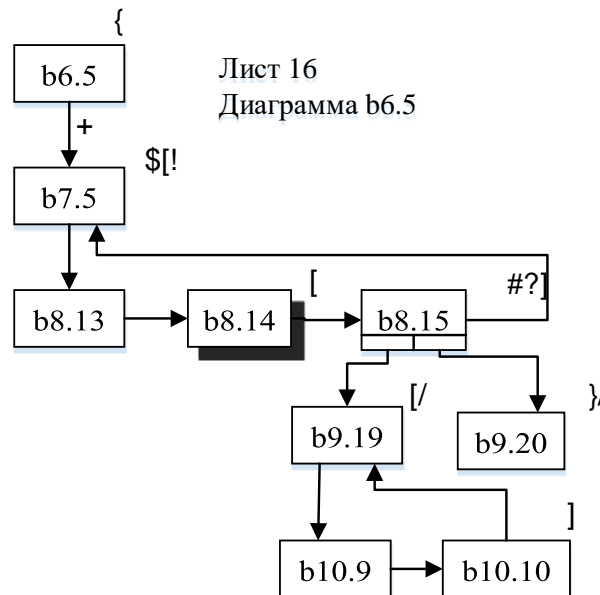


Рис. 3.21 Формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» на текущем этапе «СТ3», где b8.14= продолжение лист 17; b6.5: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ3» для множества версий этапа; b7.5: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ3» для u -й версии этапа; b8.13: фиксация версии этапа; b8.14: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ3» для текущей версии этапа с учетом ее оценки; b8.15: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ3» для множества версий этапа в зависимости от ее оценки; b9.19: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ3» для множества версий этапа при отрицательной оценке; b10.9: переход к следующей версии $u = u + 1$; b10.10: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ3» для множества версий этапа при отрицательной оценке для предыдущей версии этапа; b9.20: формирование версии МПО на текущей фазе «Ф3» с учетом этапа «СТ3» для множества версий этапа при положительной оценке.

В позиции b7.5 происходит формирование версии МП объекта на текущей фазе при наименовании фазы «ФЗ» с учетом этапа «СТЗ» для u -й его версии. В позиции b8.13 фиксируется версия этапа. В позиции b8.14 происходит формирование версии МПО на текущей версии фазы при наименовании фазы «ФЗ» для текущей версии этапа «СТЗ». Позиция b8.15 является альтернативой. При неудовлетворительной оценке происходит переход к следующей версии этапа $u = u + 1$ в позиции b10.9, и формируется версия МПО для предыдущего этапа в позиции b10.10. При удовлетворительной оценке в позиции b9.20 происходит добавление версии этапа «СТЗ» в МПО текущей фазы «ФЗ» в массив.

Позиция b8.14 раскрывается как последовательность на рис. 3.22. . В позиции b9.17 формируется версия МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «СТЗ» для текущей версии этапа. В позиции b9.18 выполняется оценка текущей версии этапа для версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «СТЗ».

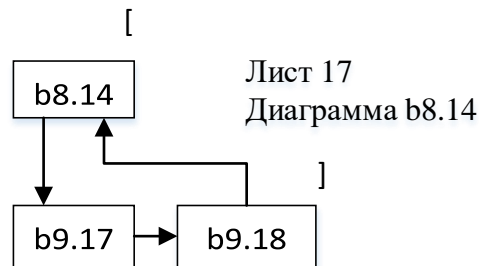


Рис. 3.22 Формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «СТЗ» для текущей версии этапа с учетом ее оценки, где b8.14: формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «СТЗ» для текущей версии этапа с учетом ее оценки; b9.17: формирование версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «СТЗ» для текущей версии этапа; b9.18: оценка текущей версии этапа для версии МПО на текущей фазе «ФЗ» с учетом этапа «СТЗ».

Позиция c1.1 определяет формирование текущей версии модельных представлений объекта на текущей фазе «Ф» и раскрывается как последовательность на рис. 3.23.

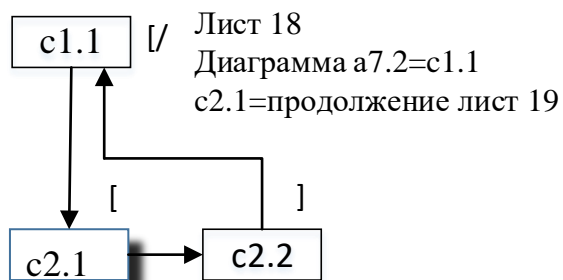


Рис. 3.23 Формирование текущей версии (ТВ) МПО на текущей фазе при наименовании «Ф», где c2.1 = продолжение, лист 19; c1.1: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «Ф»; c2.1: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «Ф» с учетом методик выполнения; c2.2: оценка текущей версии МПО на текущей фазе «Ф».

В позиции с2.1 происходит формирование модельных представлений объекта текущей версии фазы с учетом методик выполнения. Далее в позиции с2.2 выполняется оценка модельных представлений объекта текущей версии текущей задачи.

Позиция с2.1 раскрывается как последовательность на рис. 3.24. В позиции с3.1 определяется вид методики выполнения. В позиции с3.2 формируются модельные представления изделия текущей версии фазы «Ф» в зависимости от вида методики.

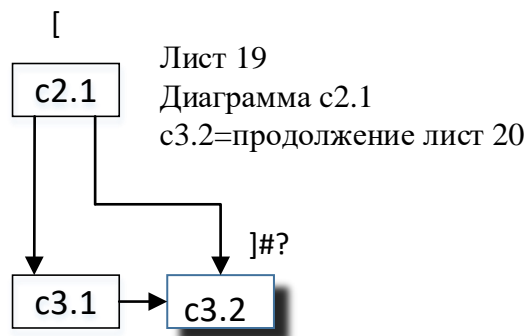


Рис. 3.24. Формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» с учетом вида методик, где с3.2 = продолжение, лист 20; с2.1: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «Ф» с учетом методик выполнения; с3.1: определение вида методики выполнения; с3.2: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «Ф» в зависимости от вида методики.

Позиция с3.2 раскрывается как альтернатива на рис. 3.25. В позиции с4.1 формируется текущая версия МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике и в позиции с4.2 формируется текущая версия МПО на текущей фазе «Ф» при потоковой методике.

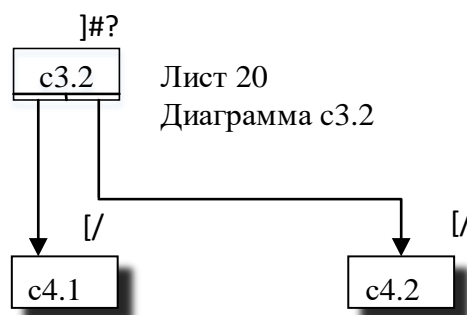


Рис. 3.25 Формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» в зависимости от вида методики, где с4.1 = продолжение, лист 21; с4.2 = продолжение, лист 32; с3.2: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «Ф» в зависимости от вида методики; с4.1: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике; с4.2: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «Ф» при потоковой методике.

Позиция с4.1=f1.1 раскладывается как последовательность на рис. 3.26.

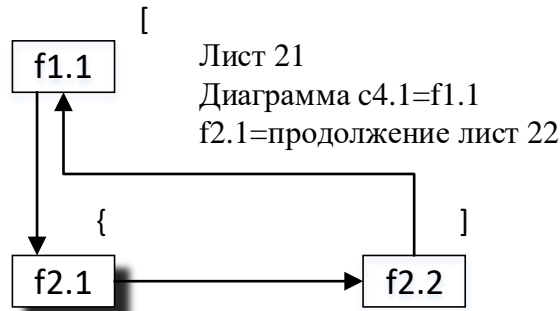


Рис. 3.26 Формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике (см. b1.1), где f2.1= продолжение, лист 22; f1.1: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике; f2.1: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для множества этапов; f2.2: формирование текущей версии МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике (сборка по этапам).

В позиции f2.1 формируется текущая версия МПО фазы «Ф» для вида методики «элементная» для множества этапов. В позиции f2.2 происходит сборка по этапам текущей версии МПО фазы «Ф».

Позиция f2.1 представляет собой цикл на рис. 3.27.

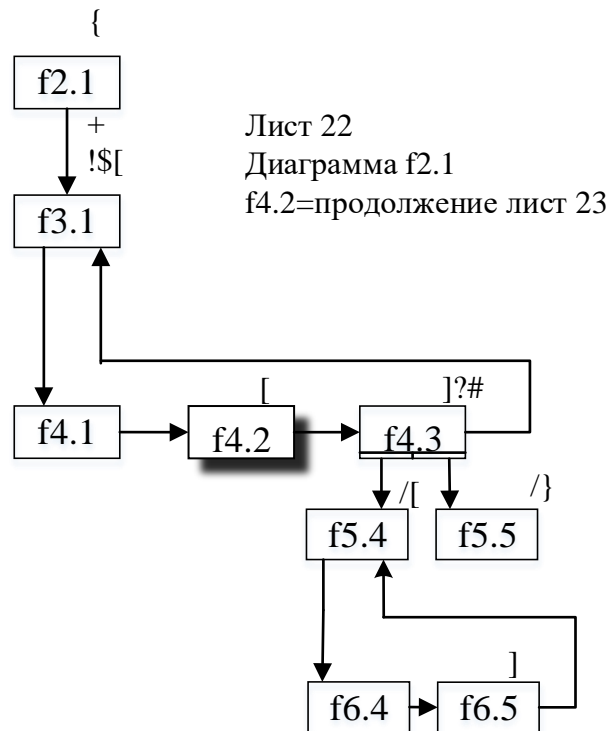


Рис. 3.27 Формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для множества этапов, где f2.1: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для множества этапов; f3.1: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для k-го этапа; f4.1: фиксация этапа; f4.2: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа; f4.3: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для множества этапов в зависимости от наличия этапов; f5.4: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для множества этапов при наличии этапа; f6.4: переход к следующему этапу $k = k + 1$; f6.5: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для множества этапов

при наличии этапов для предыдущего этапа; f5.5: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для множества этапов при отсутствии этапов

В позиции f3.1 формируется текущая версия модельных представлений объекта (ТВ МПО) на фазе «Ф» при виде методики «элементная» для k -го этапа. В позиции f4.1 фиксируется этап. В позиции f4.2 происходит формирование ТВ МПО на фазе «Ф» при виде методики «элементная» для текущего этапа. Позиция f4.3 является альтернативой, определяющей окончание цикла. При наличии этапов счетчик цикла прибавляется на единицу, $k=k+1$. В позиции f6.5 формируется ТВ МПО для предыдущего этапа. В случае отсутствия продолжения формируется ТВ МПО на фазе «Ф» для элементной методики, и происходит выход из цикла в позиции f5.4.

Позиция f4.2 раскрывается как последовательность на рис. 3.28. В позиции f5.1 определяется наименование этапа для данной методики. Далее позиция f5.2 представляет собой альтернативу. В позиции f6.1 происходит формирование ТВ МПО на фазе «Ф» для элементной методики для текущего этапа при его наименовании «Ф-АФС» для множества версий МПО данного этапа. В позиции f6.2 происходит формирование ТВ МПО на фазе «Ф» для элементной методики для текущего этапа при его наименовании «Ф-ВФС» для множества версий МПО данного этапа. В позиции f6.3 происходит формирование ТВ МПО на фазе «Ф» для элементной методики для текущего этапа при его наименовании «Ф-ГФС» для множества версий МПО данного этапа. В дальнейшем позиции f6.1, f6.2 и f6.3 будут переименованы в позиции h1.1, i1.1 и j1.1 соответственно.

В позиции f5.3 формируется МПО на текущей фазе «Ф» на текущем этапе.

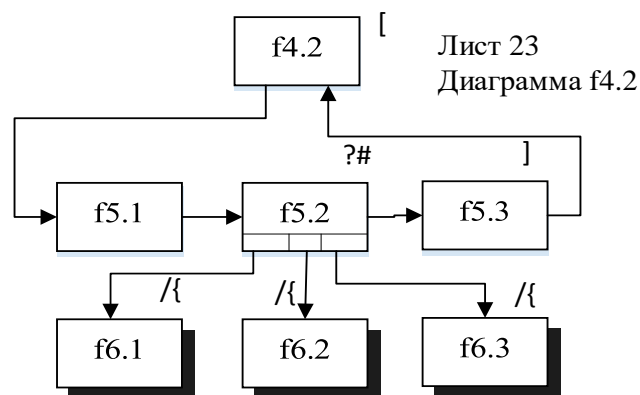


Рис. 3.28 Формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа, где f6.1= продолжение, лист 24; f6.2 = продолжение, лист 26; f6.3 = продолжение, лист 28; f4.2: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа; f5.1: определение наименования этапа; f5.2: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа в зависимости от наименования этапа; f6.1:

формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-АФС» для множества версий этапа; f6.2: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ВФС» для множества версий этапа; f6.3: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ГФС» для множества версий этапа; f5.3: формирование МПО на текущей фазе «Ф» на текущем этапе

Позиция h1.1 представлена как цикл на рис. 3.29. В позиции h2.1 формируются ТВ МПО на фазе «Ф» для элементной методике для текущего этапа при его наименовании «Ф-АФС» для i -й версии этапа. В h3.1 фиксируют версию этапа. В позиции h3.2 происходит ТВ МПО на фазе «Ф» для элементной методике для текущего этапа при его наименовании «Ф-АФС» для текущей версии этапа с учетом оценки. Позиция h3.3 раскрывается как альтернатива, в которой происходит формирование ТВ МПО на фазе «Ф» для элементной методике для текущего этапа при его наименовании «Ф-АФС» в зависимости от оценки версий этапа. При неудовлетворительной оценке счетчик цикла прибавляется на единицу и переходит к следующей версии этапа в позиции h5.1. В позиции h5.2 формируется ТВ МПО на фазе «Ф» для элементной методике для текущего этапа при его наименовании «Ф-АФС» для предыдущей версии. При удовлетворительной оценке формируются ТВ МПО на фазе «Ф» для элементной методике для текущего этапа при его наименовании «Ф-АФС» для текущей версии этапа и выходит из цикла в позиции h4.4.

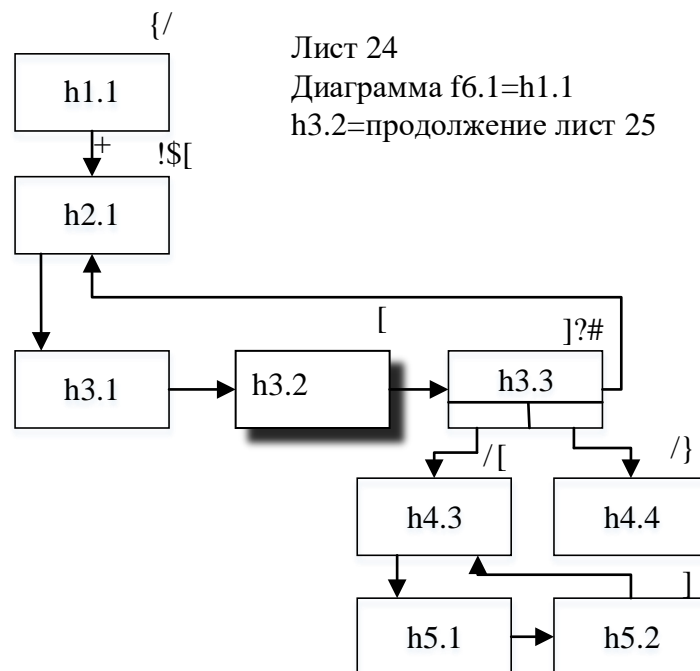


Рис. 3.29 Формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-АФС» для множества версий этапа, где h1.1: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании

этапа «Ф-АФС» для множества версий этапа; h2.1: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-АФС» для i -й версии этапа; h3.1: фиксация версии этапа; h3.2: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-АФС» для текущей версии этапа с учетом оценки; h3.3: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-АФС» для множества версий этапа в зависимости от оценки версии этапа; h4.3: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-АФС» для множества версий этапа при неудовлетворительной оценке версии этапа; h5.1: переход к следующей версии этапа $i = i + 1$; h5.2: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-АФС» для множества версий этапа при неудовлетворительной оценке версии этапа для предыдущей версии; h4.4: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-АФС» для множества версий этапа при удовлетворительной оценке версии этапа.

Позиция h3.2 раскрывается как последовательность на рис. 3.30.

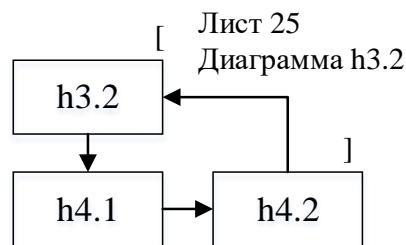


Рис. 3.30 Формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-АФС» для текущей версии этапа с учетом оценки, где h3.2: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-АФС» для текущей версии этапа с учетом оценки; h4.1: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-АФС» для текущей версии этапа; h4.2: оценка ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-АФС» для текущей версии этапа.

В позиции h4.1 формируются ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа «Ф-АФС» для текущей версии этапа. В позиции h4.2 происходит оценка ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа «Ф-АФС» для текущей версии этапа.

Позиция i1.1 раскрывается как цикл на рис. 3.31. В позиции i2.1 происходит формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа «Ф-ВФС» для j -й версии этапа. В позиции i3.1 фиксируется версия этапа и выполняется процедура формирования для текущей версии этапа в позиции i3.2. Позиция i3.3 раскрывается как альтернатива, определяющая возможность продолжения или окончания цикла.

При неудовлетворительной оценке версии этапа происходит переход на следующую версию этапа $j = j + 1$ в позиции i5.1 и добавление результата в массив версий этапа в позиции i5.2. А при удовлетворительной оценке версии

этапа формируется ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа «Ф-ВФС» в позиции i4.4.

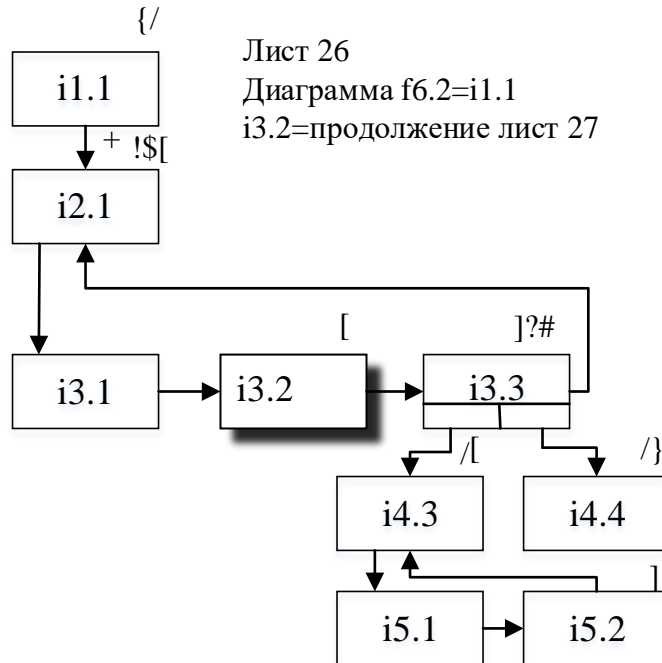


Рис. 3.31 Формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ВФС» для множества версий этапа, где i1.1: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ВФС» для множества версий этапа; i2.1: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ВФС» для j-й версии этапа; i3.1: фиксация версии этапа; i3.2: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ВФС» для текущей версии этапа с учетом оценки; i3.3: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ВФС» для множества версий этапа в зависимости от оценки версии этапа; i4.3: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ВФС» для множества версий этапа при неудовлетворительной оценке версии этапа; i5.1: переход к следующей версии этапа $j = j + 1$; i5.2: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ВФС» для множества версий этапа при неудовлетворительной оценке версии этапа для предыдущей версии; i4.4: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ВФС» для множества версий этапа при удовлетворительной оценке версии этапа.

Позиция i3.2 раскрывается как последовательность на рис. 3.32.

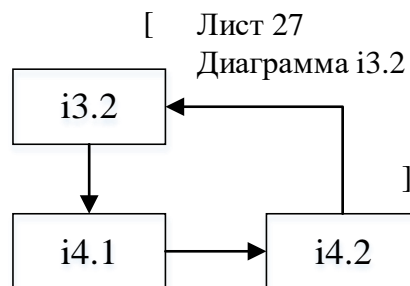


Рис. 3.32 Формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ВФС» для текущей версии этапа с учетом оценки, где i3.2:

формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ВФС» для текущей версии этапа с учетом оценки; i4.1: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ВФС» для текущей версии этапа; i4.2: оценка ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ВФС» для текущей версии этапа.

В позиции i4.1 формируются ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа «Ф-ВФС» для текущей версии этапа и передается для формирования оценки версии в позицию i4.2. В позиции i4.2 происходит оценка ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа «Ф-ВФС» для текущей версии этапа.

Позиция j1.1 раскрывается как цикл (рис. 3.33). В позиции j2.1 происходит формирование модельных представлений объекта текущей версии фазы (Ф) по «элементной» методике для w-й версии текущего этапа «Ф-ГФС».

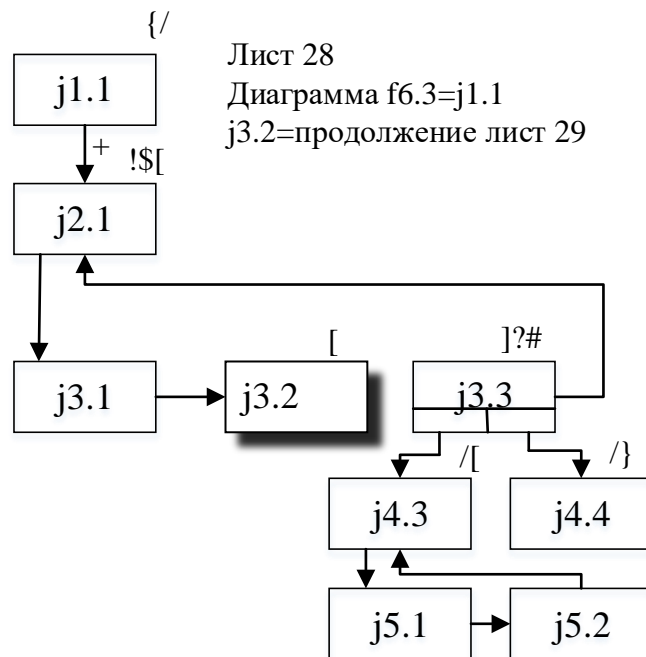


Рис. 3.33 Формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ГФС» для множества версий этапа, где j1.1: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ГФС» для множества версий этапа; j2.1: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ГФС» для 1-й версии этапа; j3.1: фиксация версии этапа; j3.2: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ГФС» для текущей версии этапа с учетом оценки; j3.3: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ГФС» для множества версий этапа в зависимости от оценки версии этапа; j4.3: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ГФС» для множества версий этапа при неудовлетворительной оценке версии этапа; j5.1: переход к следующей версии этапа $l = l + 1$; j5.2: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ГФС» для множества версий этапа при неудовлетворительной оценке версии этапа для предыдущей версии; j4.4:

формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ГФС» для множества версий этапа при удовлетворительной оценке версии этапа.

В позиции j3.1 фиксируется версия этапа, и в позиции j3.2 выполняется формирование МПО текущей версии фазы (Ф) при виде методики «элементная» для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ГФС» для текущей версии этапа с учетом оценки. Позиция j3.3 «Формирование МПО текущей версии фазы (Ф) при виде методики «элементная» для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ГФС» в зависимости от оценки версий этапа» раскрывается как альтернатива.

При неудовлетворительной оценке версии этапа происходит переход на следующую версию этапа $w = w + 1$ в позиции j5.1. А при удовлетворительной оценке версии этапа формируется МПО текущей версии фазы (Ф) при виде методики «элементная» для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ГФС» в позиции j4.4.

Позиция j3.2 раскрывается как последовательность (рис. 3.34).

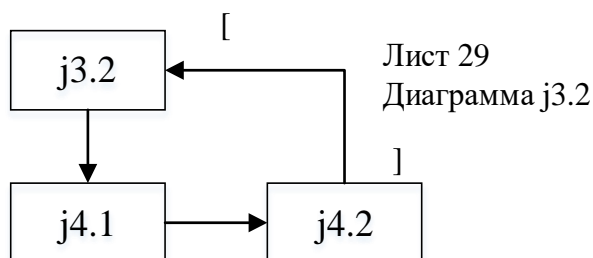


Рис. 3.34 Формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ГФС» для текущей версии этапа с учетом оценки, где j3.2: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ГФС» для текущей версии этапа с учетом оценки; j4.1: формирование ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ГФС» для текущей версии этапа; j4.2: оценка ТВ МПО на текущей фазе «Ф» при элементной методике для текущего этапа при наименовании этапа «Ф-ГФС» для текущей версии этапа.

В позиции j4.1 формируются МПО текущей версии фазы (Ф) при наименовании вида методики «элементная» для текущей версии этапа (ГФС) и передается версия МПО текущей версии этапа в позицию j4.2. В позиции j4.2 происходит оценка МПО текущей версии этапа. Для потоковой методики модельные представления формуруются аналогично.

Таким образом, были сформированы все конструкции от самой сложной до элементарной конструкции по базовым и типовым конструкциям при моделировании СПЗ-1 для задач проектной деятельности по методологии Рота.

3.2.2.2 Формирование диаграммы системы предметных зависимостей 1-го рода в целом

Разработана диаграмма СПЗ-1 в целом для задачи проектной деятельности по методологии Рота. На рис. 3.35–3.40 представлены обобщенные диаграммы СПЗ-1 для задачи проектной деятельности по методологии Рота по укрупненным подзадам.

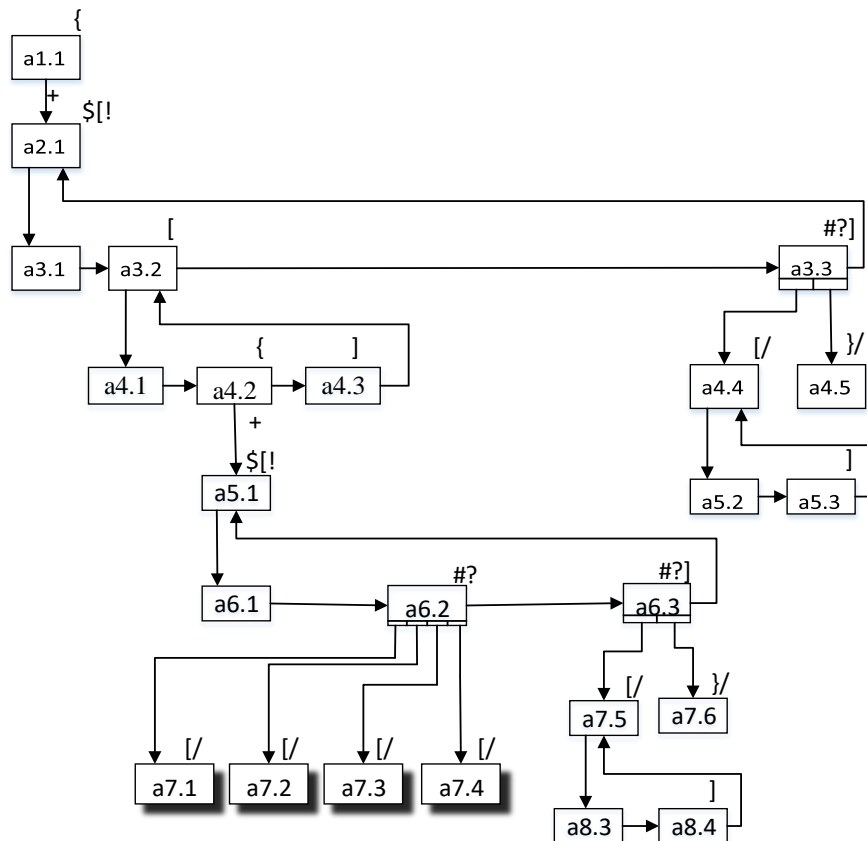


Рис. 3.35 Формирование МПИ на всех фазах проектирования

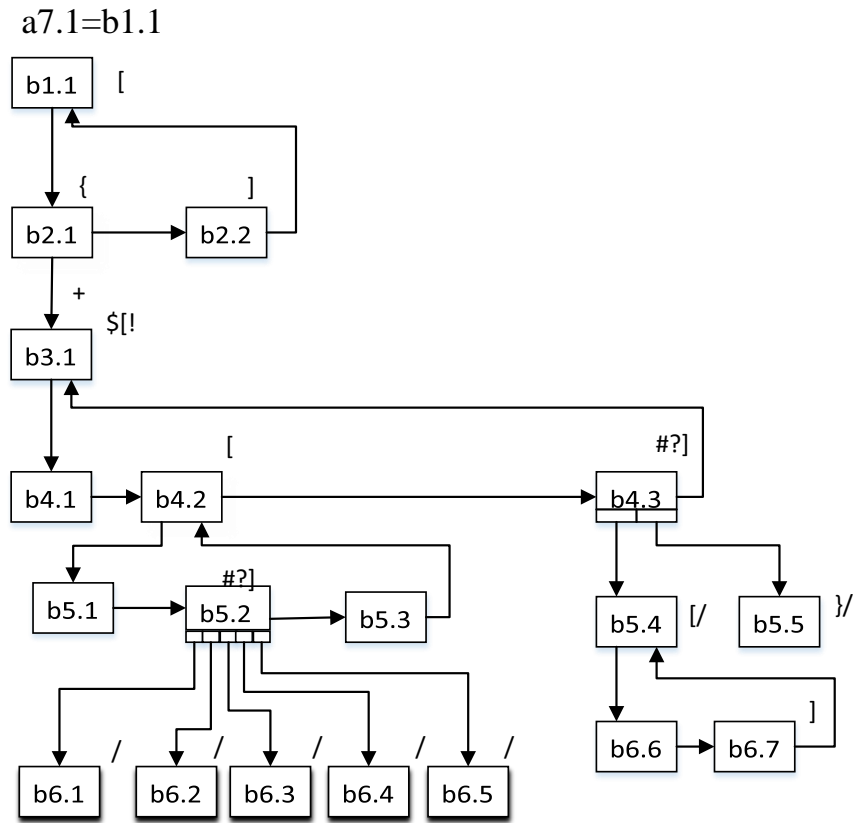


Рис. 3.36 Формирование МПИ текущей версии фазы при наименовании «ФЗ» с учетом этапов

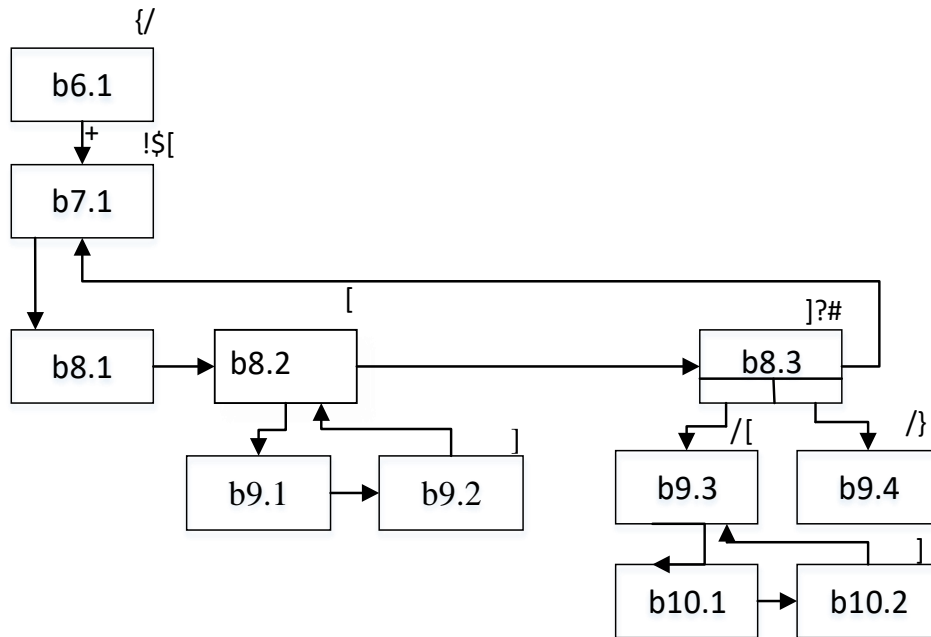


Рис. 3.37 Формирование МПИ текущей версии фазы (ФЗ) для текущего этапа при наименовании этапа «ПЗ»

Для $b_{6.2}$, $b_{6.3}$, $b_{6.4}$ и $b_{6.5}$ фактически будет такая же конструкция, только будет меняться наименования этапов.

