

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

На правах рукописи



Экз. _

КАБАНОВ

Александр Александрович

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ
НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ «ИЗДЕЛИЕ-ТЕХНОЛОГИЯ-
ПРОИЗВОДСТВО»**

05.07.02 - Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент

Кулик Ю. П.

Москва 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ СОПУТСТВУЮЩЕЙ РАЗРАБОТКИ ИЗДЕЛИЯ И СИСТЕМЫ ЕГО ПРОИЗВОДСТВА	15
1.1. Анализ методик разработки изделия в контексте его жизненного цикла ..	18
1.2. Анализ методик организации и управления производственными системами российских предприятий ракетно-космической промышленности	40
1.3. Анализ методик модельного описания инженерной деятельности	50
1.4. Выводы по Главе 1. Постановка цели и задач исследования	58
ГЛАВА 2. МОДЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ, МЕТОДИКА ЕЕ ПОСТРОЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	62
2.1. Методика оценивания и обеспечения эффективности производственной деятельности предприятия	63
2.2. Онтология производственной деятельности предприятия и его организаций	71
2.3. Модель взаимодействия организаций для обеспечения установленного уровня эффективности предприятия	85
2.4. Модель организации основного производства как ядра производственной деятельности предприятия	92
2.5. Выводы по Главе 2. Основные результаты исследования производственной деятельности предприятия	124
ГЛАВА 3. РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ	126
3.1. Конструкция «Изделие – Технология – Производство» как представление модели деятельности	126
3.2. Рамочная структура конструкции «Изделие – Технология – Производство»	133
3.3. Атрибуты объектов конструкции «Изделие – Технология – Производство»	155
3.4. Алгоритмическое и процедурное обеспечение конструкции «Изделие – Технология – Производство»	158
3.5. Использование конструкции «Изделие – Технология – Производство» при разработке изделия и системы его производства. Методика построения конструкции	164

3.6. Выводы по Главе 3. Основные результаты исследования процесса реализации конструкции «Изделие – Технология – Производство»	180
ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ КОНСТРУКЦИИ «ИЗДЕЛИЕ – ТЕХНОЛОГИЯ – ПРОИЗВОДСТВО»	182
4.1. Методика проведения экспериментальных исследований	182
4.2. Программно-информационный комплекс для проведения экспериментов с конструкцией «Изделие – Технология – Производство»	190
4.3. Задача выявления и сравнительного анализа приемов управления стоимостью качества изделия «Жаровая труба» и ритмом его внутренних поставок	201
4.4. Задача модернизации производственной системы для увеличения производственной мощности цеха	242
4.5. Задача планового совершенствования производственной деятельности предприятия	249
4.6. Задача аудита ремонтного производства	252
4.7. Выводы по Главе 4. Основные результаты выполненных экспериментальных исследований	254
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	257
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	260
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	262
ПРИЛОЖЕНИЯ	273
1. Декомпозиция процесса изготовления компонента «Шпангоут»	274
2. Результаты расчета параметров изготовления компонента «Шпангоут»	278
3. Результаты расчетов времени пролеживания и стоимости незавершенного производства партии компонентов «Шпангоут»	281
4. Копия акта о внедрении результатов работы в промышленность	284

ВВЕДЕНИЕ

Институциональная экономическая система общества для сравнительного оценивания производственных предприятий использует две формы показателей: результативности (как меры способности удовлетворять запросы и ожидания потенциальных и реальных потребителей); эффективности – как способности в максимальной степени уменьшить расход материалов и ресурсов на удовлетворение запросов потребителей.

Эти показатели отражают степень совершенства деятельности предприятий.

Деятельность предприятия в ГОСТ Р 54136-2010 определена как «...всё или часть функционирования процессов, состоящих из элементарных задач, выполняемых на предприятии, которые используют входы и выделяют время и ресурсы для создания выходных результатов».

Выходным результатом деятельности предприятия считается поставка заказчику (потребителю) продукции в соответствии с условиями контракта.

Предприятие на пути движения к получению выходного результата, реализует необходимый набор стадий и этапов жизненного цикла продукции. Цикл – это совместная деятельность всех систем предприятия, обеспечивающих адекватную реакцию на запросы потребителей на временном промежутке начиная от идентификации запросов и завершая их полным удовлетворением. Под управлением жизненным циклом будем понимать не управление его стадиями и этапами как промежутками времени, но управление деятельностью, обеспечивающей указанный переход от одной стадии цикла к другой.