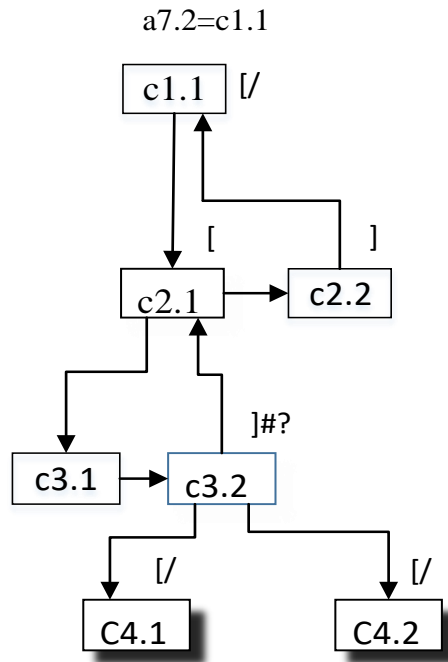


Рис. 3.38 Формирование МПИ текущей версии фазы при наименовании «Ф»
 $c_{4.1}=f_{1.1}$

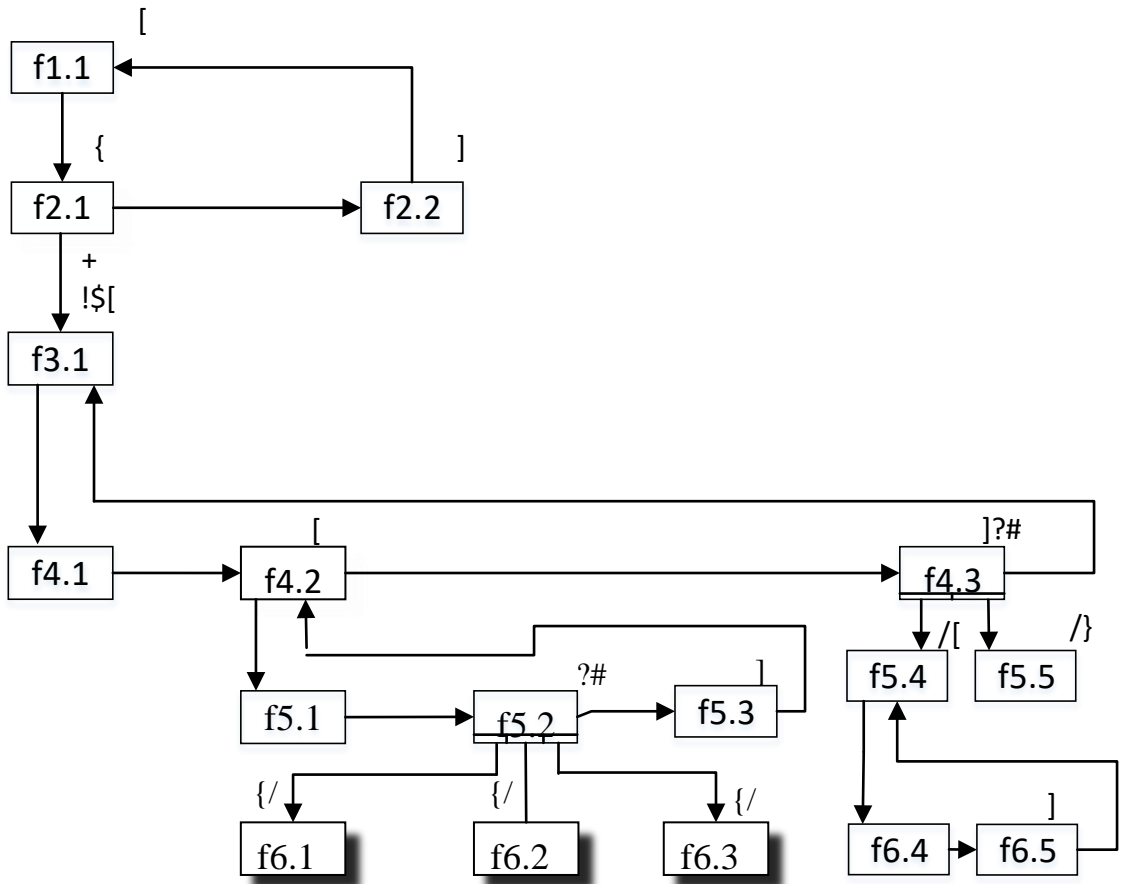


Рис. 3.39 Формирование МПИ текущей версии фазы (Ф) при элементной методике

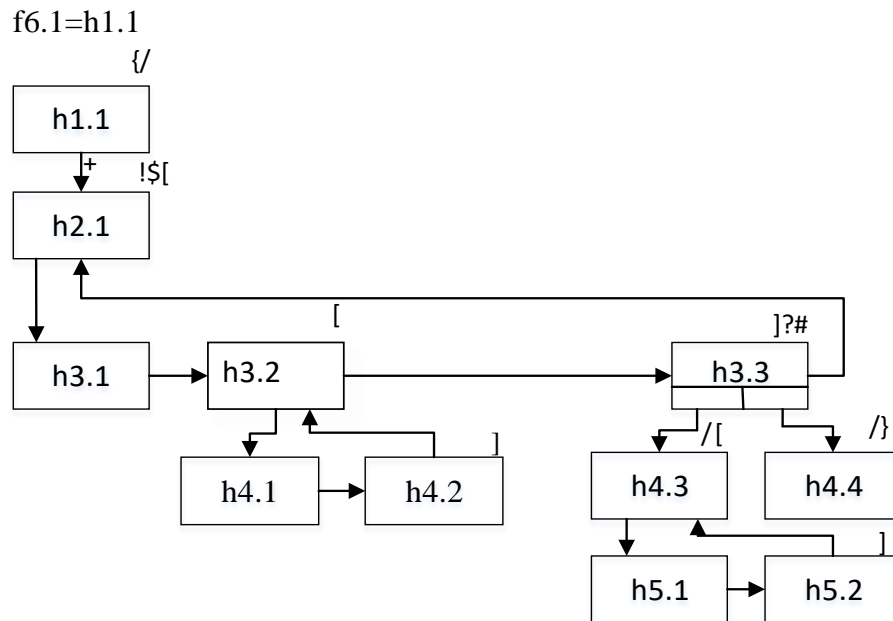


Рис. 3.40 Формирование МПИ текущей версии фазы (Ф) при виде методики «элементарная» для текущего этапа при наименовании этапа (Ф-АФС)

Для f6.2 и f6.3 выполнено переобозначение для разных наименований этапов. Таким образом, разработаны обобщенные диаграммы СПЗ-1 для задач проектной деятельности по методологии Рота по укрупненным подзадачам.

3.2.2.3 Формирование спецификаций системы предметных зависимостей 1-го рода

На основе частных диаграмм формируется СПЗ-1 задач методологии проектирования с помощью каталогов. В итоге формируется общее описание ПЗ 1-го рода (форма F3) и СПЗ 1-го рода (форма F4). Фрагменты описаний спецификаций (форма F3) и (форма F4) перенесены в Приложение 1.

3.2.3 Разработка статической структуры модели

3.2.3.1 Формирование диаграмм основной концептуальной структуры

Моделирование процессов проектирования по методологии Рота приводит путём разложения сложных предметных понятий на более простые. На рис. 3.41 приведено начало основной концептуальной структуры задач проектирования по методологии Рота.

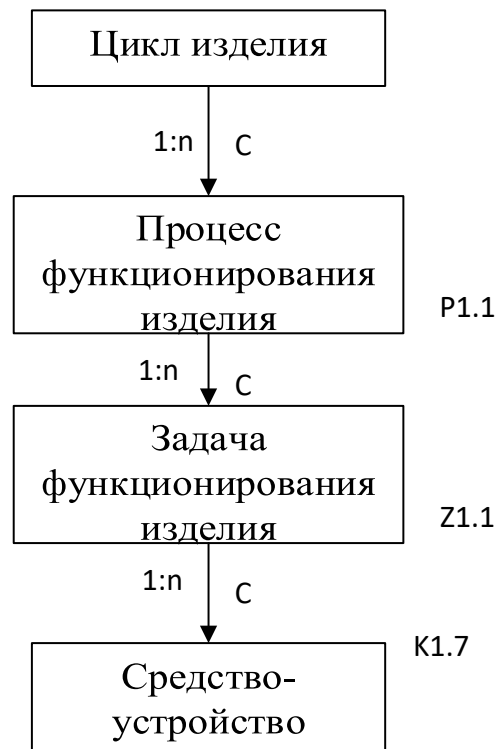


Рис. 3.41 Начало ОКС задач проектирования по методологии Рота

Компонент «средство-устройство» разложен на объекты: МПИ проекта, МПИ фазы, версия МПИ фазы, МПИ этапа и версия МПИ этапа. На рисунке 3.42 отражена структура объектов компонента «средство-устройство».

Определена классификация множества ПК класса «Признак» для всех ПК класса «Объект» по следующим: идентификационные; наименование; классификационные; функциональные (или назначения); размерные; временные; признаки, связанные с материалом/массой изделия; энергетические. На рисунке 3.43 представлено формирование ПК класса «Признак» для всех ПК класса «Объект».

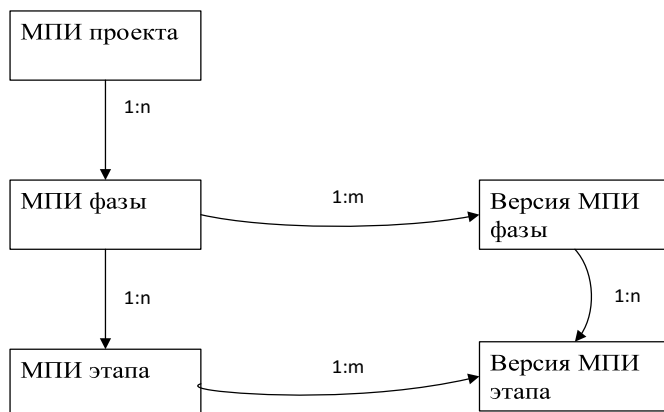


Рис. 3.42 Структура объектов компонента «средство-устройство»

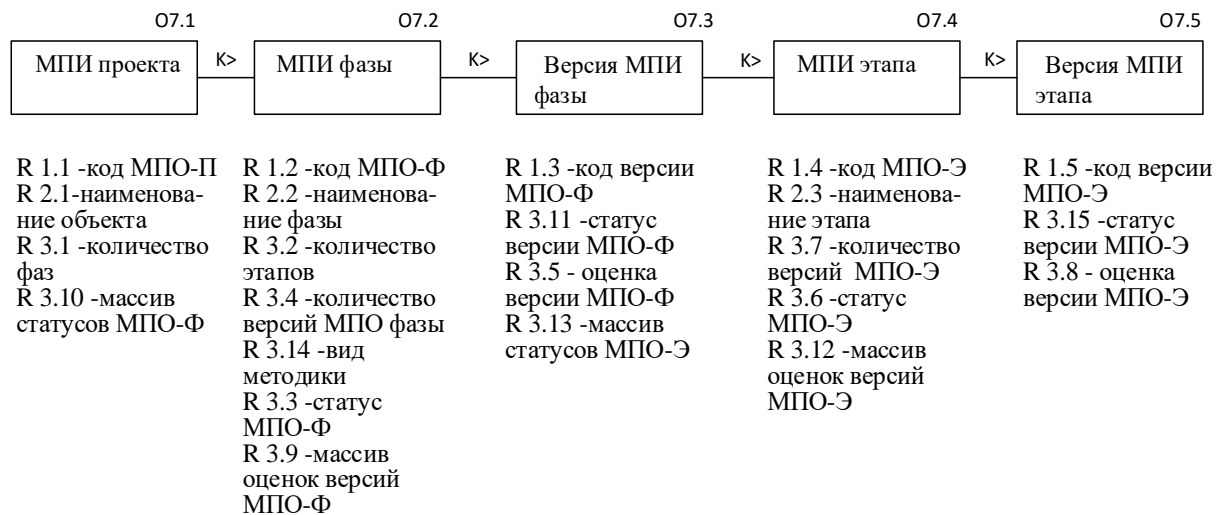


Рис. 3.43 Формирование ПК класса «Признак» для всех ПК класса «Объект»

Таким образом, были сформированы диаграммы ОКС по классам ПК для задач проектной деятельности по методологии Рота.

3.2.3.2 Формирование диаграммы основной концептуальной структуры

ОКС формируется сверху вниз. Она представляет собой сложную иерархию, каждый слой которой отражает категорию и представляет собой сетевую структуру набора предметных категорий [48, 53]. Обобщенная диаграмма ОКС отражена на рис. 3.44.

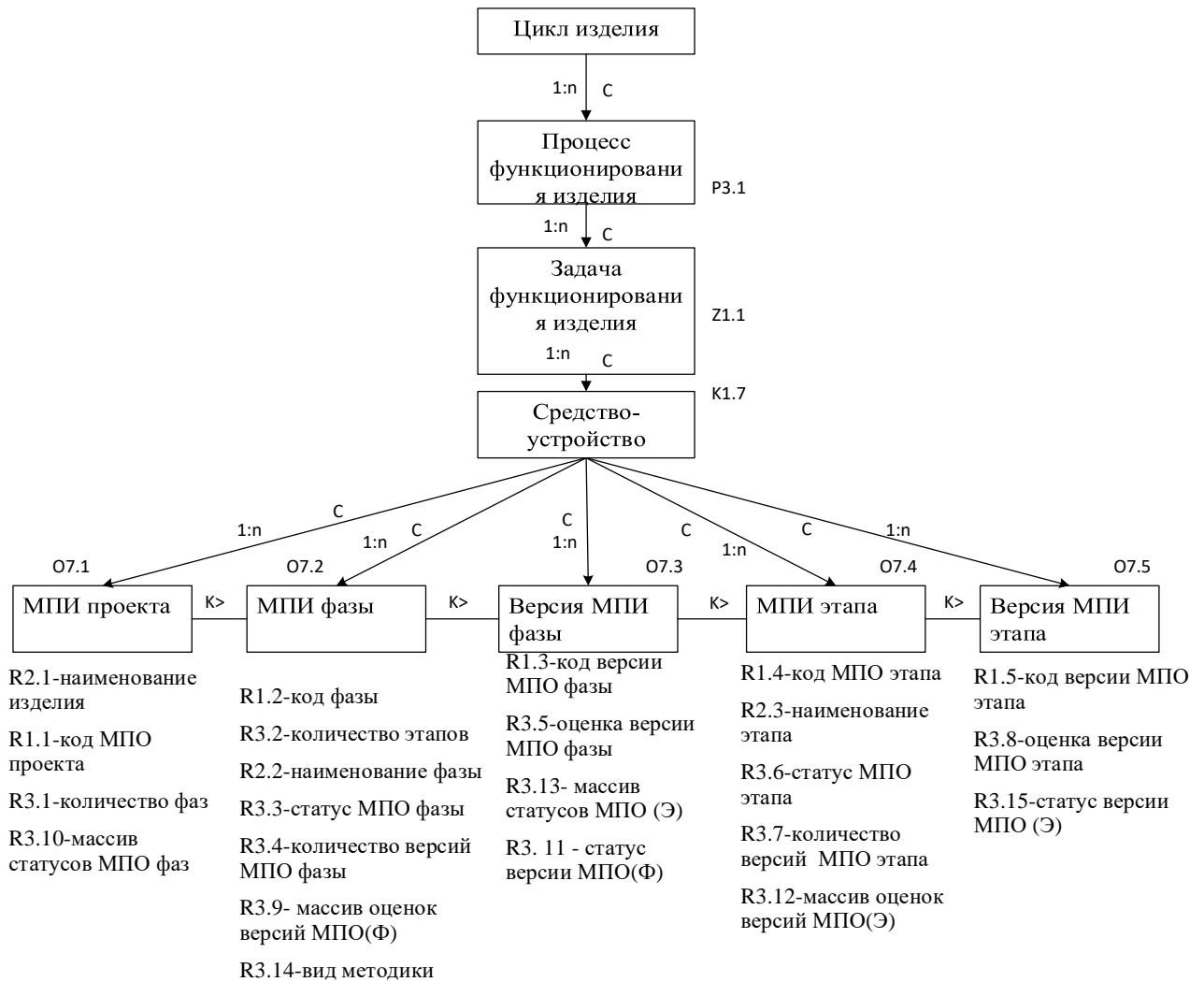


Рис. 3.44 Обобщенная диаграмма ОКС

Таким образом, была сформирована обобщенная диаграмма ОКС для задачи проектной деятельности по методологии Рота.

3.2.3.3 Формирование спецификаций основной концептуальной структуры

На основе ОКС процесса проектирования по методологии Рота формируется набор спецификаций. Набор спецификаций для ОКС включает следующие описания:

- Форма F1 (описание ПК);
- Форма F2 (описание бинарных связей ПК).

Фрагменты описаний спецификаций форм F1 и F2 перенесены в Приложение 1.

3.2.4 Разработка концептуальной модели в целом

3.2.4.1 Формирование матричных диаграмм по базовым и типовым конструкциям

При формировании концептуальной (КМ) модели процесса проектирования по методологии Рота увязываются полученные структуры – основной концептуальной структуры и структуры предметных зависимостей 1-го рода.

Матричная диаграмма для типовой конструкции цикла (рис. 3.6) представлена на рис. 3.45.

Основными параметрами являются: счетчик итераций (СЦ) - количество фаз (R3.1); аргумент итераций (АИ) - код фазы (R1.2); функция итераций (ФИ) - статус МПО фазы (R3.3); функция цикла (ФЦ) - массив статусов МПО фаз (R3.10).

	СЦ	АИ	ФИ	ФЦ
Позиция ПЗ-1	(R3.1)	(R1.2)	(R3.3)	(R3.10)
a1.1				{
a2.1	!		\$	[
a3.1	.	*		
a3.2		.	[*	
a3.3	?			#]
a4.4	/			[
a5.2	*			
a5.3			+	*]
a4.5	/		+	*}

Рис. 3.45 Матричная диаграмма КМ формирования МПО на всех фазах проектирования

Матричная диаграмма для базовой конструкции последовательности (рис. 3.7) представлена на рис. 3.46. Основным параметром является функция последовательности (ФП) - статус МПО фазы (R3.3).

			ФП	
Позиция ПЗ-1	(R2.2)	(R3.9)	(R3.3)	(R1.2)
a3.2			[.
a4.1	*			.
a4.2	+	{*		.
a4.3		+	*]	.

Рис. 3.46 Матричная диаграмма КМ формирования МПИ на текущей фазе, где (R2.2) = наименование фазы, (R3.9) = массив оценок версий МПО-Ф, (R1.2) = код фазы

Матричная диаграмма для типовой конструкции цикла (рис. 3.8) представлена на рис. 3.47. Основными параметрами являются: СЦ - количество

версий МПО фазы (R3.4); АИ - код фазы (R1.2), код версии МПО фазы (R1.3); ФИ - оценка версии МПО фазы (R3.5); ФЦ - массив версий МПО фазы (R3.9).

	СЦ	АИ	ФИ	ФЦ	АИ
Позиция ПЗ-1	(R3.4)	(R1.3)	(R3.5)	(R3.9)	(R1.2)
a4.2				{	.
a5.1	!		\$	[	.
a6.1	.	*			.
a6.2		+	?*		.
a6.3	?			#]	.
a7.5	/			[	.
a8.3	*				.
a8.4			+	*]	.
a7.6	/		+	*}	.

Рис. 3.47 Матричная диаграмма КМ формирования множества версий МПО на текущей фазе

Матричная диаграмма для конструкции альтернативы (рис. 3.9) представлена на рис. 3.48.

	АА	ФА		
Позиция ПЗ-1	(R2.2)	(R3.5)	(R1.1)	(R1.2)
a6.2	?	#	.	.
a7.1	/	*	.	.
a7.2	/	*	.	.
a7.3	/	*	.	.
a7.4	/	*	.	.

Рис. 3.48 Матричная диаграмма КМ формирования текущей версии МПО на текущей фазе в зависимости от наименования фазы, где (R1.1) = код МПО-П, (R1.2) = код МПО-Ф

Основными параметрами являются: функция альтернативы (ФА) - оценка версии МПО фазы (R3.5); аргумент альтернативы (АА) - наименование фазы (R2.2).

Матричная диаграмма для базовой конструкции последовательности (рис. 3.10) представлена на рис. 3.49. Основным параметром является функция последовательности (ФП) - оценка версии МПО фазы (R3.5).

a7.1=b1.1			ФП
Позиция ПЗ-1	(R3.13)	(R3.11)	(R3.5)
b1.1			[
b2.1	{*		
b2.2	+	*	
b2.3		+	*]

Рис. 3.49 Матричная диаграмма КМ формирования текущей версии МПО на текущей фазе при наименовании фазы «ФЗ», где (R3.13) = массив статусов МПО этапов, (R3.11) = статус версии МПО фазы

Матричные диаграммы для типовых конструкций (рис. 3.11 –3.34) разработаны аналогичным способом.

Таким образом, объединение результатов СПЗ-1 и ОКС позволяет окончательно сформировать матричные диаграммы КМ по базовым и типовым конструкциям для задачи проектной деятельности по методологии Рота.

3.2.4.2 Формирование диаграммы концептуальной модели в целом

Окончательный вариант концептуальной модели проектной деятельности по методологии Рота доработан и зафиксирован в виде матричной диаграммы. На рис. 3.50 отражена обобщенная матричная диаграмма концептуальной модели проектной деятельности по методологии Рота.

Таким образом, была сформирована обобщенная матричная диаграмма концептуальной модели для задачи проектной деятельности по методологии Рота.

3.2.4.3 Формирование спецификаций концептуальной модели

В конце концептуальной модели формируется описание содержания ПЗ-1 (форма F6). Фрагмент описания спецификаций (форма F6) перенесен в Приложение 1. При формировании спецификаций концептуальных моделей фиксируются код предметной задачи, код модели и вид структуры. И для каждой строчки диаграммы КМ фиксируются код ПЗ и код ПК, структурное свойство ПЗ, роль ПК, структурное свойство ПК, объемное свойство ПК и особая роль ПК [53].

P1.1																						
Z1.1																						
K1.7																						
O7.1				O7.2							O7.3			O7.4				O7.5				
R1-1	R2-1	R3-1	R3-10	R1-2	R3-2	R3-3	R2-2	R3-4	R3-9	R3-13	R3-14	R1-3	R3-5	R3-11	R2-3	R1-4	R3-6	R3-7	R3-12	R1-5	R3-15	R3-8
a1.1			~																			
a2.1		!	[\$																
a3.1		.		*																		
a3.2		.				[
a4.1		.		.			*															
a4.2		.							{													
a5.1		.						!	[\$									
a6.1		.						.				*										
a6.2		.		.			?	.				.	#									
b1.1		.		.			/	.				.	[
b2.1										{												

Рис. 3.50 Общая матричная диаграмма КМ

	R1-1	R2-1	R3-1	R3-10	R1-2	R3-2	R3-3	R2-2	R3-4	R3-9	R3-13	R3-14	R1-3	R3-5	R3-11	R2-3	R1-4	R3-6	R3-7	R3-12	R1-5	R3-15	R3-8
b3.1						—					┌		.				*	⋈					
b4.1						.											*						
b4.2						.											.	[
b5.1																*							
b5.2																?					#		
b6.1																/					{		
b7.1																				!			
b8.1																				.		*	
b8.2																						+	[
b9.1																							*
b9.2																						+	*)
b8.3																				?	#]		
b9.3																				/	[
b10.1																				*			
b10.2																				.	*)		+
b9.4																				/	*)		+
b6.2																/					{		
b7.2																				!			
b8.4																				.		*	
b8.5																						+	[
b9.5																							*
b9.6																						+	*)
b8.6																				?	#]		
b9.7																				/	[
b10.3																				*			
b10.4																				.	*)		+
b9.8																				/	*)		+
b6.3																/					{		
b7.3																				!			
b8.7																				.		*	
b8.8																						+	[
b9.9																							*
b9.10																						+	*)
b8.9																				?	#]		
b9.11																				/	[
b10.5																				*			
b10.6																				.	*)		+
b9.12																				/	*)		+
b6.4																/					{		
b7.4																				!			
b8.10																				.		*	
b8.11																						+	[
b9.13																							*
b9.14																						+	*)
b8.12																				?	#]		

Рис. 3.50 Продолжение 1

	R1-1	R2-1	R3-1	R3-10	R1-2	R3-2	R3-3	R2-2	R3-4	R3-9	R3-13	R3-14	R1-3	R3-5	R3-11	R2-3	R1-4	R3-6	R3-7	R3-12	R1-5	R3-15	R3-8
b9.15																			/	[
b10.7																			*				
b10.8																			.	*)			+
b9.16																			/	*)			+
b6.5																/				{			
b7.5																				!			
b8.13																				.		*	
b8.14																						+	[
b9.17																							*
b9.18																						+	*)
b8.15																				?	#]		
b9.19																				/	[
b10.9																				*			
b10.10																				.	*)		+
b9.20																				/	*)		+
b5.3																		*)			+		
b4.3						?					#]												
b5.4						/					[
b6.6						*																	
b6.7						.					*)							+					
b5.5						/					*)							+					
b2.2											+				*								
b2.3														*)	+								
c1.1			.					/.	.				.	[
c2.1																					[
c3.1												*	.										
c3.2												?			#]								
f1.1												/.			[
f2.1												{											
f3.1						!					[\$			
f4.1						.											*						
f4.2						.											.		[
f5.1																*							
f5.2																?					#		
h1.1												/.								{			
h2.1																				!	[\$
h3.1																				.		*	
h3.2																				.	.		[
h4.1																				.	.	*	
h4.2																				.		+	*)
h3.3																				?	#]		
h4.3																				/.	[
h5.1																				*			
h5.2																				.	*)		+
h4.4																				/.	*)		+

Рис. 3.50 Продолжение 2

	R1-1	R2-1	R3-1	R3-10	R1-2	R3-2	R3-3	R2-2	R3-4	R3-9	R3-13	R3-14	R1-3	R3-5	R3-11	R2-3	R1-4	R3-6	R3-7	R3-12	R1-5	R3-15	R3-8
i1.1																/.				~			
i2.1																				!	[\$
i3.1																				.		*	
i3.2																				.		.	[
i4.1																				.		.	*
i4.2																				.			+ *]
i3.3																				?	#]		
i4.3																				/.	[
i5.1																				*			
i5.2																				.	*]		+
i4.4																				/.	*]		+
j1.1																/.					{		
j2.1																				!	[\$
j3.1																				.		*	
j3.2																				.		.	[
j4.1																				.		.	*
j4.2																				.			+ *]
j3.3																				?	#]		
j4.3																				/.	[
j5.1																				*			
j5.2																				.	*]		+
j4.4																				/.	*]		+
f5.3																		*]			+		
f4.3						?					#]												
f5.4						/					[
f6.4						*																	
f6.5						.					*]							+					
f5.5						/					*]							+					
f2.2											+												*]
c2.2																							+ *]
a7.3			.	.			/.	.				.	*										
a7.4			.	.			/.	.				.	*										
a6.3			.	.				?	#]														
a7.5			.	.				/.	[
a8.3			.	.				*															
a8.4			.	.				.	*]				+										
a7.6			.	.				/.	*]				+										
a4.3			.																				+ *]
a3.3			?	#]																			
a4.4			/.	[
a5.2			*																				
a5.3			.	*]				+															
a4.5			/	*]				+															

Рис. 3.50 Продолжение 3

3.3 Разработка концептуального представления задач проектной деятельности (российская практика)

3.3.1 Особенности проектной деятельности в российской практике, учитываемые при семантическом моделировании

Задача опытно-конструкторской работы — создание комплекса конструкторской документации для производства изделия. На этапе ОКР формируются основные параметры изделия. ОКР включает следующие этапы: этап технического задания на ТС; этап технического предложения на ТС; этап эскизного проектирования; этап технического проектирования; этап рабочей документации прототипа (при необходимости); этап изготовления и предварительных (заводских) испытаний прототипа (при необходимости); этап приемочных испытаний прототипа (при необходимости); этап рабочей документации установочной серии (при необходимости); этап рабочей документации установленного серийного производства [99].

Техническое задание [100, 101] устанавливает характеристики проекта (услуги или продукта), формирует основу для принятия будущих решений и создает объективные критерии, по которым можно определить качество выполнения конкретных задач.

По российской практике **техническое предложение** является первой стадией проектной документации, в которой излагаются: как будет произведено изделие, как будут компоновать изделие, расчеты производительности, обзор аналогов, технико-экономические показатели изделия в оптимальном варианте и т. д. [83, 102, 103].

На стадии эскизного проектирования включает разработку и выбор основных технических решений, разработку структурных функциональных схем изделия, выбор основных конструктивных элементов, разработку технико-экономического обоснования [69, 83, 108].

На стадии технического проектирования разрабатываются совокупности КД. На этой стадии уточняются принципиальные схемы, проводится компоновка изделия и выдача сведений для его размещения на объекте эксплуатации и т. д. [83, 102, 105].

В рабочей документации входят много видов рабочей конструкторской документации. Согласованная рабочая документация передаётся на завод (изготовитель). Рабочие КД подразделяются на следующие [83, 102, 105, 106]: чертеж детали, сборочный чертеж, чертеж общего вида, габаритный чертеж, монтажный чертеж, схема, спецификация, ведомость готовых (покупных) изделий, пояснительная записка.

Детальный анализ рассмотренной практики проектирования позволил приступить к семантическому моделированию проектных задач на этапе технорабочего проектирования сложных машиностроительных изделий в виде концептуальных представлений по методологии автоматизации интеллектуального труда.

3.3.2 Разработка динамической структуры модели

3.3.2.1 Формирование диаграмм системы предметных зависимостей 1-го рода

Позиция a1.1 является началом процесса проектирования множества изделий и раскрывается как цикл на рис. 3.51. В позиции a3.1 фиксирует код изделия. В позиции a3.2 выполняется проектирование текущего изделия.

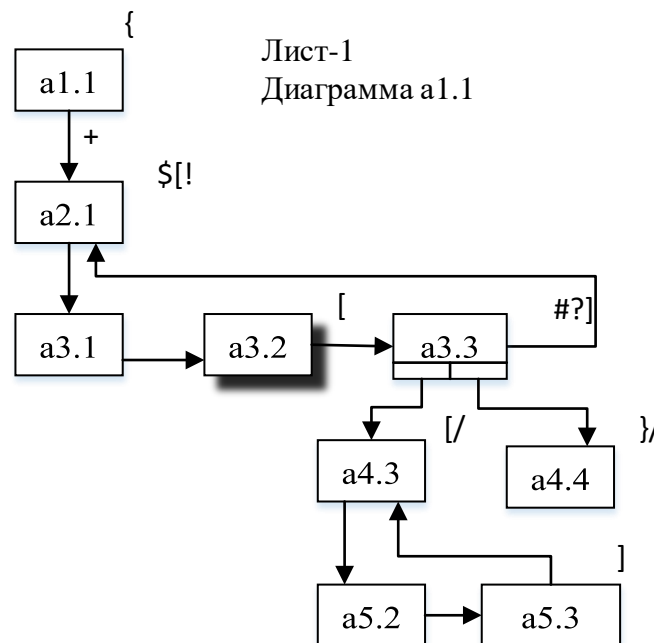


Рис. 3.51 Диаграмма «Проектирование множества изделий», где a1.1: проектирование множества изделий; a2.1: проектирование q-го изделия; a3.1: фиксация изделия; a3.2: проектирование текущего изделия; a3.3: проектирование множества изделий в зависимости от их наличия; a4.3: проектирование множества изделий при их наличии; a5.2: переход к следующему изделию $q = q + 1$; a5.3: проектирование множества изделий при их наличии для предыдущего изделия; a4.4: проектирование множества изделий при их отсутствии

Позиция а3.3 представлена в виде альтернативы для проверки окончания или продолжения цикла. При наличии следующего изделия происходит переход на следующее изделие $q = q + 1$ в позиции а5.2, и формируется массив статусов утверждения КД на изделие для предыдущего изделия в позиции а5.3. А в случае отсутствия следующего изделия в позиции а4.4 формируется массив статусов утверждения КД на изделие для текущей фазы, и происходит выход из цикла. В результате цикла формируется и обновляется массив статусов утверждения КД на изделие.

Позиция а3.2 (проектирование текущего изделия) представляет собой последовательность (рис. 3.52). В позиции а4.1 происходит проектирование множества версий текущего изделия. В позиции а4.2 формируется статус утверждения КД на изделие.

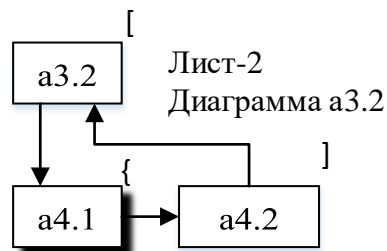


Рис. 3.52 Диаграмма «Проектирование текущего изделия», где а3.2: проектирование текущего изделия; а4.1: проектирование множества версий текущего изделия; а4.2: формирование статуса утверждения КД на изделие

Позиция а4.1 (проектирование множества версий текущего изделия) раскрывается в циклическую конструкцию на рис. 3.53. На каждом шаге итерации фиксируется версия изделия в позиции а6.1, затем присваивается номер следующей позиции а6.2 (проектирование текущей версии изделия). Позиция а6.3 является альтернативой. При неутвержденном статусе утверждения версии КД на версию изделия переходит к следующей версии изделия $a = a + 1$ в позиции а8.4 и в позиции а8.5 происходит проектирование множества версий изделия для предыдущей версии. При утвержденном статусе версии КД на версию изделия в позиции а7.9 происходит проектирование множества версий изделия. В результате цикла образуется и обновляется массив, в который заносятся результаты проектирования множества версий изделия с присвоенными им номерами.

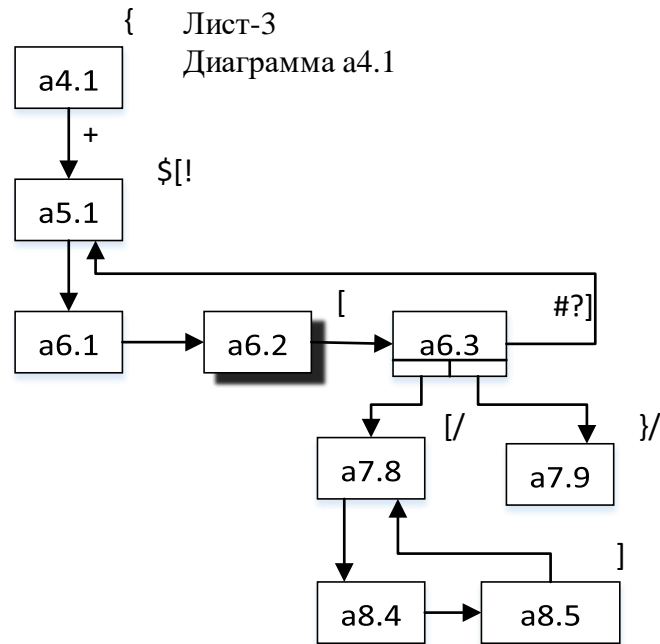


Рис. 3.53 Диаграмма «Проектирование множества версий изделия», где а4.1: проектирование множества версий изделия; а5.1: проектирование а-й версии изделия; а6.1: фиксация версии изделия; а6.2: проектирование текущей версии изделия; а6.3: проектирование множества версий изделия в зависимости от статуса утверждения версии КД на версию изделия; а7.8: проектирование множества версий изделия при неутвержденном статусе утверждения версии КД на версию изделия; а8.4: переход к следующей версии изделия $a = a + 1$; а8.5: проектирование множества версий изделия при неутвержденном статусе версии КД на версию изделия для предыдущей версии; а7.9: проектирование множества версий изделия при утвержденном статусе версии КД на версию изделия

Позиции а6.2 (проектирование текущей версии изделия) представляет собой последовательность (рис. 3.54). На входе позиция а7.1 имеет начальное состояние по этапу ТРП, и на выходе непосредственно состояние по этапу ТРП для дальнейшего проектирования всех составных частей изделия (позиция а7.3), их увязки (позиция а7.4) и создания версии КД на версию изделия (позиция а7.5).

На выходе позиции а7.5 получается состояние версии КД на версию изделия. Документация проходит стадию согласования в позиции а7.6. После согласования версия КД утверждается в позиции а7.7. После чего версия КД на версию изделия получает статус утвержденной или неутвержденной.

В ходе конструкторского и технологического проектирования происходит процедура проверки КД на технологичность.

В случае нетехнологичности в позиции а8.3 сохраняется текущая версия, документация остается не утвержденной, и создается новая версия документации на изделие с учетом замечаний.

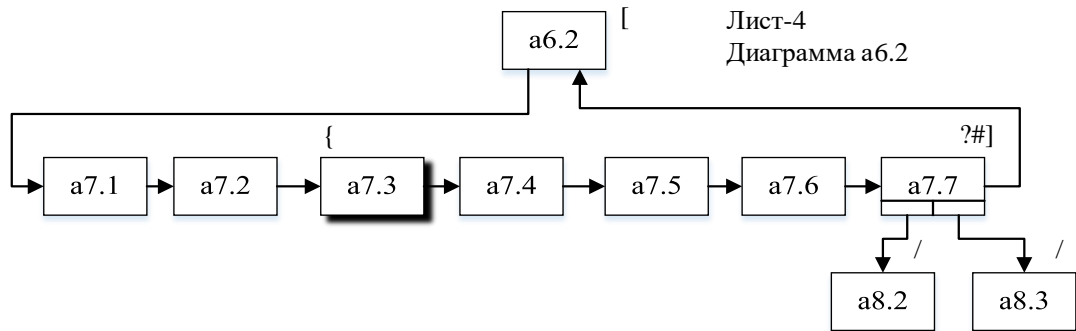


Рис. 3.54 Диаграмма «Проектирование текущей версии изделия», где а6.2: проектирование текущей версии изделия; а7.1: расчет основных параметров изделия; а7.2: определение количества частей изделия; а7.3: проектирование всех составных частей изделия; а7.4: увязка всех составных частей изделия; а7.5: создание версии КД на версию изделия; а7.6: согласование версии КД на версию изделия; а7.7: формирование статуса утверждения версии КД на версию изделия в зависимости от статуса согласования; а8.2: формирование статуса утверждения версии КД на версию изделия при положительном статусе согласования; а8.3: формирование статуса утверждения версии КД на версию изделия при отрицательном статусе согласования

Позиция а7.3 (проектирование всех составных частей изделия) раскрывается как цикл на рис. 3.55. В позиции а9.1 фиксируется код части изделия, затем присваивается номер следующей позиции а9.2 (проектирования текущей части изделия). Позиция а9.3 является альтернативой. При наличии следующей части изделия происходит переход к следующей части изделия $b = b + 1$ в позиции а11.3. При отсутствии части изделия цикл заканчивается в позиции а10.5. В результате цикла формируется и обновляется массив, в который заносятся результаты проектирования всех частей изделия с присвоенными им номерами.

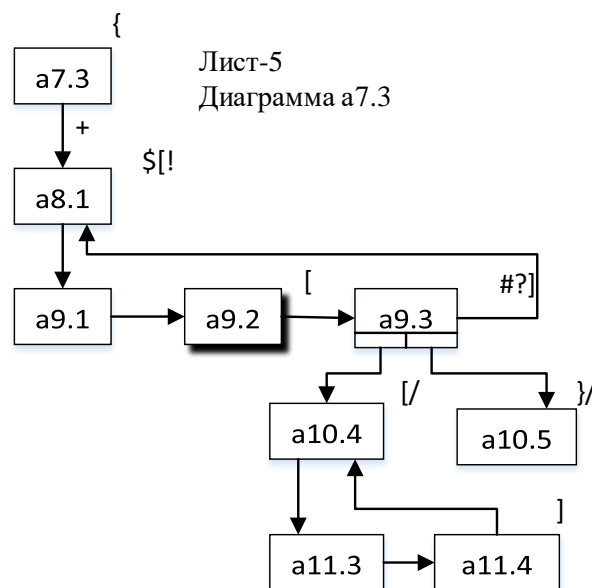


Рис. 3.55 Диаграмма «Проектирование всех составных частей изделия», где а7.3: проектирование всех составных частей изделия; а8.1: проектирование b-й части изделия; а9.1:

фиксация части изделия; а9.2: проектирование текущей части изделия; а9.3: проектирование всех частей изделия в зависимости от их наличия; а10.4: проектирование всех частей изделия при их наличии; а11.3: переход к следующей части $b = b + 1$; а11.4: проектирование всех частей изделия при их наличии для предыдущей части; а10.5: проектирование всех частей изделия при их отсутствии

Позиция а9.2 (проектирование текущей части изделия) раскрывается через последовательность на рис. 3.56. В позиции а10.1 определяется вид текущей части изделия. Позиция а10.1 представлена в виде альтернативы. В случае часть изделия вида сборочной единицы (СЕ) выполняется позиция а11.1. В случае часть изделия вида комплекса выполняется позиция а11.2. В позиции а10.3 происходит фиксация статуса утверждения КД части изделия по этапу ТРП с учетом вида, которая аккумулирует в себе информацию предыдущего действия.

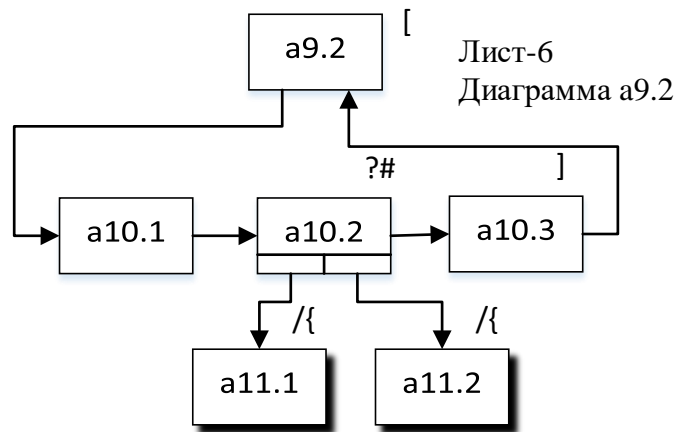


Рис. 3.56 Диаграмма «Проектирование текущей части изделия», а9.2: проектирование текущей части изделия; а10.1: определение вида текущей части изделия; а10.2: проектирование текущей части в зависимости от вида части; а11.1: проектирование множества версий текущей части изделия вида «СЕ»; а11.2: проектирование множества версий текущей части изделия вида «Комплекс»; а10.3: фиксация статуса утверждения КД части изделия по этапу ТРП с учетом вида

Позиция а11.1, в которой происходит проектирование множества версий текущей части изделия вида «СЕ», раскрывается в циклическую конструкцию (рис. 3.57). В позиции а13.1 фиксируется версия текущей части изделия вида «СЕ», затем присваивается номер следующей позиции а13.2 «проектирование текущей версии текущей части изделия вида «СЕ»».

Позиция а13.3 представлена в виде альтернативы. В позиции а15.5 происходит проектирование множества версий текущей части изделия вида «СЕ» при неутвержденном статусе версии КД на версию части изделия вида «СЕ» для предыдущей версии. В позиции а14.9 происходит проектирование множества версий текущей части изделия вида «СЕ» при утвержденном статусе версии КД на версию части изделия вида «СЕ».

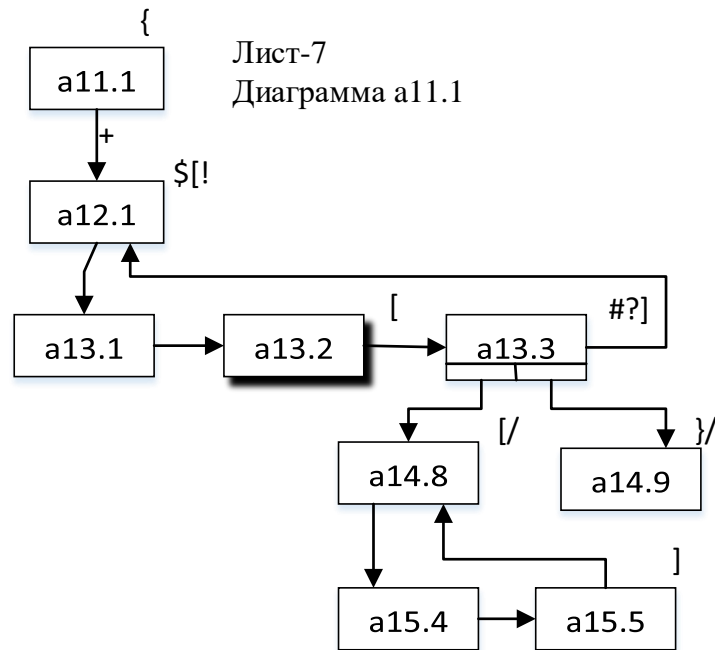


Рис. 3.57 Диаграмма «Проектирование множества версий текущей части изделия вида (СЕ)», где a11.1: проектирование множества версий текущей части изделия вида «СЕ»; a12.1: проектирование a1-й версии текущей части изделия вида «СЕ»; a13.1: фиксация версии текущей части изделия вида «СЕ»; a13.2: проектирование текущей версии текущей части изделия вида «СЕ»; a13.3: проектирование множества версий текущей части изделия вида «СЕ» в зависимости от статуса утверждения версии КД на версию части изделия вида «СЕ»; a14.8: проектирование множества версий текущей части изделия вида «СЕ» при неутвержденном статусе версии КД на версию части изделия вида «СЕ»; a15.4: переход к следующей версии $a1=a1+1$; a15.5: проектирование множества версий текущей части изделия вида «СЕ» при неутвержденном статусе версии КД на версию части изделия вида «СЕ» для предыдущей версии; a14.9: проектирование множества версий текущей части изделия вида «СЕ» при утвержденном статусе версии КД на версию части изделия вида «СЕ»

В результате цикла формируется и обновляется массив, в который заносятся результаты проектирования текущей версии текущей части изделия вида «СЕ» с присвоенными им номерами.

Позиция a13.2 (проектирование текущей версии части изделия вида «СЕ») представляет собой последовательность (рис. 3.58). На входе позиция a14.1 имеет начальное состояние ПР версии изделия по этапу ТРП, и на выходе непосредственно состояние ПР версии части изделия вида СЕ ($Ч=СЕ$) по этапу ТРП для дальнейшего проектирования всех деталей текущей части изделия вида «СЕ» (позиция a14.3), их увязки (позиция a14.4) и создания версии КД на текущую версию части изделия вида «СЕ» (позиция a14.5). На выходе позиции a14.5 получается состояние версии КД на версию части И вида СЕ ($Ч=СЕ$). Документация проходит стадию согласования в позиции a14.6.

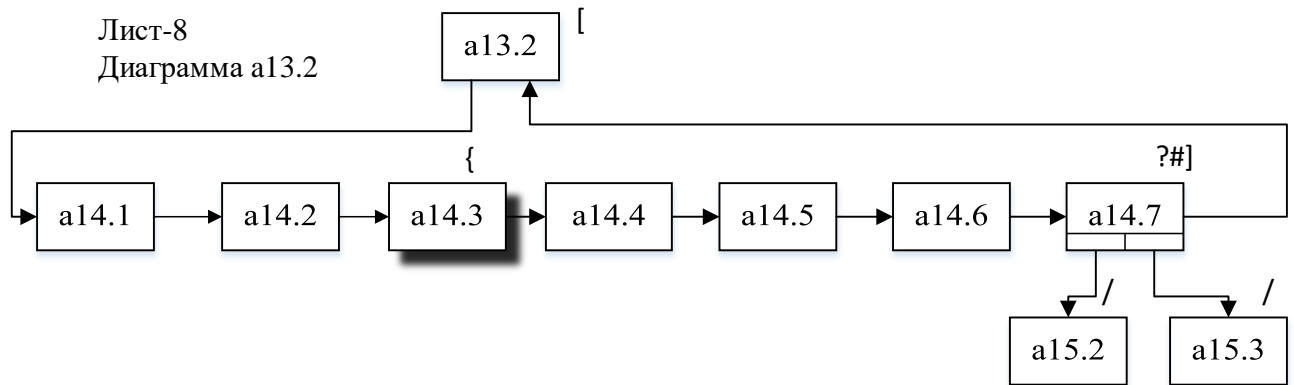


Рис. 3.58 Диаграмма «Проектирование текущей версии части изделия вида (СЕ)», где a13.2: проектирование текущей версии части изделия вида «СЕ»; a14.1: расчет основных параметров текущей версии части изделия вида «СЕ»; a14.2: определение количества деталей текущей версии части изделия вида «СЕ»; a14.3: проектирование всех деталей текущей версии части изделия вида «СЕ»; a14.4: увязка всех деталей текущей версии части изделия вида «СЕ»; a14.5: создание версии КД на версию части изделия вида «СЕ»; a14.6: согласование версии КД на версию части изделия вида «СЕ»; a14.7: формирование статуса утверждения версии КД на версию части изделия вида «СЕ» в зависимости от статуса согласования; a15.2: формирование статуса утверждения версии КД на версию части изделия вида «СЕ» при положительном статусе согласования; a15.3: формирование статуса утверждения версии КД на версию части изделия вида «СЕ» при отрицательном статусе согласования

После согласования версия КД утверждается в позиции a14.7. После чего версия КД на текущей версии части изделия вида «СЕ» получает статус утвержденной или неутвержденной. В случае нетехнологичности в позиции a15.3 сохраняется текущая версия, документация остается не утвержденной, и создается новая версия документации на версию части И вида СЕ (Ч = СЕ) с учетом замечаний. Позиция a14.3, в которой происходит проектирование всех деталей СЕ изделия, раскрывается в циклическую конструкцию на рис. 3.59.

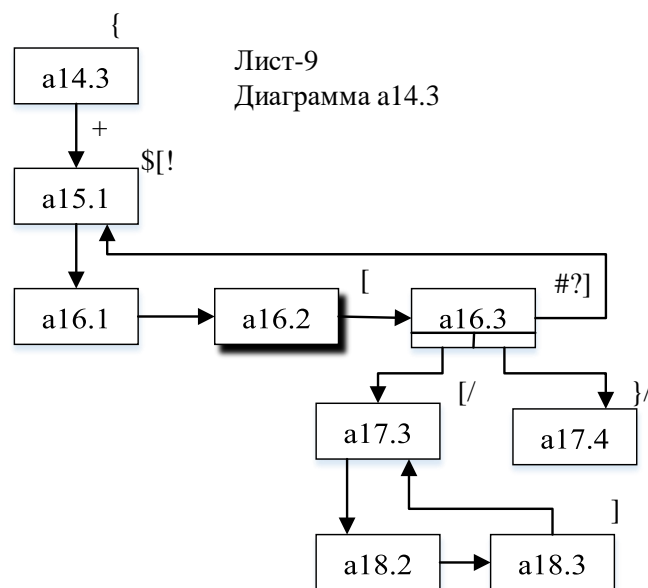


Рис. 3.59 Диаграмма «Проектирование всех деталей текущей части изделия вида (СЕ)», где a14.3: проектирование всех деталей текущей версии части изделия вида «СЕ»; a15.1:

проектирование b1-й детали текущей версии части изделия вида «СЕ»; a16.1: фиксация детали текущей версии части изделия вида «СЕ»; a16.2: проектирование множества версий текущей детали текущей версии части изделия вида «СЕ»; a16.3: проектирование всех деталей текущей версии части изделия вида «СЕ» в зависимости от их наличия; a17.3: проектирование всех деталей текущей версии части изделия вида «СЕ» при их наличии; a18.2: переход к следующей детали текущей версии части изделия вида «СЕ», $b1 = b1 + 1$; a18.3: проектирование всех деталей текущей версии части изделия вида «СЕ» при их наличии для предыдущей детали; a17.4: проектирование всех деталей текущей версии части изделия вида «СЕ» при их отсутствии

В позиции a16.1 фиксируется код детали текущей части изделия вида «СЕ», затем присваивается код детали следующей позиции a16.2 (проектирование множества версий текущей детали текущей части изделия вида «СЕ»). Позиция a16.3 представляет собой альтернатива. При наличии следующей детали происходит переход к следующей детали в позиции a18.2. При отсутствии следующей детали цикл заканчивается в позиции a17.4. В результате цикла формируется и обновляется массив, в который заносятся результаты проектирования всех деталей с присвоенными им номерами.

Позиция a16.2 (проектирование множества версий текущей детали текущей части изделия вида «СЕ») представляет собой последовательность (рис. 3.60).

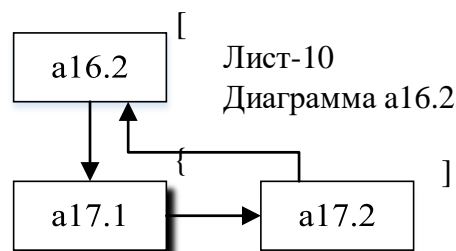


Рис. 3.60 Диаграмма «Проектирование текущей детали текущей части изделия вида (СЕ)»; где a16.2: проектирование множества версий текущей детали текущей версии части изделия вида «СЕ»; a17.1: проектирование множества версий текущей детали текущей версии части изделия вида «СЕ»; a17.2: формирование статуса утверждения КД на деталь версии части изделия вида «СЕ»

В позиции a17.1 формируется массив статусов утверждения версии КД на версию детали ($Ч = СЕ$), и в позиции a17.2 формируется статус утверждения КД на деталь части изделия вида «СЕ».

Позиция a17.1 раскрывается в циклическую конструкцию (рис. 3.61). В позиции a17.1 проектируются множества версий текущей детали текущей части изделия вида «СЕ». В позиции a19.1 фиксируется текущая версия детали текущей части изделия вида «СЕ», затем присваивается номер следующей позиции a19.2 «проектирование текущей версии детали текущей части изделия вида «СЕ». Позиция a19.3 представлена как альтернативой, в которой происходит

проектирование множества версий детали текущей версии части изделия вида «СЕ» в зависимости от статуса утверждения версии КД. При неутвержденном статусе версии КД переход к следующей версии детали текущей версии части изделия вида «СЕ» $s = s + 1$ происходит в позиции a21.3. При утвержденном статусе версии КД проектирование множества версий детали текущей версии части изделия вида «СЕ» происходит в позиции a20.6.

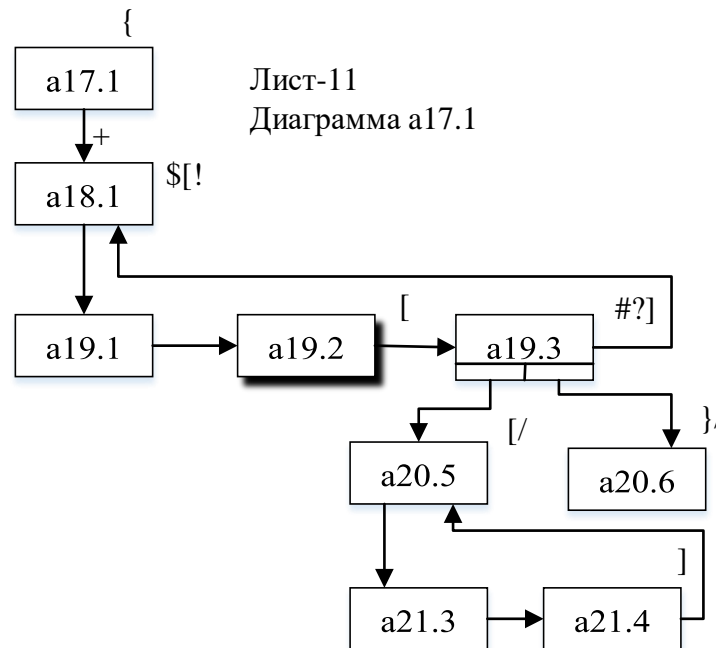


Рис. 3.61 Диаграмма «Проектирование множества версий текущей детали текущей части изделия вида (СЕ)», где a17.1: проектирование множества версий текущей детали текущей версии части изделия вида «СЕ»; a18.1: проектирование с-й версии детали b1 текущей версии части изделия вида «СЕ»; a19.1: фиксация текущей версии детали текущей версии части изделия вида «СЕ»; a19.2: проектирование текущей версии детали текущей версии части изделия вида «СЕ»; a19.3: проектирование множества версий детали текущей версии части изделия вида «СЕ» в зависимости от статуса утверждения версии КД; a20.5: проектирование множества версий детали текущей версии части изделия вида «СЕ» при неутвержденном статусе версии КД; a21.3: переход к следующей версии детали текущей версии части изделия вида «СЕ» $s = s + 1$; a21.4: проектирование множества версий детали текущей версии части изделия вида «СЕ» при неутвержденном статусе версии КД для предыдущей версии; a20.6: проектирование множества версий детали текущей версии части изделия вида «СЕ» при утвержденном статусе версии КД

В результате цикла формируется и обновляется массив, в который заносятся результаты проектирования текущей версии детали текущей части изделия вида «СЕ» с присвоенными им номерами.

Позиция a19.2 (проектирование текущей версии детали текущей части изделия вида «СЕ») представляет собой последовательность (рис. 3.62). На входе позиции a20.1 имеет начальное состояние ПР на часть изделия вида СЕ (Ч=СЕ) по этапу ТРП, и на выходе получается непосредственно состояние ПР на версию Д

(Ч=СЕ) по этапу ТРП для создания версии КД на деталь текущей части изделия вида «СЕ» в позиции а20.2. На выходе позиции а20.2 документация проходит стадию согласования в позиции а20.3. После согласования КД утверждается в позиции а20.4. После чего документация на деталь текущей части изделия вида «СЕ» получает статус утвержденной документации или неутвержденной. В ходе исследования конструкторского и технологического проектирования происходит процедура проверки КД на технологичность. В случае нетехнологичности в позиции а21.2 сохраняется текущая версия, и документация остается неутвержденной. И создается новая версия документации на версию детали текущей части изделия вида «СЕ» с учетом замечаний [107].

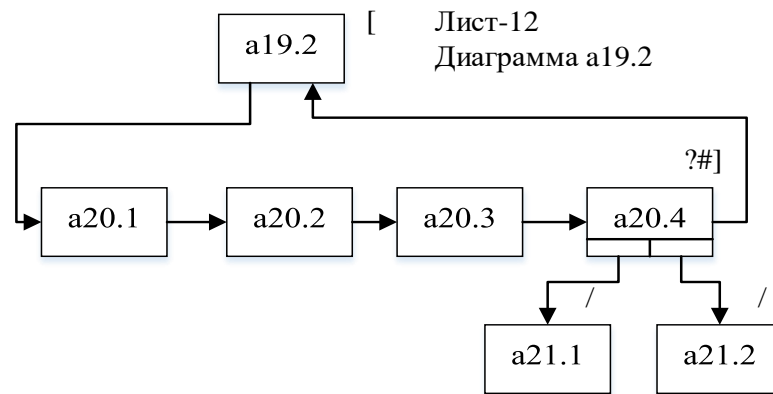


Рис. 3.62 Диаграмма «Проектирование ТВ детали текущей части изделия вида (СЕ)», где а19.2: проектирование ТВ детали ТВ части изделия вида «СЕ»; а20.1: расчет основных параметров версии детали ТВ части изделия вида «СЕ»; а20.2: создание версии КД на версию детали ТВ части изделия вида «СЕ»; а20.3: согласование версии КД на версию детали ТВ части изделия вида «СЕ»; а20.4: формирование статуса утверждения версии КД на версию детали ТВ части изделия вида «СЕ» в зависимости от статуса согласования; а21.1: формирование статуса утверждения версии КД на версию детали ТВ части изделия вида «СЕ» при положительном статусе согласования; а21.2: формирование статуса утверждения версии КД на версию детали ТВ части изделия вида «СЕ» при отрицательном статусе согласования

Модельные представления в виде диаграммы СПЗ-1 для части изделия вида комплекса также разработаны аналогично. Таким образом, были сформированы диаграммы СПЗ-1 по базовым и типовым конструкциям для задачи конструирования ТС.

3.3.2.2 Формирование диаграмм системы предметных зависимостей 1-го рода в целом

Разработана обобщенная диаграмма СПЗ-1 для задачи конструирования ТС. Для наглядности она разделена на три части и представлена на рис. 3.63.

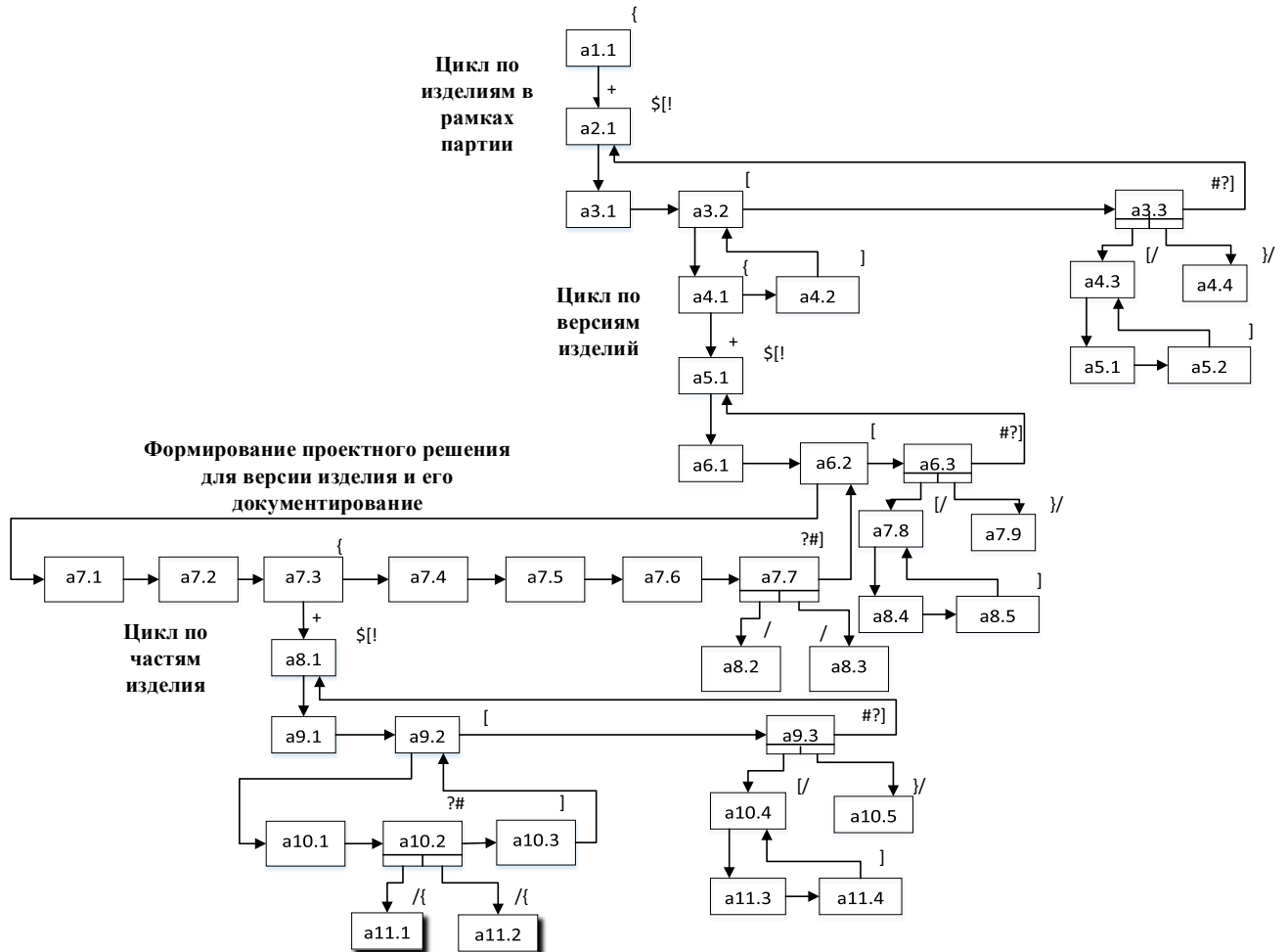


Рис. 3.63 Обобщенная диаграмма СПЗ-1 для задачи конструирования сложных машиностроительных изделий по укрупненным подзадачам

Таким образом, была сформирована обобщенная диаграмма СПЗ-1 для проектной деятельности по российской практике в целом.

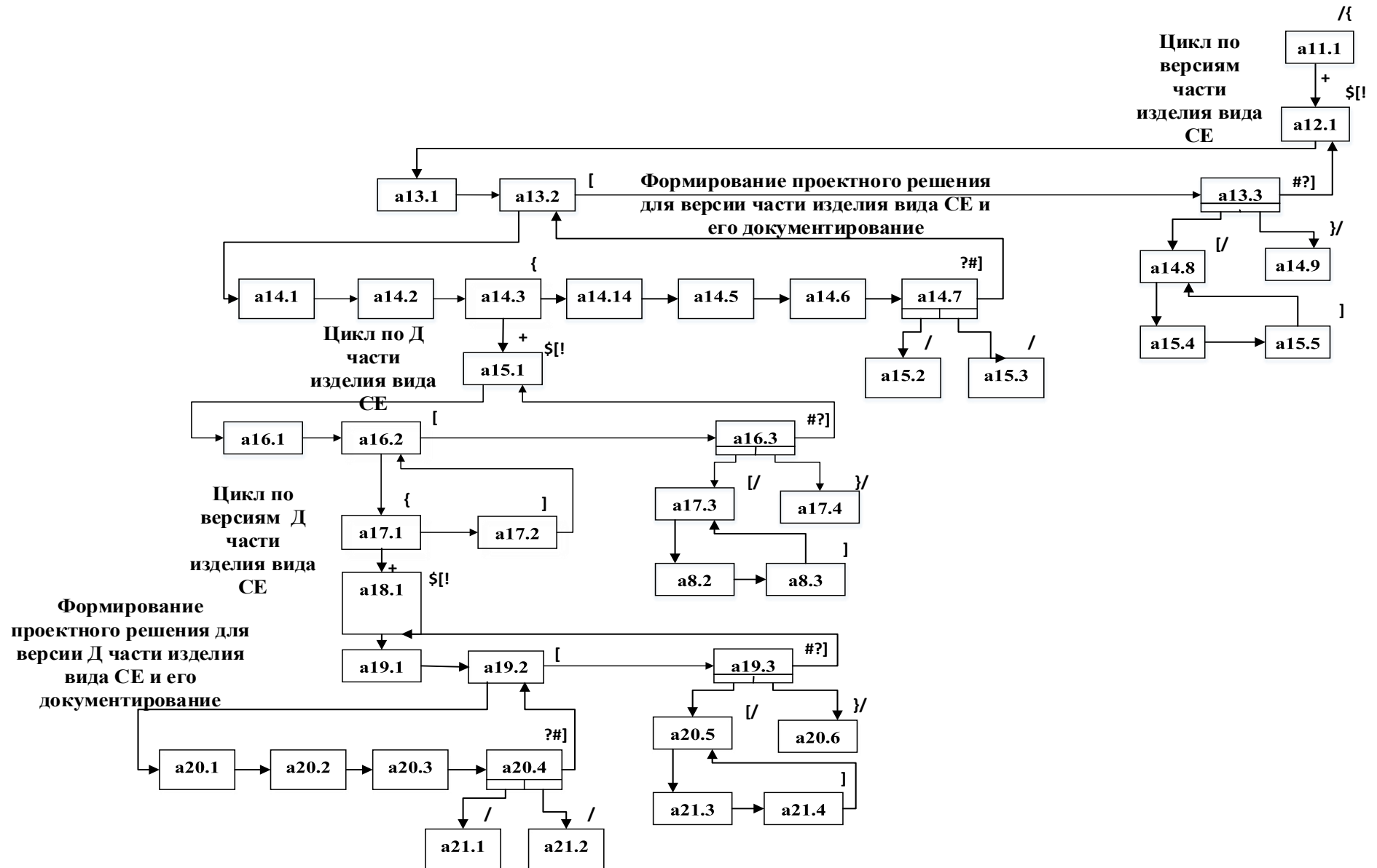


Рис. 3.63 Продолжение

3.3.2.3 Формирование спецификаций системы предметных зависимостей 1-го рода

На основе детальной декомпозиции формируется система предметных зависимостей ПЗ-1 задачи. ПЗ-1 являются элементарные действия в декомпозиции. В итоге формируются общая характеристика ПЗ-1 (форма F3) и СПЗ-1 (форма F4). Фрагменты описаний спецификаций форм F3 и F4 перенесены в Приложение 2

3.3.3 Разработка статической структуры модели

3.3.3.1 Формирование диаграмм основной концептуальной структуры

Формирование статической структуры модели процессов конструирования сложных машиностроительных изделий заключается в последовательном разложении сложных предметных понятий на более простые. На (рис. 3.64) приведено начало ОКС задачи конструирования сложных машиностроительных изделий.



Рис. 3.64 Начало основной концептуальной структуры

Компонент «средство-устройство» разложен на объекты: партия изделий, изделие, часть изделия, часть изделия вида СЕ, деталь части изделия вида СЕ, часть изделия вида Кс, компонент части изделия вида Кс (Ч = Кс), компонент вида СЕ (Ч = Кс), компонент вида деталь (Ч = Кс), деталь (Ч = Кс, К = СЕ).

На рис. 3.65 сформирована структура компонента «средство-устройство» из объектов с учетом версий изделия.

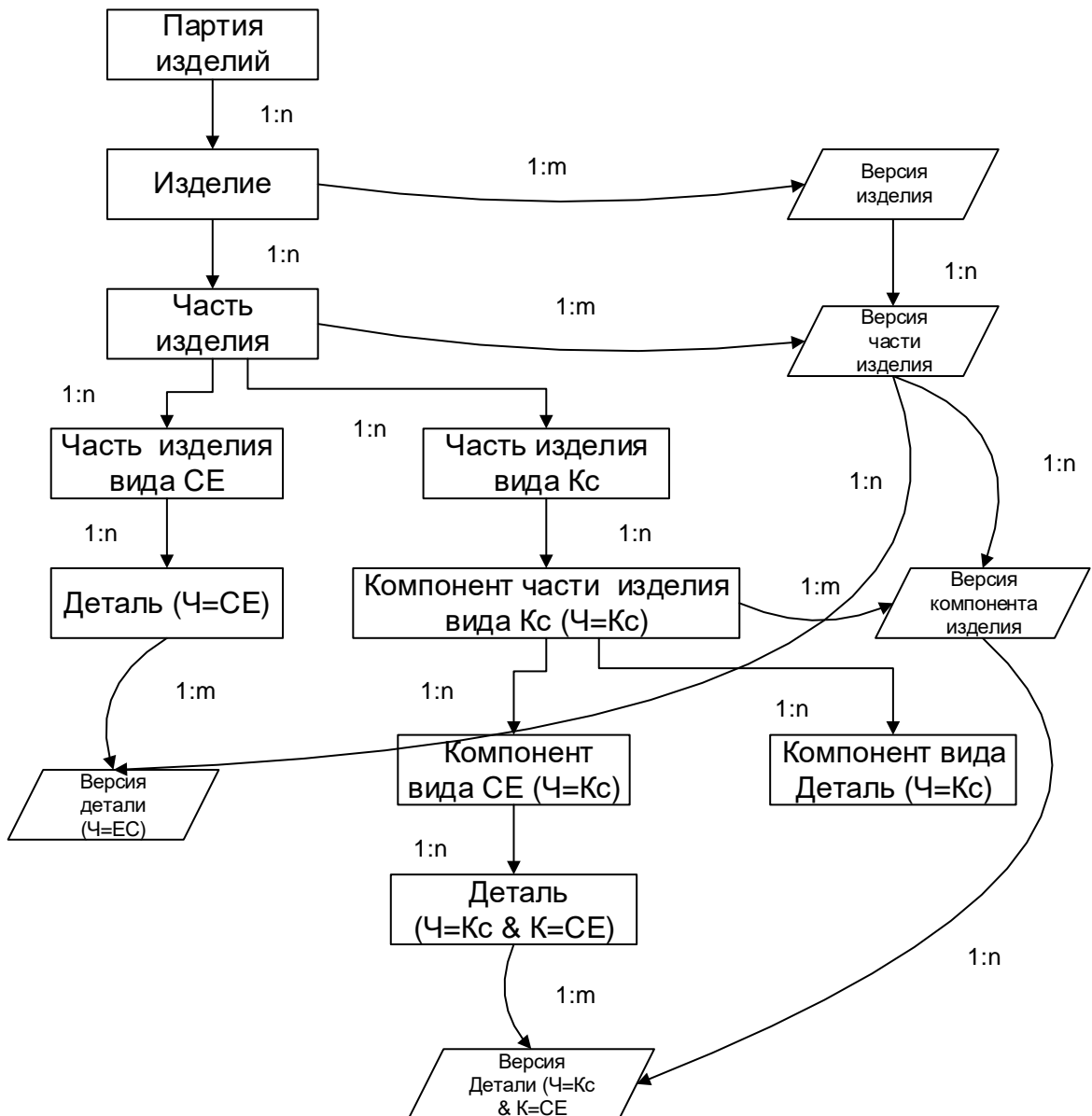


Рис. 3.65 Структура компонента «средство-устройство» из объектов с учетом версий изделия

Компонент «средство-документ» разложен на объекты: документация на партию изделий, КД на изделие, КД на часть изделия, КД на часть изделия вида СЕ, КД на деталь (Ч = СЕ), КД на часть изделия вида Кс, КД на компонент части

изделия вида Кс ($Ч = Кс$), КД на компонент вида СЕ ($Ч = Кс$), КД на компонент вида Деталь ($Ч = Кс$), КД на деталь ($Ч = Кс, К = СЕ$).

Структура компонента «средство-документ» из объектов с учетом версий приведена на рис. 3.66.

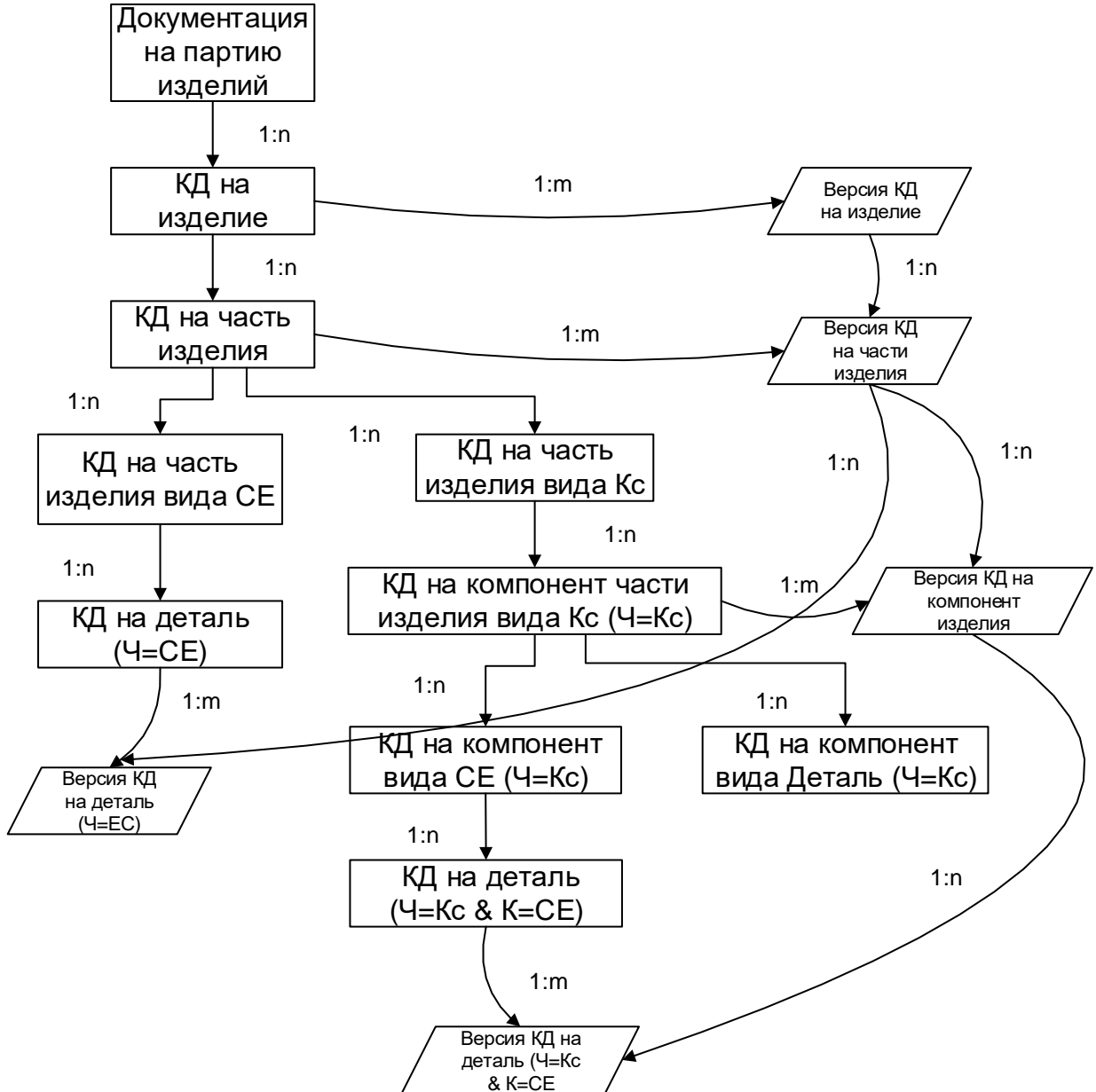


Рис. 3.66 Структура компонента «средство-документ» из объектов с учетом версий

Выявляется множество признаков для всех ПК класса (объект). Признаки были классифицированы как следующие: идентификационные; наименование; классификационные; функциональные (или назначения); размерные; временные; признаки, связанные с материалом/массой изделия; энергетические. На рис. 3.67 показана структура компонента «средство-устройство» из объектов и их признаков. На рис. 3.68 представлена структура компонента «средство-документ» из объектов и их признаков.

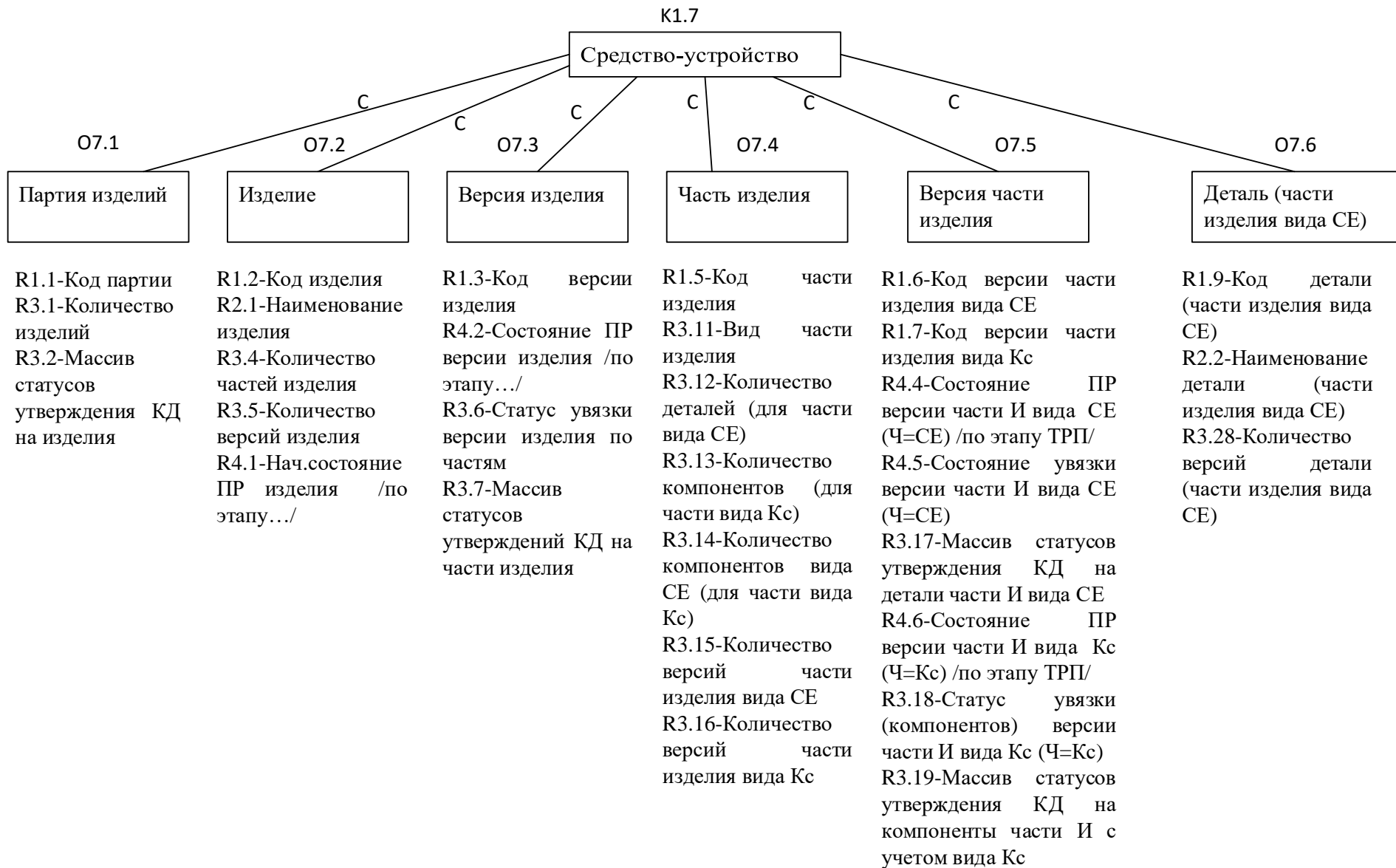


Рис. 3.67 Структура компонента «средство-устройство» из объектов и их признаков

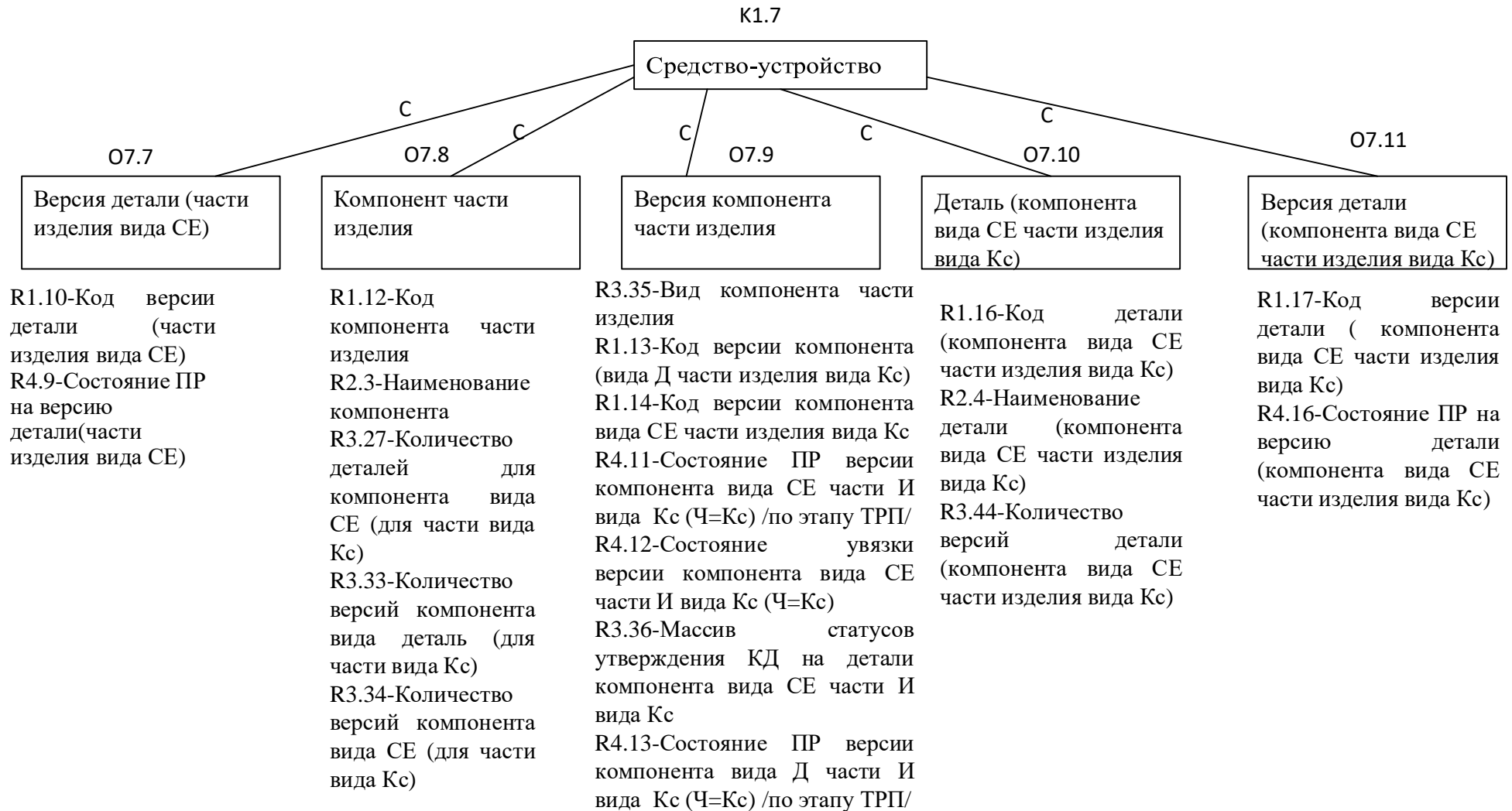


Рис. 3.67 Продолжение

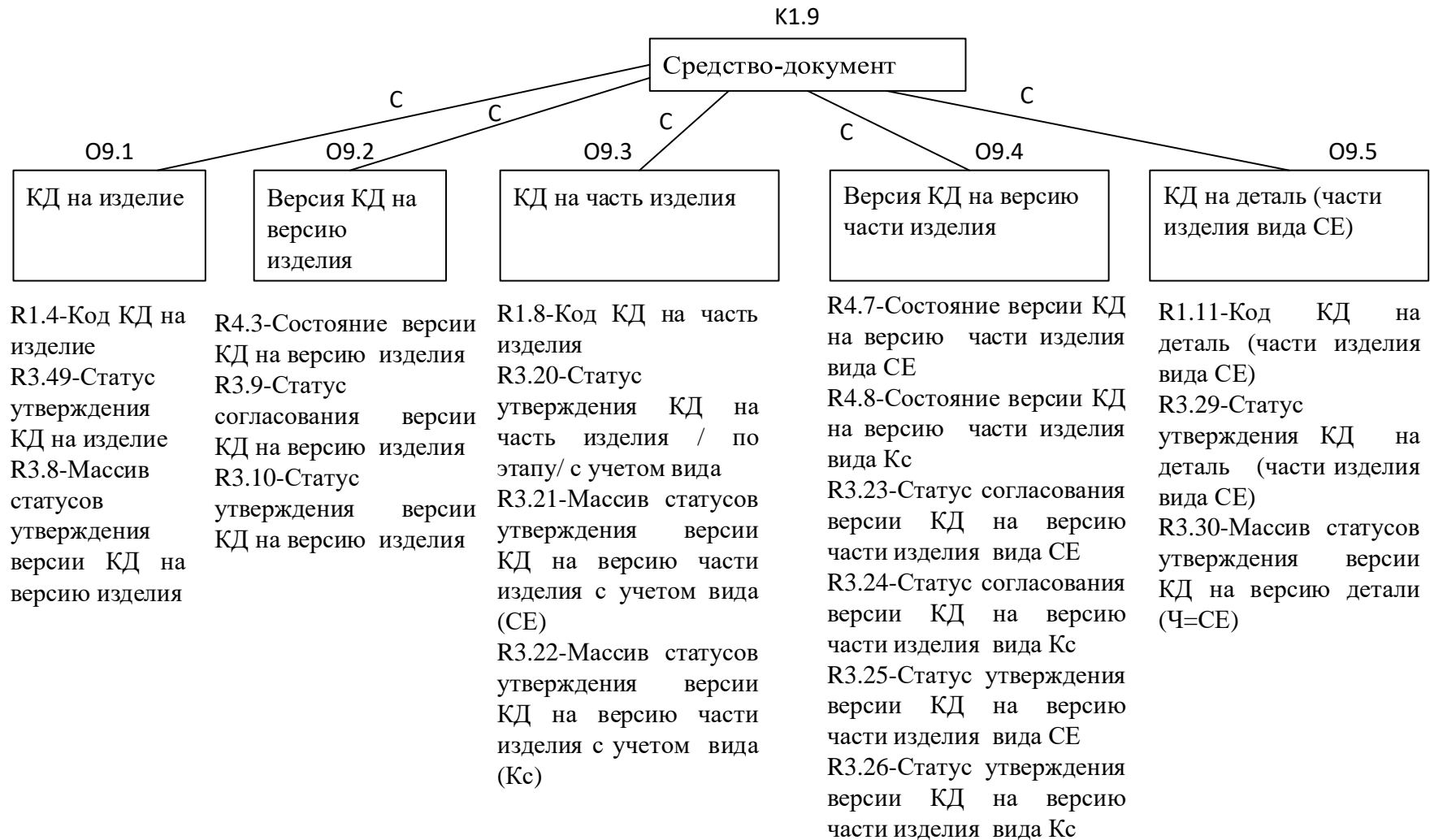


Рис. 3.68 Структура компонента «средство-документ» из объектов и их признаков

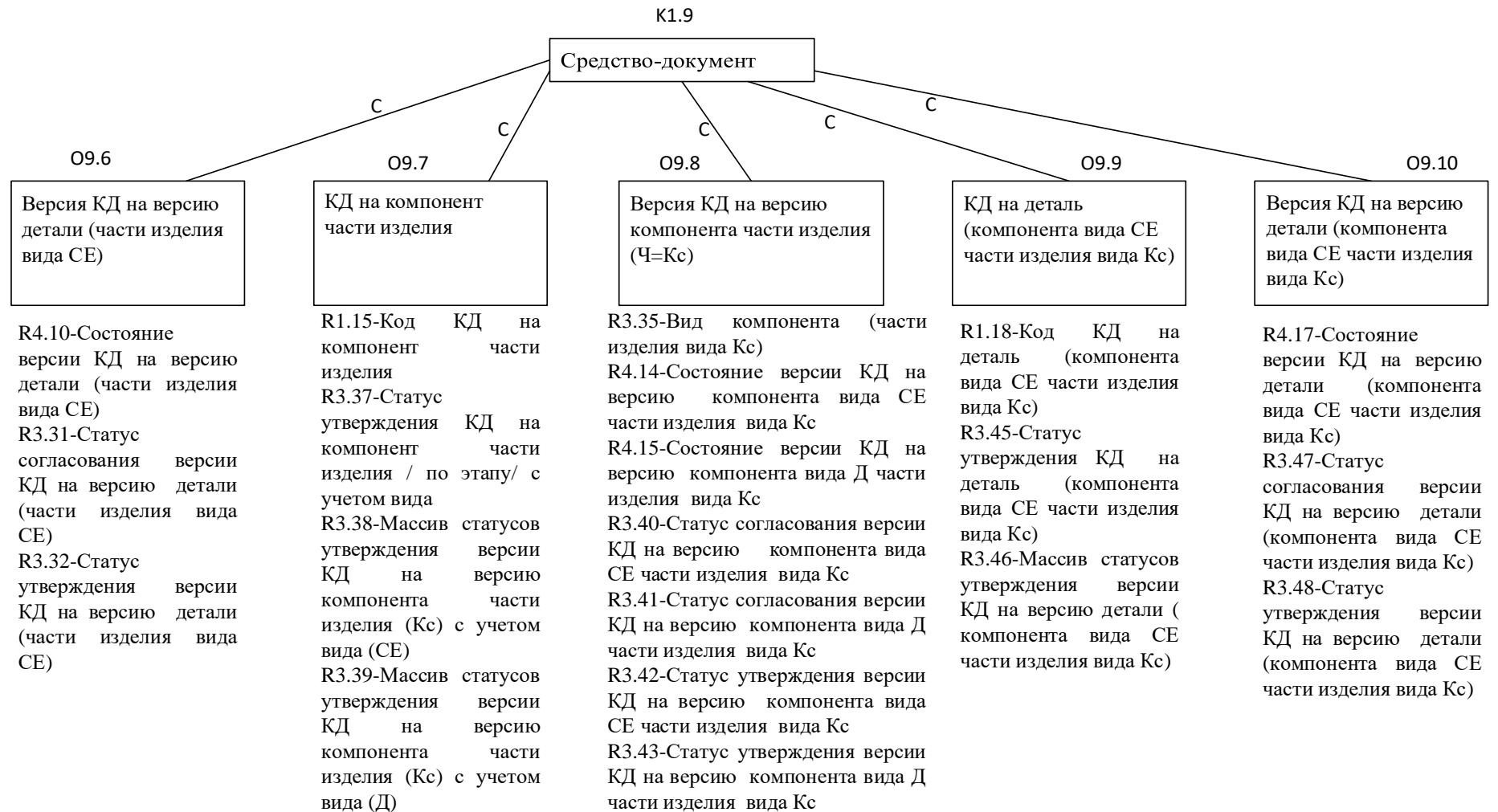


Рис. 3.68 Продолжение

Таким образом, были сформированы диаграммы ОКС по классам ПК от самого сложного до элементарного.

3.3.3.2 Формирования диаграмм основной концептуальной структуры в целом

На основании всех вышеизложенных локальных диаграмм ОКС по классам ПК была сформулирована концептуальная структура в целом. Таким образом, была сформирована диаграмма ОКС в целом для задачи конструирования сложных машиностроительных изделий.

3.3.3.3 Формирование спецификаций основной концептуальной структуры

На основе ОКС формируется набор спецификаций, включающий следующие описания [53]:

- Форма F1, которая содержит описание ПК;
- Форма F2, которая содержит описание бинарных связей.

Описание бинарных связей фиксируется на основе идентификационных признаков объектов и специальных признаков связи [48, 53]. Фрагменты описаний спецификаций форм F1 и F2 перенесены в Приложение 2.

3.3.4 Разработка концептуальной модели в целом

3.3.4.1 Формирование диаграмм концептуальной модели по конструкциям

При формировании КМ проектной деятельности по российской практике увязываются полученные структуры ОКС и структуры ПЗ-1. И предполагаются следующие процедуры: описание содержания ПЗ-1 для каждой задачи в виде матричных диаграмм; проведение экспертизы концептуальной модели; - доработка концептуальной модели; формирование спецификаций концептуальной модели [48, 53].

Матричная диаграмма (МД) для типовой конструкции цикла (рис. 3.51) представлена на рис. 3.69. Основными параметрами являются: СЦ - количество изделий (R3.1); АИ - код изделия (R1.2), код КД на изделие (R1.4); ФИ - статус

утверждения КД на изделие (R3.49); ФЦ - массив статусов утверждения КД на изделие (R3.2).

Позиция ПЗ-1	СЦ	АИ	АИ	ФИ	ФЦ
	R3.1	R1.2	R1.4	R3.49	R3.2
a1.1					{
a2.1	!			\$	[
a3.1	.	*			
a3.2	.			[*	
a3.3	?				#]
a4.3	/				[
a5.2	*				
a5.3	.	.		+	*]
a4.4	/	.		+	*}

Рис. 3.69 МД «Проектирование множества изделий»

Матричная диаграмма для базовой конструкции последовательности (рис. 3.52) представлена на рис. 3.70. Основным параметром является ФП - статус утверждения КД на изделие (R3.49).

Позиция ПЗ-1		ФП
	(R3.8)	(R3.49)
a3.2		[
a4.1	{*	
a4.2	+	*]

Рис. 3.70 МД «Проектирование текущего изделия», где (R3.8) = массив статусов утверждения версии КД на версию изделия

Матричная диаграмма для типовой конструкции цикла (рис. 3.53) представлена на рис. 3.71. Основными параметрами являются: СЦ - количество версий изделия (R3.5); АИ - код изделия (R1.2), код КД на изделие (R1.4), код версии изделия (R1.3); ФИ - статус утверждения версии КД на версию изделия (R3.10); ФЦ - массив статусов утверждения версии КД на версию изделия (R3.8).

Позиция ПЗ-1	СЦ	АИ	АИ	АИ	ФИ	ФЦ
	(R3.5)	(R1.2)	(R1.3)	(R1.4)	(R3.10)	(R3.8)
a4.1						{
a5.1	!	.			\$	[
a6.1	.	.	*	*		
a6.2	[*	
a6.3	?	.				#]
a7.8	/	.				[
a8.4	*	.				
a8.5	.	.			+	*]
a7.9	/	.			+	*}

Рис. 3.71 МД «Проектирование множества версий изделия»

Матричная диаграмма для базовой конструкции последовательности (рис. 3.54) представлена на рис. 3.72.

Позиция ПЗ-1								ФП	
	(R4.2)	(R4.1)	(R3.4)	(R3.7)	(R3.6)	(R4.3)	(R3.9)	(R3.10)	(R1.2)
a6.2								[
a7.1	*	+							.
a7.2			*						.
a7.3			.	{*					.
a7.4	+			+	*				.
a7.5	+			+	+	*			.
a7.6						+	*		.
a7.7							?	#]	.
a8.2							/	*	.
a8.3							/	*	.

Рис. 3.72 МД «Проектирование текущей версии изделия», где (R4.2) = состояние ПР версии И по этапу ТРП, (R4.1) = начальное состояние ПР И по этапу ТРП, (R3.4) = количество частей изделия, (R3.7) = массив статусов утверждения КД на части изделия по этапу ТРП с учетом вида, (R3.6) = состояние увязки версии И по частям, (R4.3) = состояние версии КД на версию изделия, (R3.9) = статус согласования версии КД на версию изделия, (R1.2) = код изделия

Основным параметром является ФП - статус утверждения версии КД на версию изделия (R3.10).

Матричные диаграммы для типовых конструкций (рис. 3.55 –3.62) формируются аналогичным способом. Таким образом, были сформированы матричные диаграммы концептуальной модели по базовым и типовым конструкциям для задачи конструирования сложных машиностроительных изделий.

3.3.4.2 Формирование диаграммы концептуальной модели в целом

Разработана обобщенная матричная диаграмма КМ проектной деятельности по российской практике. Разделена обобщенная матричная диаграмма на 9 частей, чтобы наглядно представлять, по принципу, как указано на рис. 3.73. На рис. 3.74 отражена обобщенная матричная диаграмма концептуальной модели процессов конструирования сложных машиностроительных изделий.

1.1	1.2	1.3
2.1	2.2	2.3
3.1	3.2	3.3

Рис. 3.73 Принцип разделения матричной диаграммы концептуальной модели

	O7.1			O7.2					O7.3				O7.4						O7.5					O7.6			O7.7						
	R1.1	R3.1	R3.2	R1.2	R2.1	R3.4	R3.5	R4.1	R1.3	R4.2	R3.6	R3.7	R1.5	R3.11	R3.12	R3.13	R3.14	R3.15	R3.16	R1.6	R1.7	R4.4	R4.5	R3.17	R4.6	R3.18	R3.19	R1.9	R2.2	R3.28	R1.10	R4.9	
a1.1	.		~																														
a2.1	.	!	~																														
a3.1	.	.		*																													
a3.2	.	.																															
a4.1				.																													
a5.1				.			!																										
a6.1				.			.		*																								
a6.2				.			.		.	*																							
a7.1				.				+	.	*																							
a7.2				.		*			.																								
a7.3				.					.			{																					
a8.1						!			.			[
a9.1						.			.			*																					
a9.2						.			.			+																					
a10.1													*																				
a10.2													?																				
a11.1													/																				
a12.1																	!																
a13.1																	.		*														
a13.2																.		.															
a14.1									+									.		*													
a14.2														*				.		.													
a14.3																		.		.				{									
a15.1															!				.		.			[
a16.1														.														*					

Рис. 3.74 Обобщенная матричная диаграмма концептуальной модели (1.1)

	O7.8						O7.9						O7.10			O7.11		O9.1			O9.2			O9.3					
	R1.12	R3.3	R2.3	R3.27	R3.33	R3.34	R3.35	R1.13	R1.14	R4.11	R4.12	R3.36	R4.13	R1.16	R2.4	R3.44	R1.17	R4.16	R1.4	R3.49	R3.8	R4.3	R3.9	R3.10	R1.8	R3.20	R3.21	R3.22	
a1.1																													
a2.1																				€									
a3.1																													
a3.2																				[
a4.1																													
a5.1																													
a6.1																			*										
a6.2																													
a7.1																													
a7.2																													
a7.3																													
a8.1																												€	
a9.1																													
a9.2																											[
a10.1																													
a10.2																												#	#
a11.1																												{	
a12.1																												[
a13.1																													
a13.2																													
a14.1																													
a14.2																													
a14.3																													
a15.1																													
a16.1																													

Рис. 3.74 Продолжение 1.2

	O9.4						O9.5			O9.6			O9.7				O9.8						O9.9			O9.10				
	R4.7	R4.8	R3.23	R3.24	R3.25	R3.26	R1.11	R3.29	R3.30	R4.10	R3.31	R3.32	R1.15	R3.37	R3.38	R3.39	R3.35	R4.14	R4.15	R3.40	R3.41	R3.42	R3.43	R1.18	R3.45	R3.46	R4.17	R3.47	R3.48	
a1.1																														
a2.1																														
a3.1																														
a3.2																														
a4.1																														
a5.1																														
a6.1																														
a6.2																														
a7.1																														
a7.2																														
a7.3																														
a8.1																														
a9.1																														
a9.2																														
a10.1																														
a10.2																														
a11.1																														
a12.1					\$																									
a13.1																														
a13.2					[
a14.1																														
a14.2																														
a14.3																														
a15.1								\$																						
a16.1																														

Рис. 3.74 Продолжение 1.3

	O7.1			O7.2				O7.3				O7.4						O7.5						O7.6			O7.7						
	R1.1	R3.1	R3.2	R1.2	R2.1	R3.4	R3.5	R4.1	R1.3	R4.2	R3.6	R3.7	R1.5	R3.11	R3.12	R3.13	R3.14	R3.15	R3.16	R1.6	R1.7	R4.4	R4.5	R3.17	R4.6	R3.18	R3.19	R1.9	R2.2	R3.28	R1.10	R4.9	
a16.2																																	
a17.1															*																		
a18.1																																	
a19.1																																	
a19.2																																	
a20.1																																	
a20.2																																	
a20.3																																	
a20.4																																	
a21.1																																	
a21.2																																	
a19.3																																	
a20.5																																	
a21.3																																	
a21.4																																	
a20.6																																	
a17.2																																	
a16.3															?									#]									
a17.3															/									[
a18.2															*																		
a18.3																																	
a17.4															/																		
a14.4																																	
a14.5																																	
a14.6																																	
a14.7																																	
a15.2																																	
a15.3																																	

Рис. 3.74 Продолжение 2.1

	O7.8						O7.9						O7.10		O7.11		O9.1			O9.2			O9.3						
	R1.12	R3.3	R2.3	R3.27	R3.33	R3.34	R3.35	R1.13	R1.14	R4.11	R4.12	R3.36	R4.13	R1.16	R2.4	R3.44	R1.17	R4.16	R1.4	R3.49	R3.8	R4.3	R3.9	R3.10	R1.8	R3.20	R3.21	R3.22	
a16.2																													
a17.1																													
a18.1																													
a19.1																													
a19.2																													
a20.1																													
a20.2																													
a20.3																													
a20.4																													
a21.1																													
a21.2																													
a19.3																													
a20.5																													
a21.3																													
a21.4																													
a20.6																													
a17.2																													
a16.3																													
a17.3																													
a18.2																													
a18.3																													
a17.4																													
a14.4																													
a14.5																													
a14.6																													
a14.7																													
a15.2																													
a15.3																													

Рис. 3.74 Продолжение 2.2

	O9.4						O9.5			O9.6			O9.7				O9.8						O9.9			O9.10			
	R4.7	R4.8	R3.23	R3.24	R3.25	R3.26	R1.11	R3.29	R3.30	R4.10	R3.31	R3.32	R1.15	R3.37	R3.38	R3.39	R3.35	R4.14	R4.15	R3.40	R3.41	R3.42	R3.43	R1.18	R3.45	R3.46	R4.17	R3.47	R3.48
a16.2								┌																					
a17.1								┌																					
a18.1								┌			\$																		
a19.1							*																						
a19.2							.				[
a20.1							.																						
a20.2							.		*																				
a20.3							.		+	*																			
a20.4							.			?	#]																		
a21.1							.			/.	*																		
a21.2							.			/.	*																		
a19.3							.			#]																			
a20.5							.			[
a21.3							.																						
a21.4							.			*)		+																	
a20.6							.			*)		+																	
a17.2								*)	+																				
a16.3																													
a17.3																													
a18.2																													
a18.3								+																					
a17.4								+																					
a14.4																													
a14.5	*																												
a14.6	+		*																										
a14.7			?		#]																								
a15.2			/		*																								
a15.3			/		*																								

Рис. 3.74 Продолжение 2.3

	O7.1			O7.2				O7.3				O7.4						O7.5						O7.6			O7.7						
	R1.1	R3.1	R3.2	R1.2	R2.1	R3.4	R3.5	R4.1	R1.3	R4.2	R3.6	R3.7	R1.5	R3.11	R3.12	R3.13	R3.14	R3.15	R3.16	R1.6	R1.7	R4.4	R4.5	R3.17	R4.6	R3.18	R3.19	R1.9	R2.2	R3.28	R1.10	R4.9	
a13.3																		?															
a14.8																		/															
a15.4																		*															
a15.5																		.															
a14.9																		/															
a10.3																																	
a9.3						?						#]																					
a10.4						/.						[
a11.3						*																											
a11.4						.						*)																					
a10.5						/.						*																					
a7.4				.				.	+	*	+																						
a7.5				.				.	+	+	+																						
a7.6				.				.																									
a7.7				.				.																									
a8.2				.				.																									
a8.3				.				.																									
a6.3				.			?	.																									
a7.8				.			/	.																									
a8.4				.			*	.																									
a8.5				.			.	.																									
a7.9				.			/	.																									
a4.2																																	
a3.3	.	?	#]																														
a4.3	.	/	[
a5.2	.	*																															
a5.3	.	.	*)																														
a4.4	.	/	*																														

Рис. 3.74 Продолжение 3.1

	O7.8						O7.9						O7.10			O7.11		O9.1			O9.2			O9.3						
	R1.12	R3.3	R2.3	R3.27	R3.33	R3.34	R3.35	R1.13	R1.14	R4.11	R4.12	R3.36	R4.13	R1.16	R2.4	R3.44	R1.17	R4.16	R1.4	R3.49	R3.8	R4.3	R3.9	R3.10	R1.8	R3.20	R3.21	R3.22		
a13.3																												#]		
a14.8																													[
a15.4																														
a15.5																													*]
a14.9																													*	}
a10.3																											*]	+	+
a9.3																														
a10.4																														
a11.3																														
a11.4																													+	
a10.5																													+	
a7.4																														
a7.5																							*							
a7.6																							+	*						
a7.7																								?	#]					
a8.2																								/	*					
a8.3																								/	*					
a6.3																														
a7.8																														
a8.4																														
a8.5																													*]
a7.9																													+	
a4.2																													*]
a3.3																														
a4.3																														
a5.2																														
a5.3																														+
a4.4																														+

Рис. 3.74 Продолжение 3.2

	O9.4						O9.5			O9.6			O9.7				O9.8						O9.9			O9.10				
	R4.7	R4.8	R3.23	R3.24	R3.25	R3.26	R1.11	R3.29	R3.30	R4.10	R3.31	R3.32	R1.15	R3.37	R3.38	R3.39	R3.35	R4.14	R4.15	R3.40	R3.41	R3.42	R3.43	R1.18	R3.45	R3.46	R4.17	R3.47	R3.48	
a13.3																														
a14.8																														
a15.4																														
a15.5					+																									
a14.9					+																									
a10.3																														
a9.3																														
a10.4																														
a11.3																														
a11.4																														
a10.5																														
a7.4																														
a7.5																														
a7.6																														
a7.7																														
a8.2																														
a8.3																														
a6.3																														
a7.8																														
a8.4																														
a8.5																														
a7.9																														
a4.2																														
a3.3																														
a4.3																														
a5.2																														
a5.3																														
a4.4																														

Рис. 3.74 Продолжение 3.3

Таким образом, была сформирована обобщенная матричная диаграмма КМ для задачи конструирования сложных машиностроительных изделий в соответствии с российской практикой.

3.3.4.3 Формирование спецификаций концептуальной модели

В конце концептуальной модели формируется описание содержания ПЗ-1 (форма F6). Фрагмент описания спецификаций формы F6 перенесен в Приложение 2. При формировании спецификаций концептуальных моделей фиксируются код предметной задачи, код модели и вид структуры. И для каждой строчки диаграммы концептуальной модели фиксируются код ПЗ и под ПК, структурное свойство ПЗ, роль ПК, структурное свойство ПК, объемное свойство ПК и особая роль ПК.

3.4 Выводы по главе

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

1. Сформированы концептуальные модели задач по немецкой и российской практике, которые включают в себя, соответственно, конструкции: СПЗ-1, ОКС и увязку между собой.
2. На основе полученных концептуальных моделей можно выполнить сравнение двух практик проектной деятельности: российской и немецкой практиками.
3. Из практик проектной деятельности можно выделить их особенности и достоинства для того, чтобы заимствовать эти практики и учесть их для повышения эффективности проектной деятельности или ее развития для применения в Республике Союз Мьянма.
4. Разработанные концептуальные модели как модели знаний проектной деятельности целесообразно использовать при обучении будущих специалистов для промышленности в Республике Союз Мьянма для дальнейшего анализа и моделирования других процессов жизненного цикла ТС.
5. Разработанные концептуальные модели являются основой для дальнейшего создания автоматизированных систем как в проектной деятельности, так и в других видах деятельности жизненного цикла ТС.

ГЛАВА 4

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

4.1 Общее описание инструментальных средств

Цель создания инструментальных средств заключается в повышении эффективности моделирования и анализа технических систем. Инструментальные средства предназначены для автоматизированного выполнения анализа технических систем (ТС) с учетом их внутренней структуры. Они могут быть использованы как для проведения анализа технических объектов и устройств, так и для анализа способов получения объектов с заданными свойствами. Инструментальные средства могут применяться для проведения анализа любых ТС вне зависимости от отрасли.

При разработке инструментальных средств были учтены следующие требования:

- ограничение доступа к базам данных для всех пользователей;
- выполнение основных функций обработки информации, таких как ввод, редактирование и хранение данных;
- возможность вывода информации в виде документов или отчетов.

Для реализации этих требований была выбрана система управления базами данных Microsoft Access 2007. Для работы с инструментальными средствами нужны следующие системные требования; центральный процессор: не менее 500 МГц, оперативная память (от 512 Мб и выше), пространство на жестком диске: не менее 2 Гб, платформа -Microsoft Windows 32/64 Bit. Графический интерфейс пользователя был разработан с помощью языка программирования Visual Basic. Данная система может быть установлена на любой компьютер, на котором используется Microsoft Office, что позволяет пользователю избежать дополнительных расходов на приобретение необходимых компьютерных компонентов.

Инструментальные средства состоят из 15 разделов для анализа ТС, соответствующих основным этапам функционального и физического анализа. Первые 6 разделов образуют описательную часть, в которой экспертом дается

достаточно полное описание ТС. Остальные разделы образуют собственно аналитическую часть, в которой информация о ТС, представленная в описательной части, анализируется с целью выявления направлений совершенствования ТС. К описательной части относятся разделы 1–6, к аналитической части — разделы 7–16. В дальнейшем описании приведены примеры заполнения разделов. Структуры данных инструментальных средств приведены на рис. 4.1.

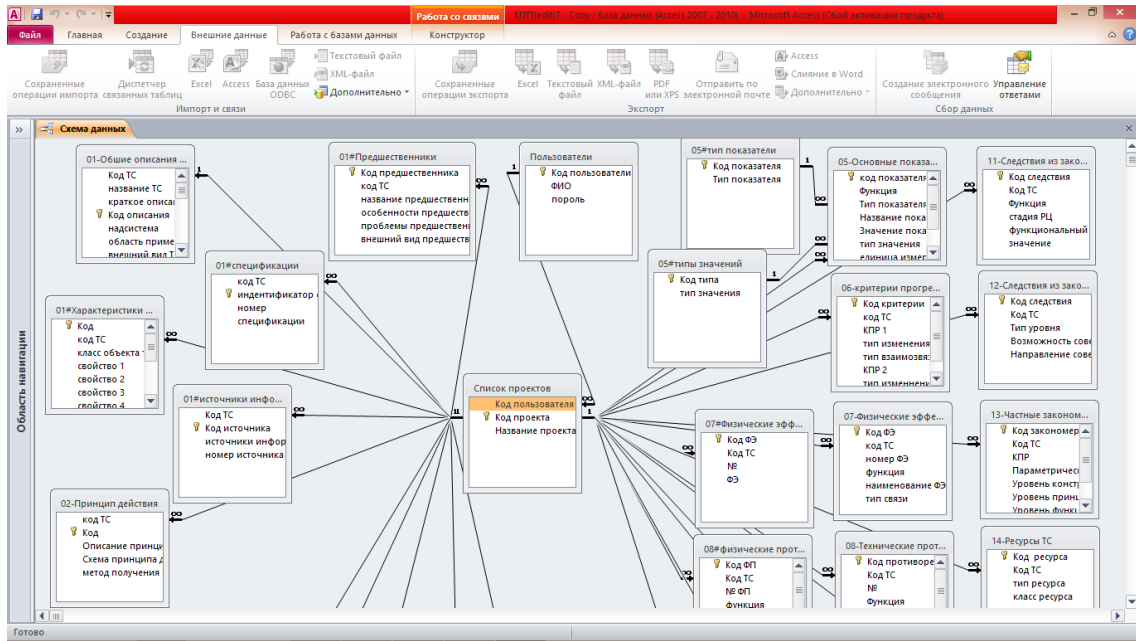


Рис. 4.1 Структура данных программного комплекса

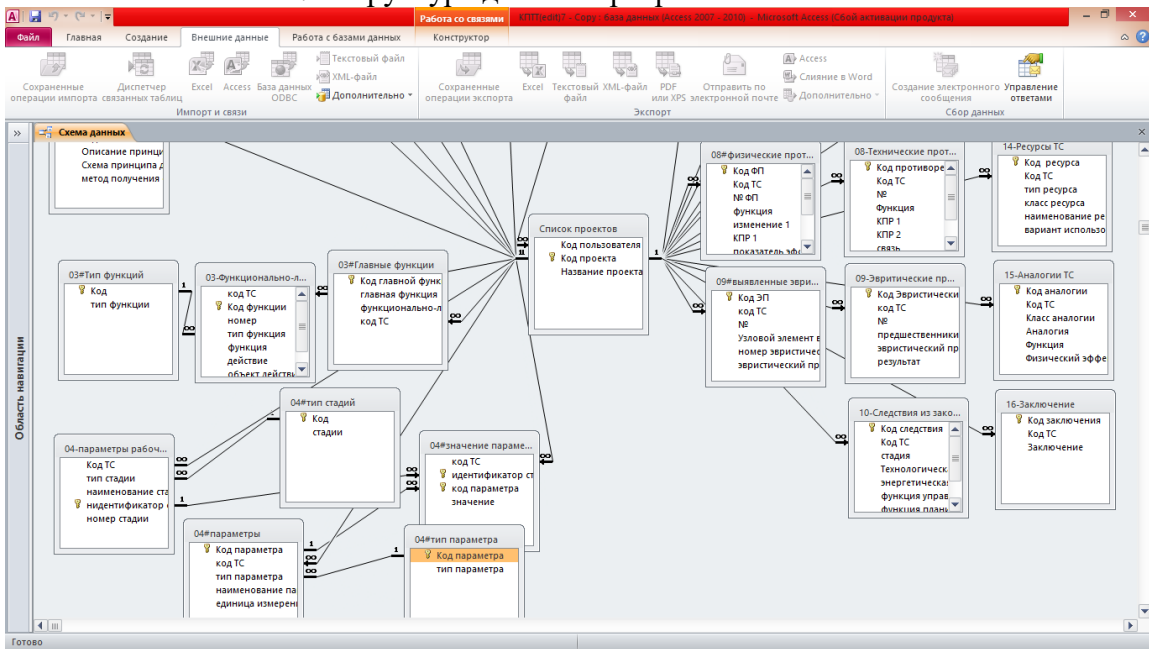


Рис. 4.1 Продолжение

Структура данных инструментальных средств включает следующие таблицы (таблица 1–16): общие описания ТС; принцип действия; функционально-

логическая структура ТС; параметры рабочего цикла; основные показатели ТС; критерии прогрессивного развития (КПР) ТС; физические эффекты, реализуемые в ТС; противоречия в ТС; эвристические приемы; следствия из закона стадийного развития; следствия из закона соответствия между функцией и структурой ТС; следствия из закона прогрессивной эволюции; частные закономерности развития ТС; ресурсы ТС; аналогии ТС; заключение.

Табл. 1 Общие описания ТС

Код ТС	Название ТС	Краткое описание ТС	Код описания	Надсистема	Область применения	Внешний вид ТС	Наименование объекта труда	Класс объекта труда	Свойства объекта труда

Табл. 2 Принцип действия

Код ТС	Описание принципа действия	Схема принципа действия	Метод получения объекта труда

Табл. 3 Функционально-логическая структура ТС

Код ТС	Тип функции	Функция	Действие	Объект действия	Комментарий

Табл. 4 Параметры рабочего цикла

Код ТС	Тип стадии	Наименование стадии	Идентификатор стадии	Номер стадии

Табл. 5 Основные показатели ТС

Код ТС	Функция	Тип показателя	Название показателя	Тип значения	Значение показателя	Единица измерения

Табл. 6 Критерии прогрессивного развития ТС

Код ТС	КПР1	Тип изменения	Тип взаимосвязи	КПР2	Тип изменения

Табл. 7 Физические эффекты, реализуемые в ТС

Код ТС	Номер физического эффекта	Функция	Наименование физического эффекта	Тип связи

Табл. 8 Противоречия в ТС

Код ТС	Функция	Изменение	КПР1	Влияние	КПР2	Связь

Табл. 9 Эвристические приемы

Код ТС	Предшественники	Эвристический прием	Результат

Табл. 10 Следствия из закона стадийного развития

Код ТС	Стадия	Технологическая функция	Энергетическая функция	Функция управления	Функция планирования	Будущая стадия	Вывод

Табл. 11 Следствия из закона соответствия между функцией и структурой ТС

Код ТС	Функция	Стадия рабочего цикла	Функциональный элемент	значение

Табл. 12 Следствия из закона прогрессивной эволюции

Код ТС	Тип уровня	Возможность совершенствования	Направления совершенствования

Табл. 13 Частные закономерности развития ТС

Код ТС	КПП	Параметрический уровень	Уровень конструкторско-технологических решений	Уровень принципов действия	Уровень функциональной структуры	Уровень пересмотра потребительских свойств	Уровень пересмотра функций ТС

Табл. 14 Ресурсы ТС

Код ТС	Тип ресурса	Класс ресурса	Наименование ресурса	Вариант использования

Табл. 15 Аналогии ТС

Код ТС	Код аналогии	Класс аналогии	Аналогия	Функция	Физический эффект

Табл. 16 Заключение

Код ТС	Заключение

Инструментальные средства включают следующие подсистемы: хранения информации; управления доступом к системе; управления информацией системы; формирования отчетов. Подсистема хранения информации сохраняет информацию ТС. Информация сохраняется на СУБД Microsoft Access. Подсистема управления доступом разграничивает права доступа к системе. Администратору предоставляется право редактировать и удалять любой проект любого пользователя.

Диалоговое окно авторизации администратора представлено на рис. 4.2.

Рис. 4.2 Диалоговое окно входа в систему для администратора

Подсистема управления информацией обеспечивает редактирование информации ТС. Подсистема формирования отчетов позволяет просмотреть и печатать информацию ТС.

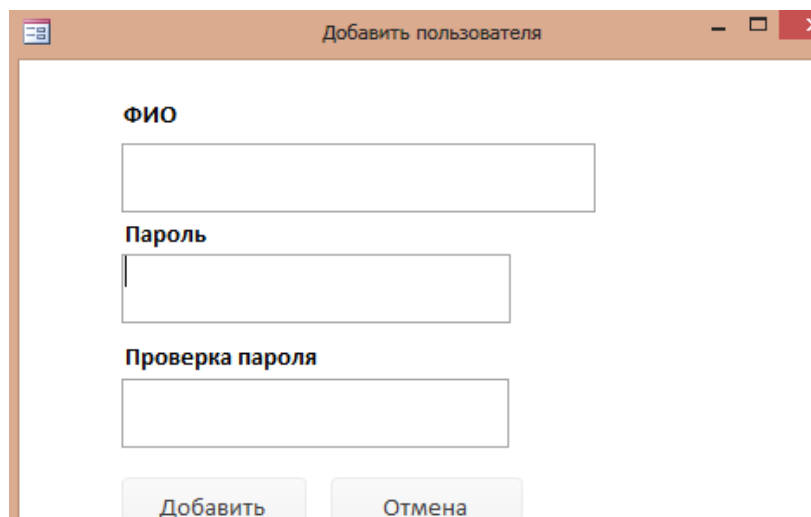
4.2. Инструкция по эксплуатации инструментальных средств

После запуска инструментальных средств (файла СУБД MS Access) появится окно авторизации пользователя (рис. 4.3), в котором необходимо выбрать пользователя из списка и ввести пароль для работы в системе.

Рис. 4.3 Окно авторизации

Система имеет следующий порядок авторизации:

1. Если вход в программу происходит впервые, нужно провести регистрацию нового пользователя. При нажатии на кнопку «Добавить» откроется форма «Добавление нового пользователя» (рис. 4.4);
2. Когда пользователь зарегистрирован, нужно войти под своей учетной записью. В открывшейся форме создания/редактирования проектов (рис. 4.5) из выпадающего списка можно выбрать проект для редактирования или создать новый проект;
3. После выбора проекта появится форма главной формы ввода данных.



Добавить пользователя

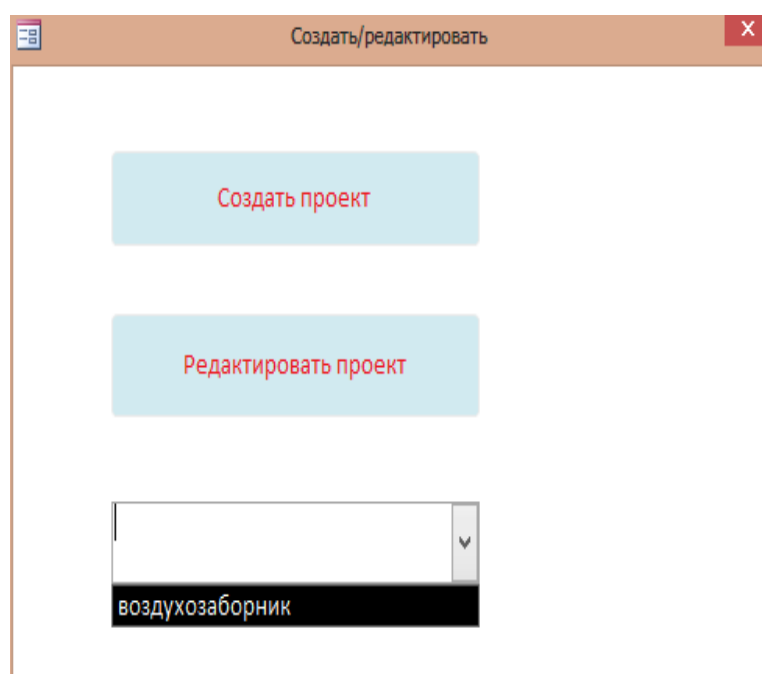
ФИО

Пароль

Проверка пароля

Добавить Отмена

Рис. 4.4 Форма «Добавление нового пользователя»



Создать/редактировать

Создать проект

Редактировать проект

воздухозаборник

Рис. 4.5 Форма «Создание/редактирование проектов»

Главная форма ввода данных состоит из трех частей. Она представлена на рис. 4.6. В первой вкладке (часть 1) главной формы ввода данных содержатся следующие пункты: общее описание ТС, принцип действия, функционально-логическая структура ТС, показатели эффективности ТС, параметры рабочего цикла ТС.

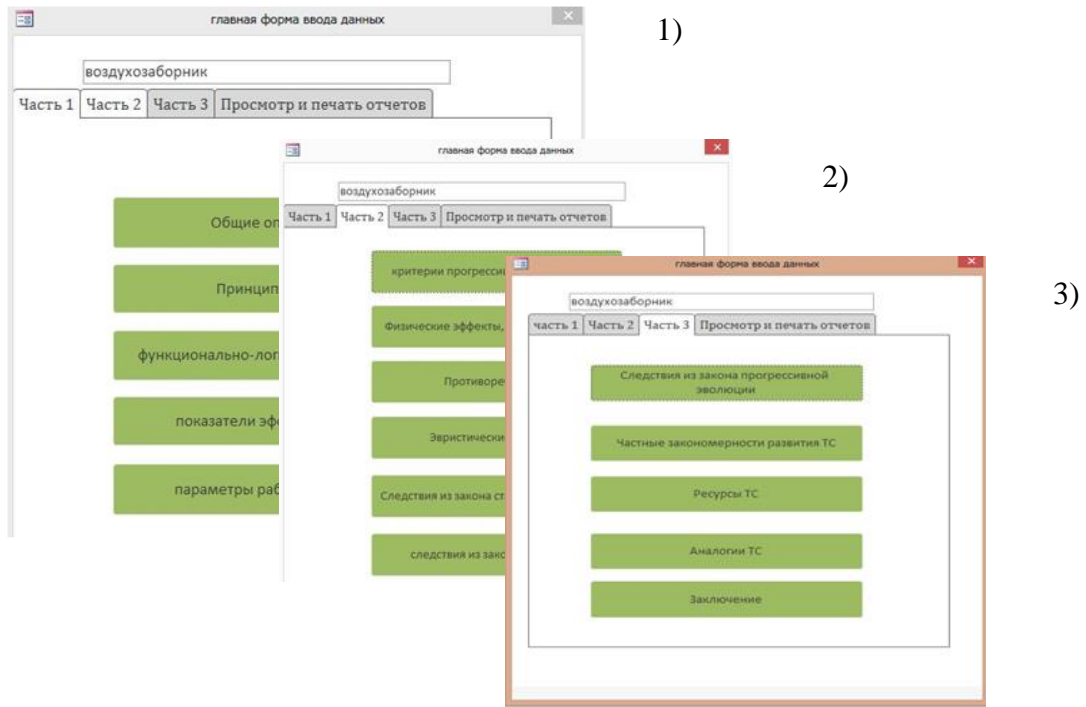


Рис. 4.6 Главная форма ввода данных

Работа начинается с первого пункта – «Общее описание ТС» (рис. 4.7).

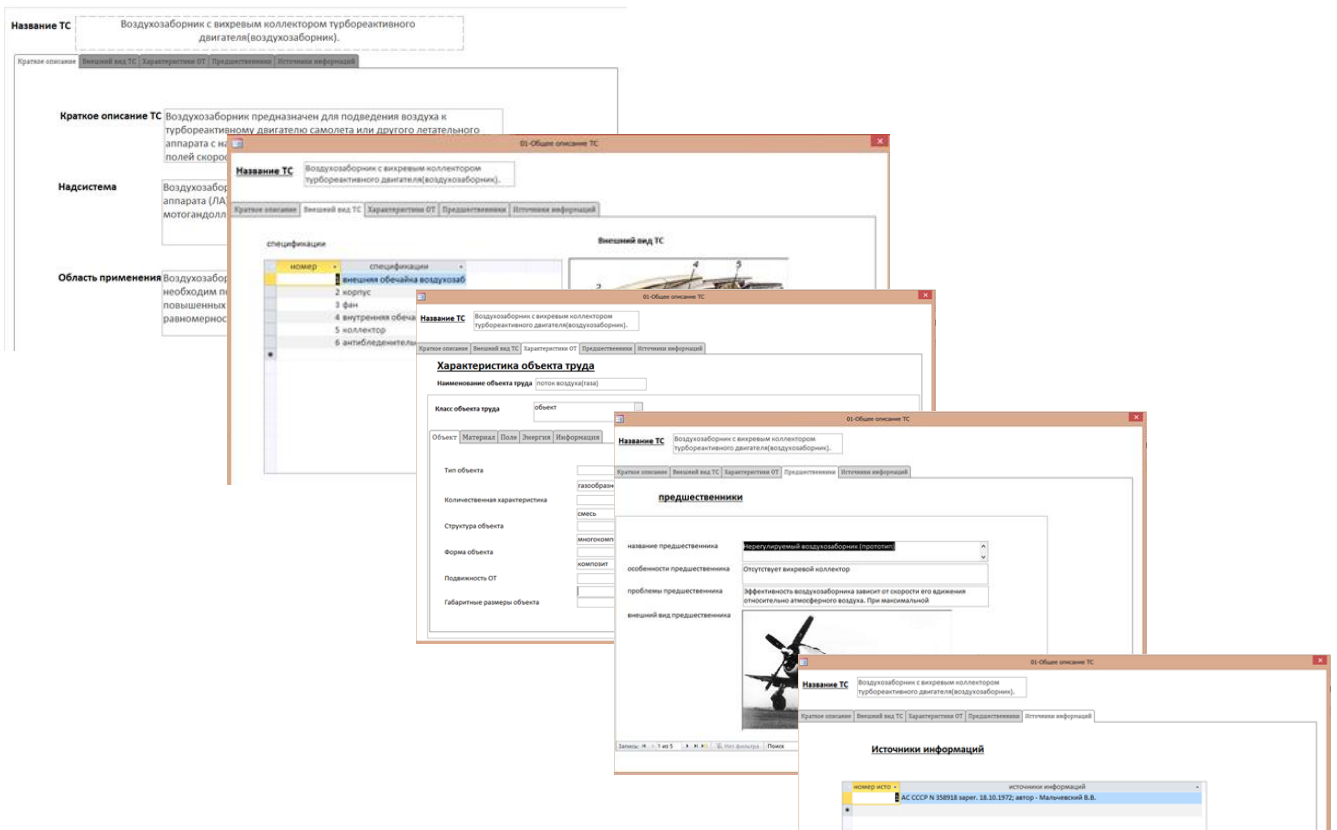


Рис. 4.7 Общее описание ТС

В первом пункте в свою очередь включают следующие вкладки: краткое описание ТС, внешний вид ТС, характеристики объекта труда, предшественники

ТС, источники информации. Также в форме «Общее описание ТС» есть поле для ввода названия ТС. Название ТС должно быть коротким и в то же время однозначно определять описываемую ТС (1 предложение из не более чем 8–10 слов). После полного названия эксперт в скобках приводит краткое название ТС (желательно из одного слова). В кратком описании ТС указываются следующие: назначение ТС; надсистема (ТС более высокого ранга), в которую входит описываемая ТС; область применения описываемой ТС.

На вкладке «Внешний вид» приводится рисунок ТС с обозначенными позициями основных элементов ТС. Рисунок приводится в следующем порядке:

- нажать правую кнопку мыши на подразделе «Внешний вид ТС»;
- создать новый рисунок с помощью программных приложений из списка или выбрать готовый рисунок из компьютера.

Характеристики объекта труда заполняются на вкладке «характеристики объектов труда». Любая ТС предназначена для изменения объекта труда (или нескольких объектов) от некоторого начального состояния к некоторому конечному состоянию. Объектами труда (ОТ) являются: материя, объекты (ограниченные пространством), поток материала, поток объектов, энергия, поле и информация [108]. При заполнении подраздела эксперт указывает характеристики объекта труда в начальном состоянии (то есть на входе в ТС). При этом указываются: наименование объекта труда (ОТ); класс ОТ (материал, объект, поток материала, поток объектов, энергия, поле, информация). Для каждого класса ОТ указываются специфичные параметры.

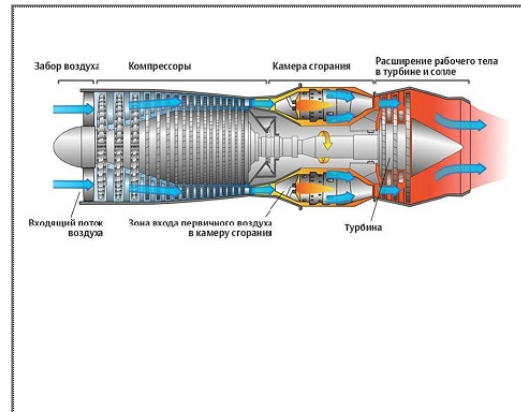
На вкладке «Предшественники ТС» необходимо перечислить «родителей» описываемого ТС с указанием их отличительных особенностей и нерешенных проблем. Ориентировочное число предшественников: 2–3. Источники информации необходимо представлять по правилам выполнения библиографических описаний.

Форма «принцип действия» представлена на рис. 4.8. Принцип действия должен подробно описывать работу технической системы. Рекомендуется при описании принципа действия ТС ссылаться на элементы «Спецификации», указывая порядковый номер элемента в тексте. Еще надо указывать метод получения объекта труда с конечными свойствами.

Описание принципа действия

Поток воздуха, обтекая на различных режимах полета элементы воздухозаборника 1,2 и 3, подается на вход в турбореактивный двигатель 4 с наименьшими потерями и искажениями. Противообледительная система, состоящая из элементов 5-8, служит для подогрева носовой части воздухозаборника и предотвращения образования на ней льда. Элементы 9-11 служат для образования так называемого "вихревого коллектора", улучшающего параметры потока воздуха на режимах взлета и посадки.

Схема принципа действия



01#спецификации

№	спецификации
1	внешняя обечайка воздухозаборника
2	внутренняя обечайка воздухозаборника
3	коллектор
4	турбореактивный двигатель (ТРД)
5	трубопровод воздуха, отбираемого от ТРД
6	кольцевая распределительная труба
7	сопло внутренней противообледенительной

Метод получения объекта труда с конечными свойствами

Преобразование параметров потока газа (направления движения, скорости, давления и др.) в процессе его проведения через заборник.

Рис. 4.8 Описание принципа действия

В третьем пункте заполняются функционально-логическая структура, главная функция ТС и список функций (рис. 4.9).

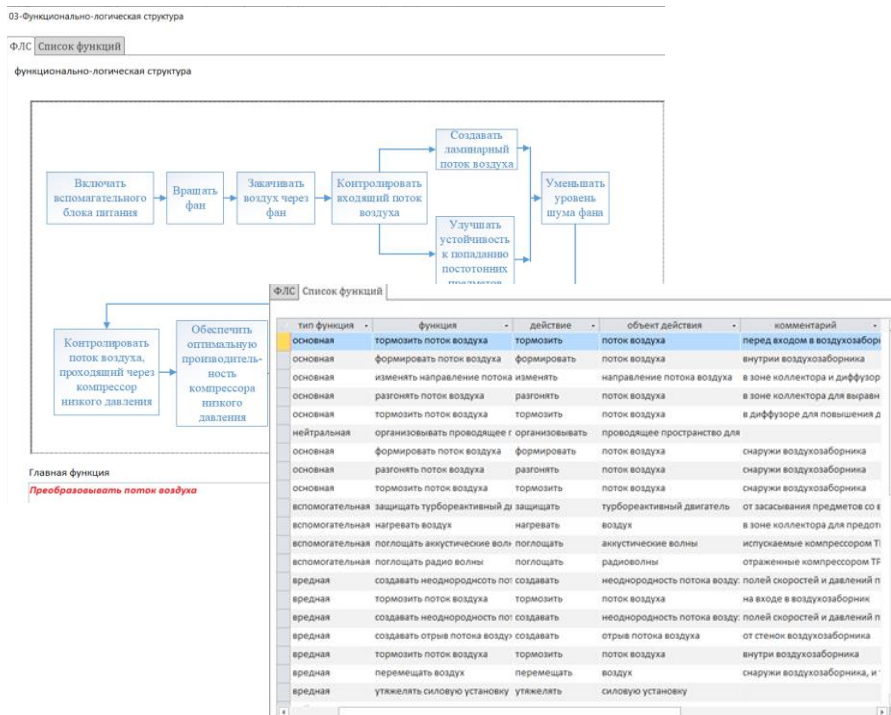


Рис. 4.9 Описание функционально-логической структуры ТС

На вкладке «список функций» заполняется список функций. При анализе функций объектов, выполняющих полезные функции, нужно учитывать наличие вредных и нейтральных функций. При формулировке функций ТС следует:

- 1) избегать описания конкретного материального воплощения объекта;
- 2) использовать глаголы, обозначающие прямое действие;

3) не использовать интонацию "не" в глаголе. Например, фраза "не пропускать проникновение меток (воздуха)" лучше заменить на "предотвратить проникновение меток (воздуха)";

4) выбирать объект (предмет труда) при описании функции, а не его свойства или параметры.

Функции ТС указываются следующим образом: вначале указывается глагол или глагольная форма в неопределенной форме, затем объект действия – существительное или словосочетание, а в скобках дается комментарий, описывающий особенности выполнения действия.

Основные функции отвечают за выполнение главной функции и непосредственно связаны с назначением изделия. Чтобы определить эти функции нужно учесть иерархию технологических действий. Основная функция отвечает за верхний уровень, а дополнительные функции – за нижние (2-й и 3-й) уровни. Таким образом, можно выделить два уровня основных функций. Первый уровень соответствует операциям, выполняемым ТС, второй – переходам этих операций.

Форма ввода показателей эффективности ТС представлена на рис. 4.10. При заполнении показателей эффективности ТС приводятся следующие показатели: функция, тип показателя, название показателя, тип значения, значения показателя, единица измерения. Можно разделить показатели эффективности для главной функции на несколько групп:

а) показатели производительности и интенсивности процесса преобразования объекта труда в техническое средство;

б) энергетические показатели процесса преобразования объекта труда в техническое средство:

в) показатели точности и надежности технического средства:

г) показатели качества объекта труда в конечном состоянии;

д) показатели устойчивости технических систем к внешним воздействиям, включая воздействия на них со стороны природной среды.

е) показатели, определяющие допустимый уровень вредных функций технических систем.

05-Показатели ТС

Показатели Эффективности ТС

Функция	Тип показателя	Название показателя	тип значения	Значение показат	единица измерения
	технологический	dfadfs			
	эргономический				
изменять направлени	технологический	расход воздуха через заборник	диапазон	50-1000	кг/с
преобразовывать пот	функциональный	скорость потока в воздухозаборнике	диапазон	0-0.8	числа Маха
преобразовывать пот	функциональный	скорость летательного аппарата	диапазон	0-0.95	числа Маха
преобразовывать пот	функциональный	эффективная тяга силовой установки	диапазон	0.9-0.95	доля тяги двигателя
преобразовывать пот	функциональный	ресурс (долговечность) воздухозаборника	диапазон	40-60	тысяч ч
преобразовывать пот	функциональный	коэффициент восстановления полного давления	диапазон	0.95-0.99	
преобразовывать пот	функциональный	коэффициент искажения потока	диапазон	0.03-0.12	
преобразовывать пот	функциональный	устойчивость к боковому ветру на старте	единичное	15	м/с
преобразовывать пот	функциональный	устойчивость к вертикальному порыву	единичное	20	м/с
преобразовывать пот	функциональный	вероятность засасывания посторонних предметов			
	технологический	трудоемкость изготовления ТС	единичное	повышенная	
	технологический	трудоемкость обслуживания ТС	единичное	повышенная	
	экономический	себестоимость изготовления ТС	единичное	повышенная	
	экономический	себестоимость обслуживания ТС	единичное	повышенная	
	эргономический	вероятность травм обслуживающего персонала			
	эргономический	величина снижения шума от двигателя			дБ
	функциональный	устойчивость к космической радиации			

Рис. 4.10 Описание показателей эффективности ТС

Кроме функциональных показателей выполняются технологические, экономические, эргономические и экологические показатели. Форма ввода параметров рабочего цикла разделяется на три вкладки: стадии и параметры ТС; значение параметров на стадиях; график параметров рабочего цикла. Они представлены на рис. 4.11.

Рис. 4.11 Описание параметров рабочего цикла ТС

На вкладке «Стадии и параметры ТС» нужно указать существующие стадии рабочего цикла ТС, такие как подготовительная, начальная, основная, завершающая и заключительная. Затем необходимо заполнить значения параметров на каждой стадии рабочего цикла ТС на вкладке «Значение

параметров на стадиях». После ввода всех необходимых данных и значений параметров на последней вкладке автоматически построится график на вкладке «График».

На второй части главной формы ввода данных содержатся следующие пункты: критерии прогрессивного развития ТС; физические эффекты, реализуемые в ТС; противоречия в ТС; эвристические приемы; следствия из закона стадийного развития; следствия из закона соответствия между функцией и структурой (СМФиС) ТС. Шестой пункт главной формы ввода данных – «Критерии прогрессивного развития ТС» представлен на рис. 4.12.

номер	КПР 1	тип измене	тип взаимосвязи	КПР 2
1	расход воздуха через заборник	увеличить	сильная обратная ва	скорость потока в возд
2	эффективная тяга силовой установки	увеличить	прямая взаимосвязь	расход воздуха через з
	эффективная тяга силовой установки	увеличить	обратная взаимосвязь	скорость потока в возд
3	коэффициент восстановления полного давления	увеличить	обратная взаимосвязь	расход воздуха через з
	коэффициент восстановления полного давления	увеличить	прямая взаимосвязь	скорость потока в возд
	коэффициент восстановления полного давления	увеличить	сильная прямая взаи	эффективная тяга сило
4	коэффициент искажения потока	уменьшить	обратная взаимосвязь	расход воздуха через з
	коэффициент искажения потока	уменьшить	прямая взаимосвязь	скорость потока в возд
	коэффициент искажения потока	уменьшить	сильная прямая взаи	эффективная тяга сило
	коэффициент искажения потока	уменьшить	сильная прямая взаи	коэффициент восстано
5	устойчивость к боковому ветру на старте	увеличить	обратная взаимосвязь	расход воздуха через з
	устойчивость к боковому ветру на старте	увеличить	прямая взаимосвязь	скорость потока в возд
	устойчивость к боковому ветру на старте	увеличить	сильная прямая взаи	эффективная тяга сило
	устойчивость к боковому ветру на старте	увеличить	сильная прямая взаи	коэффициент восстано
	устойчивость к боковому ветру на старте	увеличить	сильная прямая взаи	коэффициент искажени
6	устойчивость к вертикальному порыву	увеличить	обратная взаимосвязь	расход воздуха через з
	устойчивость к вертикальному порыву	увеличить	прямая взаимосвязь	скорость потока в возд
	устойчивость к вертикальному порыву	увеличить	сильная прямая взаи	эффективная тяга сило
	устойчивость к вертикальному порыву	увеличить	сильная прямая взаи	коэффициент восстано
	устойчивость к вертикальному порыву	увеличить	сильная прямая взаи	коэффициент искажени
	устойчивость к вертикальному порыву	увеличить	сильная прямая взаи	устойчивость к боково

Рис. 4.12 Описание критерий прогрессивного развития ТС

При заполнении критериев прогрессивного развития (КПР) технических систем выбираются два параметра с типом их изменения, и указывается тип связи между двумя параметрами. Все поля являются полями выбора из выпадающего меню. Список параметров соответствует таблице «Показатели эффективности ТС». Между КПР могут возникнуть следующие виды взаимосвязи: сильная прямая взаимосвязь; прямая взаимосвязь; нет взаимосвязи; обратная взаимосвязь; сильная обратная взаимосвязь.

Седьмой пункт главной формы ввода данных — «Физические эффекты, реализуемые в ТС» приведен на рис. 4.13. Физические эффекты (ФЭ), реализуемые в ТС, задаются для каждой функции отдельно на вкладке «Увязки ФЭ». Ролями физического эффекта могут быть следующее:

- важнейший ФЭ для реализации данной функции;
- ФЭ используется для реализации данной функции.

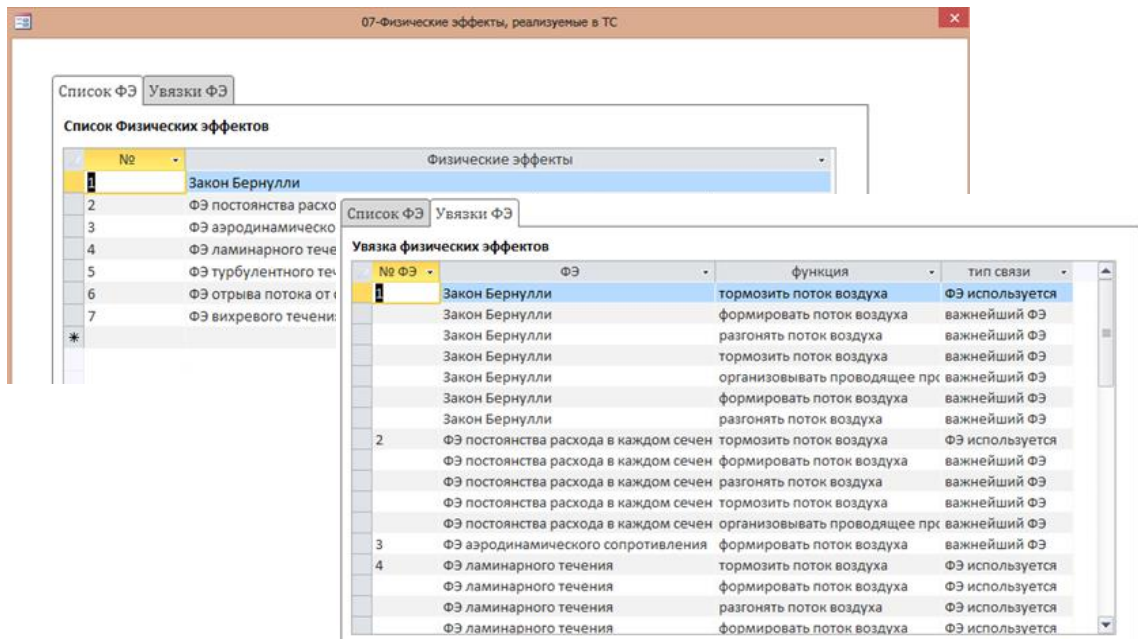


Рис. 4.13 Описание списка ФЭ, реализуемых в ТС

Восьмой пункт главной формы ввода данных – «Противоречия в ТС» представлен на рис. 4.14. Существуют два типа противоречий: технические противоречия и физические противоречия. Технические противоречия возникают, когда изменение одной характеристики ТС приводит к ухудшению другой характеристики. Физические противоречия возникают, когда к ТС или ее части предъявляются противоположные (несовместимые) требования. Технические и физические противоречия вводятся с детализацией по функциям.

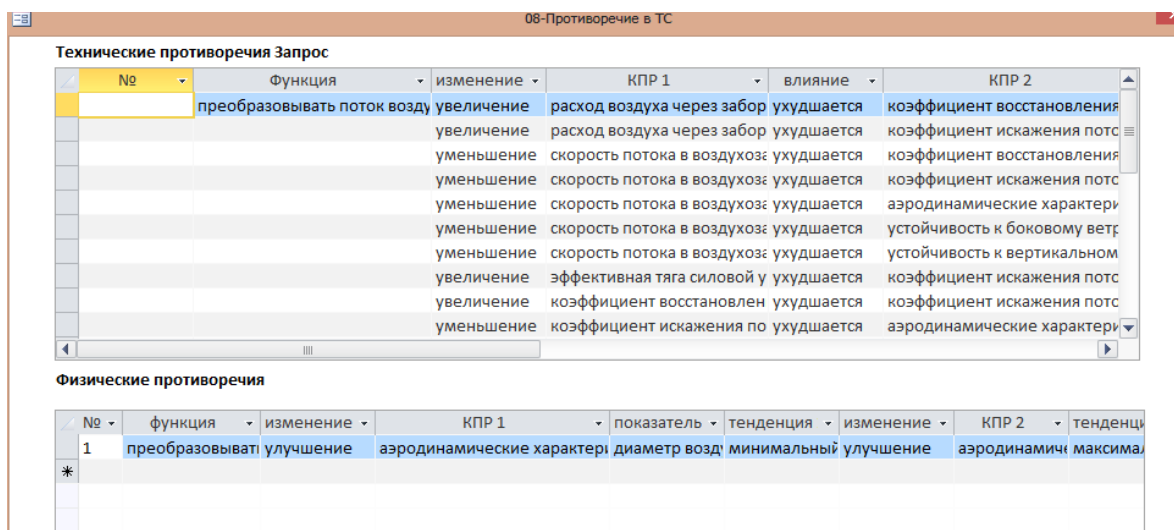


Рис. 4.14 Описание противоречий в ТС

Все поля являются выпадающими списками, что значительно облегчает заполнение формы. Нужно выбрать функцию, реализация которой приводит к противоречию, два критерия и направления их развития. Качество результата данного раздела полностью зависит от качества выполнения прошлых пунктов.

Девятый пункт главной формы ввода данных – «Эвристические приемы». При вводе эвристических приемов необходимо выбрать предшественника ТС и его основной недостаток. Далее нужно выбрать эвристический прием, позволяющий добиться улучшения, класс эвристического приема и указать итоговый результат. Форма ввода эвристических приемов представлена на рис. 4.15.

№	Условный элемент в констру.	номер эвристического приема	эвристический прием
1	коллектор и диффузор		параметрическая оптимизация
2	коллектор воздухооборника		Введение полостей, изменение структуры ТС
3	На входе коллектора воздуха:		Использование вместо жестких конструкций гибких оболочек
4	На входе коллектора воздуха:		Использование вихревых явлений для управления обтеканием

№	предшественники	эвристический прием	результат
1	Нерегулируемый воздухооборник	Введение полостей, изменение	Воздухооборник с кольцевой щелью (фиксированная геометрия)
2	Нерегулируемый воздухооборник	Использование вместо жестких	наддувной воздухооборник переменной геометрии
3	Нерегулируемый воздухооборник	Использование вихревых явлений	воздухооборник с изменяемой внутренней и внешней геометрией
4	Воздухооборник со створками	параметрическая оптимизация	воздухооборник с выдвижным коллектором перегородки
5	Воздухооборник со створками	Использование вместо жестких	Воздухооборник со створками подпитки, закрывающейся при вращении
6	Воздухооборник со створками	Использование вихревых явлений	Воздухооборник с кольцевой щелью подпитки, закрывающейся при вращении
7	Воздухооборник с наддувным	параметрическая оптимизация	Воздухооборник с изменяемыми параметрами (коэффициентом расширения)
8	Воздухооборник с наддувным	Введение полостей, изменение	Воздухооборник с наддувным щелевым коллектором
9	Воздухооборник с наддувным	Использование вихревых явлений	Воздухооборник с комбинированным способом извлечения воздуха
10	Воздухооборник с вихревым	параметрическая оптимизация	Воздухооборник с изменяемыми параметрами вихревого течения
11	Воздухооборник с вихревым	Использование вместо жестких	Воздухооборник переменной геометрии с вихревыми течениями

Рис. 4.15 Описание эвристических приемов

Десятый пункт главной формы ввода данных – «Следствия из закона стадийного развития» (рис. 4.16).

10-Следствия из закона стадийного развития

стадия развития: 3-я стадия

Технологическая функция: техническая система

энергетическая функция: техническая система

функция управления: техническая система

функция планирования: человек

стадия, на которую следует переходить при совершенствовании ТС: 4-я стадия

вывод: Передать машине функции планирования.

Рис. 4.16 Описание следствий из закона стадийного развития

При выполнении пункта «Следствия из закона стадийного развития» описывается текущая стадия развития ТС и указываются функции, выполняемые

человеком и машиной. Также делается вывод о целесообразности перехода на следующую стадию при совершенствовании технического устройства. Есть четыре функции в обработке предмета труда: энергетическая – энергия даёт силу для обработки этого предмета, управленческая – следит за обработкой, технологическая – изменяет этот предмет, а плановая – определяет количество и качество будущих изделий.

Одиннадцатый пункт главной формы ввода данных «Следствия из закона соответствия между функцией и структурой (СМФиС) ТС» представлен на рис. 4.17.

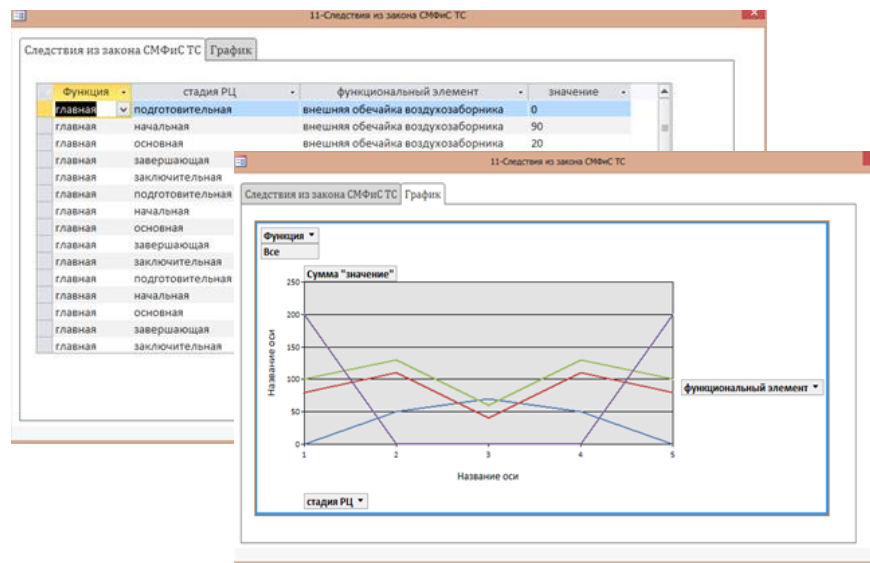


Рис. 4.17 Описание следствий из закона СМФиС ТС

Цель закона – обеспечение соответствия структуры и функций технических систем. Это соответствие достигается, когда структура и каждая из функций в точности выполняют требования по эффективности. Утрата соответствия возможна, если в структуре системы отсутствует элемент или если изменены требования к функциям и критериям эффективности, а также внешние факторы, влияющие на них. После выбора всех необходимых параметров на второй вкладке график загрузки строится автоматически.

На третьей части главной формы ввода данных содержатся следующие пункты: следствия из закона прогрессивной эволюции (ПЭ); частные закономерности развития ТС; ресурсы ТС; аналогии ТС; заключение. Двенадцатый пункт главной формы ввода данных – «Следствия из закона прогрессивной эволюции». Он представлен на рис. 4.18. Для ввода данных по нескольким типам уровней нужно использовать стрелки в нижней части формы.

Закон устанавливает, что переход на новые технологии и поколения техники необходим для устранения недостатков и несоответствий в ТС, а также связан с необходимостью повышения соответствующих критериев эффективности. При выполнении данного пункта заполняются:

- тип уровня (параметрический, конструкторский, функциональный, принципов действия, пересмотра потребительских свойств, пересмотра функций ТС);
- возможность совершенствования (исчерпана или не исчерпана);
- направление совершенствования.

Тип уровня	Возможность совершенствования	Направление совершенствования
Параметрический уровень	Практически исчерпана	-
Уровень конструкторско-технологических решений	Не исчерпана	Рекомендуется дальнейшее совершенствование конструкции и функциональной структуры воздухозаборника в направлении к идеальному конечному результату (ИКР) - например, увеличение числа отдельных технологических частей.
Уровень принципов действия	Не исчерпана	Рекомендуется переход к новым принципам действия воздухозаборника и его узлов. Например, использовать новые эффекты для предотвращения отрыва потока от стенки в воздухозаборнике. Возможна ТР, минимизация вихря в зоне.
Уровень функциональной структуры	Не исчерпана	Рекомендуется переход к новой функциональной структуре воздухозаборника, например, обеспечивающей изменения его геометрии на различных режимах полета.
Уровень пересмотра	Не исчерпана	

Рис. 4.18 Описание следствий из закона прогрессивной эволюции

Тринадцатый пункт «Частные закономерности развития ТС» представлен на рис. 4.19.

13-Частные закономерности развития ТС	
КПР	Снижение аэродинамического сопротивления воздухозаборника
Параметрический уровень	
Уровень конструкторско-технологических решений	Изменение геометрии воздухозаборника в полете
Уровень принципов действия	
Уровень функциональной структуры	Управление обтеканием за счет электорного отсоса пограничного слоя
Уровень изменения функций ТС	
Уровень пересмотра потребительских свойств	

Рис. 4.19 Описание частных закономерностей развития ТС

В этом пункте определяются критерии прогрессивного развития ТС (КПР), потом исследуют, как их можно совершенствовать, а именно: качественные (количественные) параметры, технологию постройки, принцип действия, структуру и функции, потребительские функции ТС. На форме есть поля для

выбора критерия прогрессивного развития, направления изменения (улучшение/ухудшение) и поля для ввода аналитики по каждому уровню совершенствования технической системы.

При выполнении «ресурсы ТС» ресурсы могут быть материальными, энергетическими, информационными, пространственными, временными, функциональными или системными (рис. 4.20).

тип ресурса	класс ресурса	наименование ресурса	вариант использования
готовые ресурсы	вещественные	Внутренняя и внешняя обечайки воздухозаборника Трубопроводы, клапаны, распределительные камеры, Кольцевое сопло	Вихревой коллектор, Система антиобледенения, Система струйной защиты ТРД, Система управления обтеканием заборника (внутренним и внешним), Система подавления шума ТР, типа "свисток в противофазе"
готовые ресурсы	вещественные	Пары воды в засасываемом воздухе	Визуализация потока воздуха при испытаниях и доводке воздухозаборника
готовые ресурсы	энергетические	Энергия потока воздуха, засасываемого двигателем. Сжатый воздух, отбиаемый от компрессора ТРД	Вихревой коллектор, Система антиобледенения, Система струйной защиты ТРД. Система управления

Рис. 4.20 Описание ресурсов ТС

Часто существующие ресурсы становятся доступными только после определенной подготовки, например накопления и замены вида. Они называются производными. При заполнении ресурсов ТС описываются следующие характеристики: тип ресурса (готовый/производный); класс ресурса (вещественный, временной и т.д.); наименование ресурса и вариант его использования.

Пятнадцатый пункт «Аналогии ТС» главной формы ввода данных представлен на рис. 4.21.

Класс аналогии	Аналогия	Функция	Физический эффект
живая природа	Энергетический выгодный полет клином		
живая природа	кольца дыма, которые пускают курильщи		
неживая природа	вихревые атмосферные явления как спол		
анalogии в ТС	законцовки крыла Уиткомба (кольцевые		
анalogии в ТС	вихревой анализ крыла с фюзеляжем		
анalogии в ТС	тубулизаторы (генераторы вихрей), пред		
*			

Рис. 4.21 Описание аналогий ТС

При заполнении аналогии технической системы описывается следующее: тип аналогии (живая природа / неживая природа / ТС); наименование аналогии; реализуемая функция описываемой технической системы; физический эффект.

Шестнадцатый пункт «Заключение» главной формы ввода данных представлен на рис. 4.22.

Рис. 4.22 Описание заключения

После завершения анализа можно просмотреть или распечатать отчеты о проделанной работе на вкладке «Просмотр и печать отчетов» главной формы ввода данных (рис. 4.23).

Рис. 4.23 Форма «Просмотр и печать отчетов»

Таким образом, разработанный методический и программный инструментарий позволяет описывать существующие технические решения по промышленным изделиям на разных уровнях абстракции (для внешнего и внутреннего проектирования), анализировать и сравнивать с изделиями-предшественниками, выделять пути и направления совершенствования этих изделий.

4.3 Выводы по главе

1. Для анализа и моделирования технических систем были разработаны методический и программный инструментарий, позволяющий описывать существующие технические решения по промышленным изделиям на разных уровнях абстракции (для внешнего и внутреннего проектирования), анализировать и сравнивать с изделиями-предшественниками, выделять пути и направления совершенствования этих изделий.
2. Разработанный программный комплекс был протестирован для широкого класса технических систем бытовой и др. техники.
3. Практика использования программного обеспечения показала достаточную эффективность его работы путем снижения времени на подготовку описания и устранения ошибок.
4. Программное средство позволяет провести полный анализ технической системы (ТС) в соответствии с законами развития техники и технологии и определить направления для улучшения ТС.
5. Программа была разработана на СУБД Access 2007, поэтому в последних версиях СУБД Access графики не отображаются в виде графики, а вместо этого представлены в виде таблицы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования и практическая работа позволили получить следующие выводы и результаты:

1. Диссертация представляет научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи, которое заключается в повышении эффективности процессов жизненного цикла технических систем путем разработки метода анализа и моделирования этих процессов с позиции системного подхода для научного обоснования учета их взаимосвязей, имеющее существенное значение для развития системного анализа и информационных технологий.
2. Выполнены исследования проблематики становления и развития промышленности в Республике Союз Мьянма, которые позволили констатировать необходимость научно-обоснованного сопровождения процесса индустриализации республики.
3. Исследования существующих методов и инструментальных средств поддержки анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем позволили установить, что одним из серьезных недостатков имеющихся методов и подходов к моделированию процессов жизненного цикла ТС является отсутствие формализованного аппарата. Установлен ряд преимуществ методологии автоматизации интеллектуального труда по сравнению с структурными методами: наличие формализованных моделей, интеграция моделей под конкретные задачи и др., что обеспечивает ее практическую реализацию и развитие в виде методического и программного инструментария.
4. Анализ существующих методов проектной деятельности, как максимально увязывающей все процессы жизненного цикла ТС, позволил сделать вывод о том, что методология проектирования с помощью каталогов является наиболее предпочтительной для анализа и обобщающей методологией проектной деятельности по немецкой практике.
5. Разработан метод анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем как обобщение российской и немецкой практик на основе системного подхода, обеспечивающий не только формальное

описание производственных процессов ЖЦ ТС по указанным практикам, но и выявление взаимосвязей между процессами жизненного цикла через соотношение компонентов этих процессов.

6. Уточнённое описание взаимосвязей между процессами жизненного цикла выполнено в виде концептуальных представлений проектной деятельности по немецкой и российской практике с помощью методологии автоматизации интеллектуального труда, что позволит стать основой для их автоматизации.
7. Разработано методическое обеспечение и программные средства поддержки анализа и моделирования технических систем.
8. Методическое обеспечение и программное средство были использованы в учебном процессе для подготовки специалистов по направлению «Информатика и вычислительная техника» в рамках выполнения лабораторных работ по дисциплине «Концептуальное проектирование техники и технологии» у студентов 4-го курса.
9. Результаты использованы в рамках выполнения по гранту РФФИ проекта № 17-29-07056 «Разработка моделей и методов представления и обработки проблемно-ориентированных знаний, извлекаемых из научно-технических текстов и конструкторско-технологической документации».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хла, Ш. Путь развития (часть 3) / Ш. Хла // Сборник сведений о министерствах, 4-ая версия редактирования. – Янгон: Литература «Шве Семья», 2013. – 253 с.
2. Министерство промышленности Республики Мьянмы [Электронный ресурс]. URL: <https://industry.gov.mm/> (дата обращения: 2.3.2022)
3. Судов, Е. В. Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы. Технологии. Методы. Модели. / Е. В. Судов // М.: ООО Издательский дом «МВМ», 2003. – 264 с.
4. Шустов, С. А. CALS/PLM-технологии / С. А. Шустов, Крупенич И. Н. // текст лекций – Самара: СГАУ имени академика С. П. Королёва, 2013. – 63 с.
5. Колчин, А. Ф. Управление жизненным циклом продукции / А. Ф. Колчин, М. В. Овсянников, А. Ф. Стрекалов, С. В. Сумароков // М.: Анахарсис, 2002. – 304 с.
6. Соломенцев, Ю. М. Информационно-вычислительные системы в машиностроении CALS-технологии / Соломенцев Ю. М., Митрофанов В. Г., Павлов В. В., Рыбаков А. В. // М.: Наука, 2003. – 292 с.
7. CALS технологии. Методология функционального моделирования. / Разработаны научно-исследовательским Центром CALS-технологий «Прикладная Логистика» при участии (ВНИИСтандарт) // Госстандарт России. М., 20003. – 54 с.
8. Яблочников, Е. И. Методы и системы ИПИ-технологий: Учебное пособие / Е. И. Яблочников, А. А. Грибовский, М. Я. Афанасьев, Д. Д. Куликов // СПб.: Университет ИТМО, 2017. – 64 с.
9. Яблочников, Е. И. Применение ИПИ-технологий в проектировании и производстве / Е. И. Яблочников, А. А. Грибовский, М. Я. Афанасьев, Б. С. Падун // Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 56 с.
10. Трегубов, С. И. Основы ИПИ-технологий: учеб.-метод пособие для курсового проектирования [Электронный ресурс] / С. И. Трегубов, А. В. Сарафанов. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. – 27 с.
11. Аль-дарабсе, А. М. Разработка и применение технологических моделей в цифровом производстве / А. М. Аль-дарабсе, Е. В. Маркова, И. Э. Дабабне,

- А. Р. Ахмед // Российский электронный научный журнал. – Уфа: ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 2020. – № 4 (38). – С. 36-51.
12. Левенцов, В. А. Разработка интегрированного стандарта обеспечения цифровыми двойниками наукоемкого производства / В. А. Левенцов, Д. Ю. Костецкий, К. Г. Аркина // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета, – 2021. – № 1 (127). – С. 105-115.
 13. Куприянова, М. В. Влияние цифровых инноваций на развитие промышленного производства / М. В. Куприянова, И. П. Соловьева, И. П. Симикина // Проблемы развития предприятий: теория и практика, 2020. – № 1–2. – С. 224–229.
 14. Сазонов, А. А. Анализ системы разработки цифровых двойников на основе компонентов цифровой платформы CML-Bench / А. А. Сазонов // Сборник материалов Всероссийской юбилейной научно-практической конференции ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», – 2019. – С. 132–139.
 15. Романовская, В. Е. «Цифровой двойник» как основа цифрового проектирования и моделирования / В. Е. Романовская // В сборнике: Цифровые технологии в экономике и промышленности (ЭКОПРОМ-2019), сборник трудов национальной научно-практической конференции с международным участием. Под редакцией А. В. Бабкина. – СПб.: – 2019. – С. 208-214.
 16. Пономарев, К. С. Стратегия цифрового двойника производства как метод цифровой трансформации предприятия / К. С. Пономарев, А. Н. Феофанов, Т. Г. Гришина // Вестник современных технологий. – 2019. № 4 (16). – С. 23–30.
 17. Mikel, A. Twin-Control: A Digital Twin Approach to Improve Machine Tools Lifecycle / Mikel Armendia, Mani Ghassempouri, Erdem Ozturk, Flavien Peysson // М.: «Springer», 2019. – 298 с.
 18. Fei, T. Digital Twin Driven Smart Manufacturing / Fei Tao, Meng Zhang, A. Y. C. Nee // Academic press «Elsevier», 2019. – 268 с.
 19. Качала, В. В. Основы теории систем и системного анализа / В. В. Качала // Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., испр. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 210 с.

20. Тарасенко, Ф. П. Прикладной системный анализ : учебное пособие / Ф. П. Тарасенко. – М.: КНОРУС, 2010. – 224 с.
21. Волкова, В. Н. Теория систем и системный анализ / В. Н. Волкова, А. А. Денисов // учебник для академического бакалавриата, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2014. – 616 с.
22. Силич, В. А. Теория систем и системный анализ: учебное пособие / В. А. Силич, М. П. Силич // Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 276 с.
23. Вдовин, В. М. Теория систем и системный анализ / В. М. Вдовин, Л. Е. Суркова, В. А. Валентинов // Учебник. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2010. – 640 с.
24. Абраменко, Г. В. Применение системного анализа при исследовании сложных технических систем / Г. В. Абраменко, Д. В. Васильков, А. И. Григорьев // М.: ФГУП «УНИИХМ», 2010. – 256 с.
25. Новосельцев, В. И. Теоретические основы системного анализа / В. И. Новосельцев [и др.]: под ред. В. И. Новосельцева // - М.: Майор, 2006. – 592 с.
26. Алексеев, В. П. Системный анализ и методы научно-технического творчества / В. П. Алексеев, Д. В. Озеркин // Томск, ТУСУР, 2012. – 325 с.
27. Волкова, Г. Д. Методология автоматизации проектно-конструкторской деятельности в машиностроении / Г. Д. Волкова // Учебное пособие. – М.: Издательский центр МГТУ «Станкин», 2000. – 81 с.
28. Росс, Д. Структурный анализ (SA): язык для передачи понимания / Д. Росс // Сборник статей «Требования и спецификации в разработке программ». – М.: Мир, 1984. – С. 240–284.
29. Шеер, А.-В. Моделирование бизнес-процессов / А.-В. Шеер, научная редакция М. С. Каменнова, А. И. Громов // 2-е издание, пер. с англ. – М.: Издательство «Серебряные нити», 2000. – 222 с.
30. Каменнова, М. С. Моделирование бизнес-процессов. В 2ч. Часть 1 / М. С. Каменнова, В. В. Крохин, И. В. Машков. – М.: Юрайт, 2019. – 282 с.
31. Варзунов, А. В. Анализ и управление бизнес-процессами / А. В. Варзунов, Е. К. Торосян, Л. П. Сажнева // Учебное пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 112 с.

32. Морозова, В. И. Моделирование бизнес-процессов с использованием методологии ARIS / В. И. Морозова, К. Д. Врублевский // учебно-методическое пособие. – М.: РУТ (МИИТ), 2017. – 47 с.
33. Моделирование бизнес-процессов [Электронный ресурс]. URL: <https://skillbox.ru/media/management/story-pavel-nesterov/> (дата обращения: 2.3.2023)
34. Большой гайд по управлению бизнес-процессами [Электронный ресурс]. URL: Бизнес-процессы: что это такое, управление, описание, моделирование, анализ, автоматизация / Skillbox Media (дата обращения: 2.3.2023)
35. Вендров, А. М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем / А. М. Вендров. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 176 с.
36. Шеер, А.-В. Бизнес-процессы. Основные понятия. Теория. Методы. / Шеер Август-Вильгельм // 2-е издание, пер. с англ. – М.: Издательство АОЗТ «Просветитель», 1999 г. – 173 с.
37. Коновалов, С. И. Моделирование производственных процессов автомобильного транспорта / С. И. Коновалов, С. А. Максимов, В. В. Савин // Учебное пособие. – Владимир: Владимирский государственный университет, 2005. – 244 с.
38. Сироткин, М. Е. Методы моделирования производственных процессов предприятия машиностроения / М. Е. Сироткин // Электронное научно-техническое издание «Наука и образование». – М.: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н. Э. Баумана», № 8, 2011. – 14 с.
39. Модель бизнес-процесса УУПП 'Автоконтакт' ВОС [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=583729#2> (дата обращения: 14.12.2023)
40. Гриценко, Ю. Б. Архитектура предприятия / Ю. Б. Гриценко // Учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2014. – 260 с.
41. Мезенцев, К. Н. Моделирование систем. Часть 1. Основы системотехники и исследования систем: курс лекций / К. Н. Мезенцев; под ред. д-ра техн. наук, проф. А. Б. Николаева. – М.: МАДИ, 2017. – 84 с.

42. Мезенцев, К. Н. Моделирование систем в среде Anylogic 6.4.1. Часть 2 // К. Н. Мезенцев; под ред. д-ра техн. наук, проф. А. Б. Николаева // Учебное пособие. – М.: МАДИ, 2011. – 103 с.
43. Головина, Е. Ю. Модели и методы проектирования информационных систем / Е. Ю. Головина // Учебное пособие. – М.: МГТУ «Станкин», 2001. – 105 с.
44. Калянов, Г. Н. Стандартизация архитектуры предприятия // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. М.: – 2007. – №1. – С. 58-62.
45. Методология ARIS. Моделирование бизнес-процесса [Электронный ресурс]. URL:<https://fb.ru/article/471175/metodologiya-aris-modelirovanie-biznes-protsessa> (дата обращения: 28.02.2024)
46. ARIS [Электронный ресурс]. URL: ARIS — Википедия (wikipedia.org) (дата обращения: 05.01.2024)
47. Описания документооборота в нотации DFD [Электронный ресурс]. – URL: Пример описания документооборота в нотации DFD: 2 тыс изображений найдено в Яндекс Картинках (yandex.ru): 615 изображений найдено в Яндекс Картинках (дата обращения: 5.3.2024)
48. Волкова, Г. Д. Теория и практика автоматизации интеллектуального труда / Г. Д. Волкова // М.: Янус-К, 2020. – 104 с. ISBN 978-5-8037-0805-6
49. Ефромеев, Н. М. Основы структурного моделирования предметных задач на ранних этапах автоматизации / Н. М. Ефромеев, Г. Д. Волкова // Вестник МГТУ «Станкин»: Научный рецензируемый журнал. – М.: ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», 2018. – №3 (46). – С. 95–100.
50. Нотации бизнес-процессов IDEF, EPC, BPMN [Электронный ресурс]. URL: Что такое нотации бизнес-процессов. Их типы IDEF0, EPC, BPMN. (comindware.ru) (дата обращения: 12.09.2023)
51. "EPC-модель" в ARIS [Электронный ресурс]. – URL: https://yandex.ru/images/search?family=yes&img_url=https%3A%2F%2Ftextarchive.ru%2Fimages%2F782%2F1562242%2F4d3ba50b.png&lr=213&noreask=1&pos=0&rpt=simage&source=qa&text=Событийная%20цепочка%20процессов (дата обращения: 2.3.2024)
52. Описания процесса в нотации IDEF3 [Электронный ресурс]. – URL: yandex.ru: 795 изображений найдено в Яндекс Картинках (дата обращения: 5.3.2024)

53. Волкова, Г. Д. Концептуальное моделирование проектных задач / Г. Д. Волкова // Учеб. пособие. – М.: ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2016. – 117 с.: ил. ISBN 978-5-7028-0597-9
54. Волкова Г. Д. Концептуальное моделирование процессов жизненного цикла автоматизированных систем / Т. Б. Тюрбеева, Г. Д. Волкова // М.: Издательский центр «Технология машиностроения». – 2018. – № 1(187). – С. 49–55.
55. Попов, В. В. Мыслительное карате / В. В. Попов // Методология научно-технического творчества и концептуального проектирования. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2018. – 480 с.
56. Попов, В. В. Развитие технических систем на основе потребностей человека / В. В. Попов // М.: РГУ нефти и газа имени И.М.Губкина, 2008. – 60 с.
57. Половинкин, А. И. Техническое творчество: теория, методология, практика. Энциклопедический словарь-справочник / Под ред. А. И. Половинкина, В. В. Попова // М.: НПО «Информ-система», 1995. – 408 с.
58. Соловьев, А. Н. Методология концептуального проектирования сложных вычислительных систем / А. Н. Соловьев, А. Л. Стемпковский // Научное издание: Автоматизация проектирования. – М.: ИППМ РАН, 1996. - № 1. – С. 13-21.
59. Рот, К. Конструирование с помощью каталогов / К. Рот // пер. с нем. В. И. Борзенко и др.; под ред. Б. А. Березовского. – М.: Машиностроение, 1995. – 420 с.
60. Половинкин, А. И. Законы строения и развития техники / А. И. Половинкин. – Волгоград: Изд-во «Волгоградская правда», 1985. – 205 с.
61. Половинкин, А. И. Основы инженерного творчества / А. И. Половинкин // Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
62. Альтшуллер, Г. Алгоритм изобретения / Г. Альтшуллер. – М.: Московский рабочий, 1973. – 139 с.
63. Альтшуллер, Г. С. Найти идею: введение в ТРИЗ – теорию решения изобретательских задач / Г. С. Альтшуллер // 6-е изд. – М.: Альпина Паблишер, 2013. – 402 с.
64. Фоменков, С. А. Модификация модели описания физического эффекта для задачи синтеза линейных и сетевых структур физических принципов

- действия / С. А. Фоменков, Д. М. Коробкин, Г. А. Карачунова, А. Н. Копасов // Известия Волгоградского государственного технического университета. – Волгоград: ВолгГТУ, 2015. – № 6 (163). – С. 200–207.
65. Глебов, И. Т. Методы технического творчества / И. Т. Глебов // Учебное пособие. 2-е изд., стер. – СПб.: Издательство «ЛАНЬ», 2021. – 112 с.
66. Петров, В. Методы активации творческого процесса / В. Петров – Екатеринбург: RIDERO, 2018. – 114 с.
67. Калянов, Г. Н. Методы и инструменты моделирования архитектуры предприятия / Г. Н. Калянов // Проблемы теории и практики управления. – М.: Международная медиа группа. – 2006. – №5. – С.79-91.
68. Нотации моделирования бизнес-процессов [Электронный ресурс]. URL: https://www.businessstudio.ru/products/business_studio/notations/ (дата обращения: 22.02.2024)
69. Сирота, И. М. Разработка методов и средств поддержки визуального концептуального моделирования проектно-конструкторских задач при создании САПР машиностроительного назначения: дис...канд. техн. наук: 5.13.12 / И. М. Сирота. – Москва, 1999. – 199 с.
70. Марка, Д. Методология структурного анализа и проектирования SADT / Д. Марка, К. МакГоуэн // М.: Метатехнология, 1993. – 240 с.
71. Тренина, Е. В. Оценка современных программных продуктов для решения задач исследования сложных систем / Е. В. Тренина // Сборник трудов международной научно-практической конференции «Современные проблемы цифровизации предприятий водного транспорта и подготовки специалистов в области информационных технологий». – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2019. – 220 с.
72. Чернова, С. С. Перспективы развития информационных технологий / под общей редакцией С. С. Чернова // Сборник материалов XXXV Международной научно-практической конференции. – Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2017. – 156 с.
73. Стасенков, А. В. Разработка метода и средств поддержки организационно-функциональной структуры машиностроительного предприятия: дис...канд. техн. наук: 05.13.06 / А. В. Стасенков. – М.: 2004. – 143 с.

74. ARIS Toolset/БРwin: выбор за аналитиком [Электронный ресурс]. URL: ARIS Toolset/БРwin: выбор за аналитиком – Программные продукты – Статьи (interface.ru) (дата обращения: 25.02.2024)
75. Нотация ARIS EPC [Электронный ресурс]. URL: <https://koptelov.info/aris-epc/> (дата обращения: 4.3.2020)
76. Блог бизнес архитектура [Электронный ресурс]. URL: Моделирование бизнес процессов с помощью ARIS (Express and Cloud) — Блог бизнес архитектура (businessarchitecture.ru) (дата обращения: 20.01.2024)
77. Гаврилов, А. Г. Инструментальная среда поддержки процессов создания систем автоматизированного проектирования / А. Г. Гаврилов, Г. Д. Волкова, О. В. Новоселова // Информационные технологии в проектировании и производстве. – М.: НТЦ Оборонного Комплекса «Компас», 2018. – № 2(170). – С. 30–36.
78. Новоселова, О. В. Моделирование интегрированной среды поддержки создания прикладных автоматизированных систем / О. В. Новоселова, Г. Д. Волкова, А. Г. Гаврилов // Журнал «Известия высших учебных заведений. Поволжский регион», Пенза: ПГУ. 2014. – №1(29). – С. 81–91.
79. Волкова, Г.Д. Разработка визуального графического редактора функциональных и динамических составляющих моделей автоматизированных систем на всех этапах их создания / А.Г. Гаврилов, О.В. Новоселова, Г.Д. Волкова // Вестник МГТУ «Станкин». – М.: МГТУ «СТАНКИН», 2017. – № 2(41). – С. 83-88.
80. Гаврилов, А. Г. Программный комплекс «ИС-2» и его особенности / А. Г. Гаврилов, Г. Д. Волкова, О. В. Новоселова // В сборнике: Цифровая экономика: технологии, управление, человеческий капитал: материалы III Всероссийской научно-практической конференции. – Вологда: ООО «Маркер», 2020. – С. 10-13. ISBN 978-5-907341-14-2
81. Гаврилов, А. Г. Разработка метода моделирования и средств поддержки управления развитием визуальной интегрированной среды проектирования автоматизированных систем: дис...канд. техн. наук: 2.3.1 / А. Г. Гаврилов. – М.: МГТУ «СТАНКИН», 2022. – 224 с.
82. Олюнина, Л. А. Процессный подход как современный инструмент повышения эффективности работы предприятий ОАО «РЖД» / Л. А.

- Олюнина, А. Н. Ларин, И. В. Ларина // Инновационная экономика и общество. – Омск: ОмГУПС, 2015. – № 3 (9). – С. 52–57.
83. ЕСКД [Электронный ресурс]. URL: <http://www.robot.bmstu.ru/files/GOST/gost-eskd.html> (дата обращения: 3.4.2020)
84. ЕСТД [Электронный ресурс]. URL: <https://meganorm.ru/Data/510/51097.pdf> (дата обращения: 3.4.2020)
85. Волкова, Г. Д. Моделирование процессов жизненного цикла технических систем по методологии проектирования с помощью каталогов / Г. Д. Волкова, Пай Со, Т. Б. Тюрбеева // Инновационные технологии в проектировании и производстве: научно-технический журнал (№ 2 (186) 2022). – М.: Научно-технический центр оборонного комплекса «КОМПАС», 2022. – С. 12–22.
86. Пай Со, Модели изделия в проектной деятельности / Пай Со, Г. Д. Волкова // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Научные аспекты современных исследований». – Новосибирск: «Научное партнерство «Апекс», 2017. – С. 72–77.
87. Пай Со, Особенности моделирования изделия на начальной фазе по методологии проектирования с помощью каталогов / Пай Со, Г. Д. Волкова // Сб. материалов международной научно-практической конференции «Современная наука: инновации, проекты, инвестиции» (г. Уфа, 9 ноября 2017). – Уфа: «Научное партнерство «Апекс», 2017. – С. 40–45.
88. So, P. Simulation of a System of Product Knowledge Based on Catalog-Assisted Design / Т. В. Tyurbееva, G. D. Volkova, P. So // ISSN 1068-798X, Russian Engineering Research, 2020, Vol. 40, No. 1, pp. 55–57. © Allerton Press, Inc., 2020. Russian Text © The Author(s), 2019, published in STIN, 2019, No. 8, pp. 2–4.
89. Volkova, G.D. Organization of Informational and Intellectual Resources at Industrial Enterprises / G. D. Volkova, Т. В. Tyurbееva, Pai So // Russian Engineering Research, 2019, Vol. 39, No. 12, pp. 1050–1052. © Allerton Press, Inc., 2019. ISSN 1068-798X
90. Пай Со, Особенности организации информационных и интеллектуальных ресурсов на промышленных предприятиях / Г. Д. Волкова, Т. Б. Тюрбеева, Пай Со // Научно-технический журнал. – М.: СТИН, 2019. – № 7. – С. 2–4.

91. Пай Со, Моделирование проблемно-ориентированных знаний, зафиксированных в научных публикациях и технической документации / Пай Со, Г. Д. Волкова, Т. Б. Тюрбеева // Сборник статей XXXVII Международной научно-практической конференции: WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS. – Пенза: МЦНС «Наука и просвещение», 2019. – С. 38–41. ISBN 978-5-00159-158-0
92. Пай Со, Формальное описание проектно-конструкторских решений, зафиксированных в научно-технических публикациях и технической документации / Пай Со, Г. Д. Волкова, Т. Б. Тюрбеева // Сборник статей XXVI Международной научно-практической конференции «Российская наука в современном мире». – Москва: Научно-издательский центр «АКТУАЛЬНОСТЬ.РФ», 2019. – С. 92–94. ISBN 978-5-6043978-0-0
93. Пай Со, Особенности моделирования системы знаний об изделии по методологии проектирования с помощью каталогов / Т. Б. Тюрбеева, Г. Д. Волкова, Пай Со // Научно-технический журнал. – М.: СТИН, 2019. – № 8. – С. 2–4.
94. Волкова, Г. Д. Семантическое моделирование деятельности проектно-конструкторской организации / Г. Д. Волкова, С. В. Протасова // Материалы международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и промышленности». – Архангельск: Соломбальская типография, 2005 г. – С. 48–52.
95. Волкова, Г. Д. Методология автоматизации интеллектуального труда: предпосылки, основания, результаты, проблемы. Часть–1 / Г. Д. Волкова // Научно-методический журнал «Межотраслевая информационная служба». – М.: НТЦ Оборонного Комплекса «Компас». – 2009. – № 2. – С. 9–20.
96. Волкова, Г. Д. Методология автоматизации интеллектуального труда: предпосылки, основания, результаты, проблемы. Часть 2. / Г. Д. Волкова // Научно-методический журнал «Межотраслевая информационная служба». – М.: НТЦ Оборонного Комплекса «Компас». – 2009. – № 3. – С. 10–23.
97. Волкова, Г. Д. Методология автоматизации интеллектуального труда: предпосылки, основания, результаты, проблемы. Часть 3. / Г. Д. Волкова // Научно-методический журнал «Межотраслевая информационная служба». – М.: НТЦ Оборонного Комплекса «Компас». – 2009. – № 4. – С. 15–31.

98. Волкова, Г. Д. Методология автоматизации интеллектуального труда: предпосылки, основания, результаты, проблемы часть 4. / Г. Д. Волкова // Научно-методический журнал «Межотраслевая информационная служба». – М.: НТЦ Оборонного Комплекса «Компас». – 2010. – № 1. – С. 11–30.
99. Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы [Электронный ресурс]. URL: Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы — Википедия (wikipedia.org) (дата обращения: 3.1.2024)
100. Техническое задание. ГОСТ 19.201-78 [Электронный ресурс]. – URL: ГОСТ 19.201-78. ЕСПД. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению (swrit.ru) (дата обращения: 3.1.2024)
101. ГОСТ 15.016-2016: Система разработки и постановки продукции на производство. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению [Электронный ресурс]. – URL: ГОСТ 15.016-2016. Система разработки и постановки продукции на производство. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению (internet-law.ru) (дата обращения: 3.1.2024)
102. Ганджумян, Р. А. Проектирование бурового оборудования / Р. А. Ганджумян, А. А. Тунгусов, С. А. Тунгусов // Учебное пособие. – М.: РГГРУ, 2012. – 62 с.
103. Единая система конструкторской документации. Техническое предложение [Электронный ресурс]. – URL: ГОСТ 2.118-2013. Единая система конструкторской документации. Техническое предложение (internet-law.ru) (дата обращения: 3.1.2024)
104. Единая система конструкторской документации. Эскизный проект [Электронный ресурс]. – URL: ГОСТ 2.119-2013. Единая система конструкторской документации. Эскизный проект (internet-law.ru) (дата обращения: 3.1.2024)
105. Единая система конструкторской документации. Технический проект [Электронный ресурс]. – URL: ГОСТ 2.120-2013. Единая система конструкторской документации. Технический проект (internet-law.ru) (дата обращения: 3.1.2024)
106. ГОСТ 2.102-2013 ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов [Электронный ресурс]. – URL: ГОСТ-2_102_2013.pdf (baf-psk.ru) (дата обращения: 3.1.2024)

107. Тюрбеева, Т. Б. Концептуальное моделирование процессов конструирования сложных машиностроительных изделий / Т. Б. Тюрбеева, Г. Д. Волкова, Е. Г. Семячкова, Г. А. Винарская, А. С. Харитонов, К. М. Абрамов, А. Г. Гаврилов // Автоматизация и управление в машиностроении. – М.: МГТУ «СТАНКИН», 2018. – № 2 (31). – С. 11-22.
108. Жедяевский, Д. Н. Методология кодификации продуктивных знаний и их использования при концептуальном проектировании оборудования нефтегазопереработки: дис...канд. техн. наук: 5.13.12 / Д. Н. Жедяевский. – Москва, 2003. – 305 с.
109. Хубка, В. Теория технических систем / В. Хубка, под редакцией д-ра техн. наук, проф. К. А. Люшинского // Перевод с немецкого. – М.: Мир, 1987. – 208 с.

**Приложение 1. Фрагменты спецификаций для концептуальных структур
проектной деятельности по методологии Рота**

Форма F3. Фрагмент описания предметных зависимостей 1-го рода

Код задачи: ПДпМР

Вид информации: переменная

Код структуры: ПДпМР.3-v

Табл.1. Фрагмент описания предметных зависимостей 1-го рода

Код задачи	Код ПЗ1	Наименование ПЗ1	Степень формализации	Статус ПЗ1	Структурное свойство ПЗ1	Примечание
1	2	3	4	5	6	7
ПЗ 1	a1.1	формирование МПИ на всех фазах проектирования	Аналит.	П	{	
ПЗ 1	a2.1	формирование МПИ на i-ой фазе проектирования	Алг.	П	!\${	!-Количество фаз \$- Статус МП фазы [-Массив статусов МП фаз
ПЗ 1	a3.1	фиксация фазы	Эмп.	Э		
ПЗ 1	a3.2	формирование модельных представлений объекта на текущей фазе	Алг.	П	[	[-Статус МП фазы
ПЗ 1	a3.3	формирование МПИ на всех фазах проектирования в зависимости от продолжения	Аналит.	П	?#]	?- Количество фаз #- Массив статусов МП фаз]- Массив статусов МП фаз
ПЗ 1	a4.4	формирование МПИ на всех фазах проектирования при продолжении	Аналит.	П	/[	/- Количество фаз [-Массив статусов МП фаз
ПЗ 1	a5.2	переход на следующей фазе	Аналит.	Э		
ПЗ 1	a5.3	формирование МПИ на всех фазах проектирования при продолжении для предыдущей фазы	Аналит.	Э	]	]- Массив статусов МП фаз
ПЗ 1	a4.5	формирование МПИ на всех фазах проектирования при окончании	Аналит.	Э	/}	/- Количество фаз }- Массив статусов МП фаз
ПЗ 1	a4.1	определение наименования фазы	Эмп.	Э		
ПЗ 1	a4.2	формирование множества версий МПИ на текущей фазе	Аналит.	П	{	{- Массив версий МП фазы
ПЗ 1	a4.3	формирование окончательных модельных представлений объекта на текущей фазе	Стат	Э	]	]- Статус МП фазы

Форма F4. Фрагмент описания системы предметных зависимостей 1-го рода

Код задачи: ПДпМР

Вид информации: переменная

Код структуры: ПДпМР.3-v

Табл.2. Фрагмент описания системы предметных зависимостей 1-го рода

Код задачи	Код ПЗ 1	Код ПЗ 2	Код ПЗ 3	Оценка связи	Вид связи	Код бинарной связи
1	2	3	4	5	6	7
ПЗ 1	a1.1	a2.1	-	Цикл	К	a1.1a2.1-
ПЗ 1	a2.1	a3.1	a3.2	Посл	К	a2.1a3.1a3.2
ПЗ 1	a2.1	a3.2	a3.3	Посл	К	a2.1a3.2a3.3
ПЗ 1	a3.2	a4.1	a4.2	Посл	К	a3.2a4.1a4.2
ПЗ 1	a3.2	a4.2	a4.3	Посл	К	a3.2a4.2a4.3
ПЗ 1	a3.3	a4.4	a4.5	Пркл	К	a3.3a4.4a4.5
ПЗ 1	a4.2	a5.1	-	Цикл	К	a4.2a5.1-
ПЗ 1	a5.1	a6.1	a6.2	Посл	К	a5.1a6.1a6.2
ПЗ 1	a5.1	a6.2	a6.3	Посл	К	a5.1a6.2a6.3
ПЗ 1	a6.2	a7.1	a7.2	Пркл	К	a6.2a7.1a7.2
ПЗ 1	a6.2	a7.2	a7.3	Пркл	К	a6.2a7.2a7.3
ПЗ 1	a6.2	a7.3	a7.4	Пркл	К	a6.2a7.3a7.4
ПЗ 1	a6.3	a7.5	a7.6	Пркл	К	a6.3a7.5a7.6
ПЗ 2	b1.1	b2.1	b2.2	Посл	К	b1.1b2.1b2.2
ПЗ 2	b2.1	b3.1	-	Цикл	К	b2.1b3.1-
ПЗ 2	b3.1	b4.1	b4.2	Посл	К	b3.1b4.1b4.2
ПЗ 2	b3.1	b4.2	b4.3	Посл	К	b3.1b4.2b4.3
ПЗ 2	b4.2	b5.1	b5.2	Посл	К	b4.2b5.1b5.2
ПЗ 2	b4.3	b5.3	b5.4	Пркл	К	b4.3b5.3b5.4
ПЗ 2	b5.2	b6.1	b6.2	Пркл	К	b5.2b6.1b6.2
ПЗ 2	b5.2	b6.2	b6.3	Пркл	К	b5.2b6.2b6.3
ПЗ 2	b5.2	b6.3	b6.4	Пркл	К	b5.2b6.3b6.4
ПЗ 2	b5.2	b6.4	b6.5	Пркл	К	b5.2b6.4b6.5
ПЗ 3	c1.1	c2.1	c2.2	Посл	К	c1.1c2.1c2.2
ПЗ 3	c2.1	c3.1	c3.2	Посл	К	c2.1c3.1c3.2
ПЗ 3	c2.1	c3.2	c3.3	Посл	К	c2.1c3.2c3.3
ПЗ 3	c3.2	c4.1	c4.2	Пркл	К	c3.2c4.1c4.2
ПЗ 4	f1.1	f2.1	f2.2	Посл	К	f1.1f2.1f2.2
ПЗ 4	f2.1	f3.1	-	Цикл	К	f2.1f3.1-
ПЗ 4	f3.1	f4.1	f4.2	Посл	К	f3.1f4.1f4.2
ПЗ 4	f3.1	f4.2	f4.3	Посл	К	f3.1f4.2f4.3

Форма F1. Фрагмент описания предметных категорий

Код задачи: ПДпМР

Вид информации: переменная

Код структуры: ПДпМР.1-v

Табл. 3. Фрагмент описания предметных категорий.

Код ПК	Наименование ПК	Кл. ПК	Тип ПК	Статус ПК	Оценка	Примечание
1	2	3	4	5	6	7
P1.1	Процесс функционирования изделия	P	T	P		
Z1.1	Задача функционирования изделия	Z	T	P		
K1.7	Объект-устройство	K	T	P		
O7.1	МПИ проекта	O	NT	P		
O7.2	МПИ фазы	O	NT	P		
O7.3	Версия МПИ фазы	O	NT	P		
O7.4	МПИ этапа	O	NT	P		
O7.5	Версия МПИ этапа	O	T	P		
R2.1	наименование изделия	R	T	P		
R1.1	код МП проекта	R	T	P		
R3.1	количество фаз	R	T	P		
R3.10	массив статусов МП фаз	R	T	P		
R1.2	код фазы	R	T	P		
R3.2	количество этапов	R	T	P		
R2.2	наименование фазы	R	T	P		
R3.3	статус МП фазы	R	T	P		
R3.4	количество версий МП фазы	R	T	P		
R3.9	массив версий МП фазы	R	T	P		
R3.13	массив МП этапов	R	T	P		

Форма F2. Фрагмент описания бинарных связей предметных категорий

Код задачи: ПДпМР

Вид информации: переменная

Код структуры: ПДпМР.1-v

Табл. 4. Фрагмент описания бинарных связей предметных категорий

Кл.св. ПК	Код ПК 1	Код ПК 2	Код ПК 3	Наименование связи ПК	Вид связи	Оценка связи	Код связи
1	2	3	4	5	6	7	8
P0	-	P1.1	P1.1	Упорядочивание процесса функционирования изделия	У	99	-P1.1P1.1
PZ	P1.1	Z1.1	-	Состав процесса функционирования изделия	С	99	P1.1Z1.1-
Z0	-	Z1.1	Z1.1	Упорядочивание задачи функционирования изделия	У	99	-Z1.1Z1.1
ZK	Z1.1	K1.7	-	Состав задачи функционирования изделия	С	1	Z1.1K1.7-
KZ	Z1.1	K1.7	-	Компоновка задачи функционирования изделия	К	1	Z1.1K1.7-
K0	-	K1.7	K1.7	Упорядочивание компонента «Объект-устройство»	У	99	-K1.7K1.7
KO	K1.7	O7.1	-	Состав компонента «Объект-устройство»	С	99	K1.7O7.1-
KO	K1.7	O7.2	-	Состав компонента «Объект-устройство»	С	99	K1.7O7.2-
KO	K1.7	O7.3	-	Состав компонента «Объект-устройство»	С	99	K1.7O7.3-
KO	K1.7	O7.4	-	Состав компонента «Объект-устройство»	С	99	K1.7O7.4-
KO	K1.7	O7.5	-	Состав компонента «Объект-устройство»	С	99	K1.7O7.5-
OK	K1.7	O7.1	O7.2	Компоновка компонента «Объект-устройство»	К	99	K1.7O7.1O7.2
OK	K1.7	O7.2	O7.3	Компоновка компонента «Объект-устройство»	К	99	K1.7O7.2O7.3
OK	K1.7	O7.3	O7.4	Компоновка компонента «Объект-устройство»	К	99	K1.7O7.3O7.4

Форма F6. Фрагмент описания концептуальной модели в целом

Код задачи: ПДпМР

Вид информации: переменная

Код структуры: ПДпМР.3-в

Табл. 5. Фрагмент описания концептуальной модели в целом

Код задачи	Код ПЗ 1	Структурное св. ПЗ 1	Код ПК	Роль ПК	Структурное св. ПК	Объем. св. ПК	Особ. роль ПК	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПЗ 1	a1.1	{	R3-13				ФЦ	
ПЗ 1	a2.1	!					СЦ	
ПЗ 1	a2.1	[	R3-10				ФП	
ПЗ 1	a2.1	\$	R3-3				ФИ	
ПЗ 1	a3.1		R3-1	A-y	E	МОНО		
ПЗ 1	a3.1		R1-2	Ф	E	МОНО		
ПЗ 1	a3.2		R3-1	A-y	E	МОНО		
ПЗ 1	a3.2	[	R3-3				ФП	
ПЗ 1	a4.1		R3-1	A-y	E	МОНО		
ПЗ 1	a4.1		R1-2	A-y	K	МОНО		
ПЗ 1	a4.1		R2-2	Ф	K	МОНО		
ПЗ 1	a4.2		R3-1	A-y	E	МОНО		
ПЗ 1	a4.2	{	R3-9				ФЦ	
ПЗ 1	a5.1		R3-1	A-y	E	МОНО		
ПЗ 1	a5.1	!	R3-4				СЦ	
ПЗ 1	a5.1	[	R3-9				ФП	
ПЗ 1	a5.1	\$	R3-5				ФИ	
ПЗ 1	a6.1		R3-1	A-y	E	МОНО		
ПЗ 1	a6.1		R3-4	A-y	E	МОНО		
ПЗ 1	a6.1		R1-3	Ф	E	МОНО		
ПЗ 1	a6.2		R3-1	A-y	E	МОНО		
ПЗ 1	a6.2		R1-2	A-y	K	МОНО		
ПЗ 1	a6.2	?	R2-2		K		АА	
ПЗ 1	a6.2		R3-4	A-y	K	МОНО		
ПЗ 1	a6.2		R1-3	A-y	E	МОНО		
ПЗ 1	a6.2	#	R3-5				АА	
ПЗ 1	b1.1		R3-1	A-y	E	МОНО		
ПЗ 1	b1.1		R1-2	A-y	K	МОНО		
ПЗ 1	b1.1	/	R2-2		K		АА	
ПЗ 1	b1.1		R3-4	A-y	K	МОНО		

**Приложение 2. Фрагменты спецификаций для концептуальных структур
проектной деятельности по российской практике**

Форма F3. Фрагмент описания предметных зависимостей 1-го рода

Код задачи: ПДпРП

Вид информации: переменная

Код структуры: ПДпРП.3-в

Табл. 1. Фрагмент описания предметных зависимостей 1-го рода

Код ПЗ	Наименование ПЗ	Степень формализации	Статус ПЗ	Структурное свойство	Примечание
1	2	3	4	5	6
a1.1	Проектирование множества изделия.	Аналит	П	{	{- Массив статусов утверждения КД на изделия
a2.1	Проектирование q-изделия.	Алг	П	! \$[	!- Количество изделий \$- Статус утверждения КД на изделие [-Массив статусов утверждения КД на изделия
a3.1	Фиксация изделия .	Эмп	Э		
a3.2	Проектирование текущего изделия.	Алг	П	[	[-Статус утверждения КД на изделие
a3.3	Проектирование множества изделий в зависимости от их наличия.	Аналит	П	] ?#	]- Массив статусов утверждения КД на изделия ?- Количество изделий #- Массив статусов утверждения КД на изделия
a4.3	Проектирование множества версий изделия при наличии.	Аналит	П	/[	/- Количество изделий [-Массив статусов утверждения КД на изделия
a5.2	Переход к следующему изделию $q=q+1$.	Аналит	Э		
a5.3	Проектирование множества изделий при наличии для предыдущего изделия	Аналит	Э	]	]- Массив статусов утверждения КД на изделия
a4.4	Проектирование множества версий изделия при отсутствии	Аналит	Э	/}	/- Количество изделий }- Массив статусов утверждения КД на изделия

Форма F4. Фрагмент описания системы предметных зависимостей 1-го рода

Код задачи: ПДпРП

Вид информации: переменная

Код структуры: ПДпРП.3-v

Табл. 2. Фрагмент описания системы предметных зависимостей 1-го рода

Код ПЗ 1	Код ПЗ 2	Код ПЗ 3	Оценка связи	Вид связи	Код бинарной связи
1	2	3	4	5	6
a1.1	a2.1	-	Цикл	К	a1.1 a2.1-
a2.1	a3.1	a3.2	Посл	К	a2.1 a3.1 a3.2
a2.1	a3.2	a3.3	Посл	К	a2.1 a3.2 a3.3
a3.2	a4.1	a4.2	Посл	К	a3.2 a4.1 a4.2
a3.3	a4.3	a4.4	Пркл	К	a3.3 a4.3 a4.4
a4.1	a5.1	-	Цикл	К	a4.1 a5.1-
a5.1	a6.1	a6.2	Посл	К	a5.1 a6.1 a6.2
a5.1	a6.2	a6.3	Посл	К	a5.1 a6.2 a6.3
a6.2	a7.1	a7.2	Посл	К	a6.2 a7.1 a7.2
a6.2	a7.2	a7.3	Посл	К	a6.2 a7.2 a7.3
a6.2	a7.3	a7.4	Посл	К	a6.2 a7.3 a7.4
a6.2	a7.4	a7.5	Посл	К	a6.2 a7.4 a7.5
a6.2	a7.5	a7.6	Посл	К	a6.2 a7.5 a7.6
a6.2	a7.6	a7.7	Посл	К	a6.2 a7.6 a7.7
a6.3	a7.8	a7.9	Пркл	К	a6.3 a7.8 a7.9
a7.3	a8.1	-	Цикл	К	a7.3 a8.1-
a8.1	a9.1	a9.2	Посл	К	a8.1 a9.1 a9.2
a8.1	a9.2	a9.3	Посл	К	a8.1 a9.2 a9.3
a7.7	a8.2	a8.3	Пркл	К	a7.7 a8.2 a8.3
a9.2	a10.1	a10.2	Посл	К	a9.2 a10.1 a10.2
a9.2	a10.2	a10.3	Посл	К	a9.2 a10.2 a10.3
a9.3	a10.3	a10.4	Пркл	К	a9.3 a10.3 a10.4
a10.2	a11.1	a11.2	Пркл	К	a10.2 a11.1 a11.2
a11.1	a12.1	-	Цикл	К	a11.1 a12.1-
a12.1	a13.1	a13.2	Посл	К	a12.1 a13.1 a13.2
a12.1	a13.2	a13.3	Посл	К	a12.1 a13.2 a13.3
a13.2	a14.1	a14.2	Посл	К	a13.2 a14.1 a14.2
a13.2	a14.2	a14.3	Посл	К	a13.2 a14.2 a14.3
a13.2	a14.3	a14.4	Посл	К	a13.2 a14.3 a14.4
a13.2	a14.4	a14.5	Посл	К	a13.2 a14.4 a14.5
a13.2	a14.5	a14.6	Посл	К	a13.2 a14.5 a14.6
a13.2	a14.6	a14.7	Посл	К	a13.2 a14.6 a14.7
a13.3	a14.8	a14.9	Пркл	К	a13.3 a14.8 a14.9
a14.7	a15.2	a15.3	Пркл	К	a14.7 a15.2 a15.3
a14.3	a15.1	-	Цикл	К	a14.3 a15.1-
a15.1	a16.1	a16.2	Посл	К	a15.1 a16.1 a16.2
a15.1	a16.2	a16.3	Посл	К	a15.1 a16.2 a16.3

Форма F1. Фрагмент описания предметных категорий

Код задачи: ПДпРП

Вид информации: переменная

Код структуры: ПДпРП.1-v

Табл.3. Фрагмент описания предметных категорий

Код ПК	Наименование ПК	Кл. ПК	Тип ПК	Статус ПК	Оценка	Примечание
1	2	3	4	5	6	7
P1.1	Процесс функционирования изделия	P	T	P		
Z1.1	Задача функционирования изделия	Z	T	P		
K1.7	Средство-устройство	K	T	P		
K1.9	Средство-документ	K	T	P		
O7.1	Партия изделий	O	NT	P		
O7.2	Изделие	O	NT	P		
O7.3	Версия изделия	O	NT	P		
O7.4	Часть изделия	O	NT	P		
O7.5	Версия части изделия	O	NT	P		
O7.6	Деталь (части И вида CE)	O	T	P		
O7.7	Версия детали (части И вида CE)	O	T	P		
O7.8	Компонент части И	O	NT	P		
O7.9	Версия компонента части И	O	NT	P		
O7.10	Деталь (K=CE / Ч=Kc)	O	T	P		
O7.11	Версия детали (K=CE / Ч=Kc)	O	T	P		
O9.1	КД на изделие	O	NT	P		
O9.2	Версия КД на версию изделия	O	NT	P		
O9.3	КД на часть изделия	O	NT	P		
O9.4	Версия КД на версию части изделия	O	NT	P		
O9.5	КД на деталь (части И вида CE)	O	T	P		
O9.6	Версия КД на версию детали (части И вида CE)	O	T	P		
O9.7	КД на компонент части изделия	O	NT	P		
O9.8	Версия КД на версию компонента части И (Ч=Kc)	O	NT	P		
O9.9	КД на деталь (K=CE / Ч=Kc)	O	T	P		
O9.10	Версия КД на версию Д (K=CE Ч=Kc)	O	T	P		
R1.1	Код партии	R	T	P		
R3.1	Количество изделий	R	T	P		
R3.2	Массив статусов утверждения КД на изделие	R	T	P		

Форма F2. Фрагмент описания бинарных связей предметных категорий

Код задачи: ПДпРП

Вид информации: переменная

Код структуры: ПДпРП.1-v

Табл .4. Фрагмент описания бинарных связей предметных категорий

Кл.св ПК	Код ПК1	Код ПК2	Код ПК3	Наименование связи ПК	Вид связи	Оценк а связи	Код связи
P0	-	P1.1	P1.1	Упорядочивание пр. функционирования изделия	У	99	-P1.1P1.1
PZ	P1.1	Z1.1	-	Состав пр. функционирования изделия	С	99	P1.1Z1.1-
Z0	-	Z1.1	Z1.1	Упорядочивание задачи функционирования изделия	У	99	-Z1.1 Z1.1
ZK	Z1.1	K1.7	-	Состав задачи функционирования изделия	С	1	Z1.1K1.7-
KZ	Z1.1	K1.7	-	Компоновка задачи функционирования изделия	К	1	Z1.1K1.7-
K0	-	K1.7	K1.7	Упорядочивание комп. «средство- устройство»	У	99	-K1.7K1.7
ZK	Z1.1	K1.9	-	Состав задачи функционирования изделия	С	1	Z1.1K1.9-
KZ	Z1.1	K1.9	-	Компоновка задачи функционирования изделия	К	2	Z1.1K1.9-
K0	-	K1.9	K1.9	Упорядочивание комп. «средство- устройство»	У	99	-K1.9K1.9
KO	K1.7	O7.1	-	Состав компонента «средство- устройство»	С	99	K1.7O7.1-
KO	K1.7	O7.2	-	Состав компонента «средство- устройство»	С	99	K1.7O7.2-
KO	K1.7	O7.3	-	Состав компонента «средство- устройство»	С	99	K1.7O7.3-
KO	K1.7	O7.4	-	Состав компонента «средство- устройство»	С	99	K1.7O7.4-

Форма F6. Фрагмент описания концептуальной модели в целом

Код задачи: ПДпРП

Вид информации: переменная

Код структуры: ПДпРП.3-v

Табл .5. Фрагмент описания концептуальной модели в целом

Код ПЗ-1	Структурное свойство ПЗ-1	Код ПК	Роль ПК	Структурное свойство ПК	Объем свойство ПК	Особ. Роль ПК	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8
a1.1	{	(R3.2)				ФЦ	
a2.1	!	(R3.1)				СЦ	
a2.1	[	(R3.2)				ФП	
a2.1	\$	(R3.49)				ФИ	
a3.1		(R3.1)	A-y	E	МОНО		
a3.1		(R1.2)	Ф	E	МОНО	АИ	
a3.2		(R3.1)	A-y	E	МОНО		
a3.2	[	(R3.49)				ФИ	
a4.1		(R3.1)	A-y	E	МОНО		
a4.1	{	(R3.8)				ФЦ	
a5.1		(R3.1)	A-y	E	МОНО		
a5.1	!	(R3.5)				СЦ	
a5.1		(R1.2)	A-y	E	МОНО		
a5.1	\$	(R3.10)				ФИ	
a5.1	[	(R3.8)				ФП	
a6.1		(R3.1)	A-y	E	МОНО		
a6.1		(R3.5)	A-y	K	МОНО		
a6.1		(R1.2)	A-y	K	МОНО		
a6.1		(R1.3)	Ф	E	МОНО		
a6.1		(R1.4)	Ф	E	МОНО		
a6.2		(R3.1)	A-y	E	МОНО		
a6.2		(R3.5)	A-y	K	МОНО		
a6.2		(R1.2)	A-y	K	МОНО		
a6.2		(R1.3)	A-y	E	МОНО		
a6.2		(R1.4)	A-y	E	МОНО		
a6.2	[	(R3.10)				ФП	
a7.1		(R3.1)	A-y	E	МОНО		
a7.1		(R4.2)	Ф	K	МОНО		
a7.1		(R4.1)	A	K	МОНО		
a7.1		(R1.2)	A-y	E	МОНО		
a7.2		(R3.1)	A-y	E	МОНО		
a7.2		(R3.4)	Ф	K	МОНО		
a7.2		(R1.2)	A-y	K	МОНО		
a7.3		(R3.1)	A-y	E	МОНО		
a7.3		(R3.4)	A-y	K	МОНО		
a7.3	{	(R3.7)				ФЦ	
a7.3		(R1.2)	A-y	K	МОНО		

Приложение 3

Справки об использовании результатов диссертационного исследования



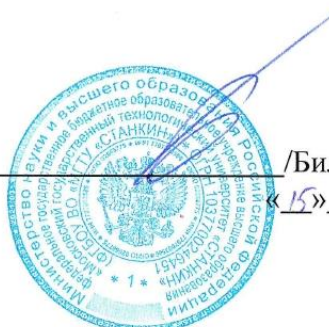
МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
(ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»)

СПРАВКА **об использовании результатов диссертационного исследования**

Научно-практические результаты диссертационной работы Пай Со на тему «Разработка моделей и инструментальных средств поддержки анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем» были использованы при выполнении проекта по гранту РФФИ (2018–2020 гг.) № 17-29-07056 «Разработка моделей и методов представления и обработки проблемно-ориентированных знаний, извлекаемых из научно-технических текстов и конструкторско-технологической документации».

Исследование существующих классификаций научной, научно-технической и технической документации позволило установить, что отсутствует их единая классификация. Исследования показали, что особое место занимает регламентация оформления различных документов в информационной, научно-исследовательской, проектной и управленческой деятельности. В процессе исследований были выделены характеристики, которые позволяют формировать требования к специализированному языку «разметки» технических документов, обеспечивающему более эффективное концептуальное моделирование технических знаний. Результаты исследований были опубликованы в российских журналах.

Проректор по образовательной
 деятельности и молодежной политике
 ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»,
 канд. техн. наук, доцент



/Бильчук М.В./

«15» 04 2024г.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
(ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»)

СПРАВКА
об использовании результатов диссертационного исследования

Научно-практические результаты диссертационной работы Пай Со на тему «Разработка моделей и инструментальных средств поддержки анализа и моделирования процессов жизненного цикла технических систем» использованы при разработке программных средств и методического обеспечения поддержки анализа и концептуального проектирования технических систем.

Программные средства были апробированы и использованы в образовательной и научной деятельности Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН».

В частности, при подготовке обучающихся в качестве учебно-проектного средства поддержки дисциплины «Концептуальное проектирование техники и технологии» при подготовке бакалавров по направлению 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника», профили подготовки «Модели, методы и программное обеспечение анализа проектных решений».

Анализ и концептуальное проектирование техники и технологии позволяет подробно рассматривать технику, выявить противоречия в технике и предлагать направления совершенствования техники. Это приводит к улучшению техники с наименьшими затратами ресурсов или с новыми полезными функциями.

Полагаем, что данную методику и инструментальные средства целесообразно использовать в дальнейшем для модификации и развития средств поддержки методологии концептуального проектирования техники и технологии как основы учебно-проектной деятельности студентов.

Проректора по образовательной
 деятельности и молодежной политике
 ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»,
 канд. техн. наук, доцент



/Бильчук М. В./

« 15 » 04 2024 г.