Пространство деятельности предприятия охватывает как внешнюю (частично), так и внутреннюю (полностью) среду предприятия. Во внешнем пространстве оно стремится наиболее адекватным образом оценить сигнальный фактор запросов потребителей, прежде всего в части запрашиваемых номенклатуры и качества продукции, ее цены и условий поставки. Используя полученные оценки сигнального фактора как критерии и/или ограничения на реализацию деятельности во внутреннем пространстве предприятие обеспечивает

не только эффективное функционирование каждой из обеспечивающих систем, но и необходимую координацию достигаемых ими результатов в интересах обеспечения наилучшего общего результата.

С точки зрения получения наилучшего выходного результата предприятия рассматривается следующий набор обеспечивающих систем: конструкторской и технологической подготовки производства, собственно основного производства или производство продукции для осуществления внешних поставок.

Требуемых уровней своей результативности и эффективности предприятие обеспечивает посредством управления деятельностью, названной в работе производственной. Таким образом, рассматриваемые в работе «разработка изделий и систем их производств; управление системами производств» рассматриваются как виды производственной деятельности. Причины для выбора такого названия две: во-первых, цель управления заключается в обеспечении производства и поставок продукции в соответствии с контрактными условиями. Во-вторых, во внутренней среде предприятия реализуется командно-административная система управления, и потому рассматриваемая деятельность, как и все прочие виды деятельности, выполняются на плановой основе.

Пространство реализации производственной деятельности названо в работе системой «Изделие-Технология-Производство». Однако, поскольку каждый из элементов системы сам по себе является самостоятельной системой, т.е. обладает целостностью, конструкция этой системы и процессы управления ею нестандартны. В силу сказанного именно система «Изделие-Технология-Производство» и составила объект исследования.

С системной точки зрения любое из предприятий рассматривается как совокупность организаций и связей между ними. Каждой из организаций приписывается ответственность за реализацию определенного специализированного вида экономически целесообразной деятельности. Система связей между организациями формируется таким образом, чтобы обеспечить цели деятельности всего предприятия.

Организация, в ходе выполнения приписанного ей вида деятельности, создает и использует присущую ей систему промышленной автоматизации. Каждая из них представляет собой организационно-техническую структуру, в пределах которой стремятся органичным способом объединить когнитивные возможности человека-оператора и широких исполнительных возможностей современных вычислительных средств.

Эти системы реализуют две группы функций. Первая из них призвана освободить операторов от участия в процессах получения, преобразования и использования энергетических и материальных потоков в ходе реализации трудовых функций каждого из операторов. Вторая группа функций призвана повысить производительность коллективного труда операторов за счет использования современных информационных средств.

Существуют две точки зрения на определение объектов систем промышленной автоматизации: натуралистическая и деятельностная.

Основу натуралистической точки зрения составляет предположение о том, что человеку в ходе реализации его деятельности противостоят независимые от нее объекты окружающего мира. Человек и объекты вступают в определенные отношения, взаимодействуют друг с другом. Объекты познаются человеком посредством изучения этих взаимоотношений.

Деятельностная точка зрения оппозиционна натуралистической и опирается на предположение о том, что любые объекты окружающего мира познаются человеком в ходе реализации им социально значимой деятельности. В ходе реализации деятельности происходит «захват» и ассимиляция материи с целью создания сущностных образов объектов с присущими им свойствами и отношениями.

В системах промышленной автоматизации сосуществуют обе точки зрения. В ходе создания технических средств систем превалирует натуралистическая точка зрения. Вторая, деятельностная, точка зрения служит основой для представления поведения как объектов, так и систем в целом.

Производственная деятельность важна для любых машиностроительных предприятий, но особую значимость она приобретает для предприятий, производящих высокотехнологичные и наукоемкие изделия. К таким изделиям относятся изделия авиационной, ракетной и космической техники.

В настоящее время отечественная ракетно-космическая промышленность России вступила в жесткую конкурентную борьбу с зарубежными поставщиками космических услуг (европейская Ariane, американская Space X и др.). Для нее особую актуальность приобрела задача сохранения традиционно высоких показателей результативности изделий при существенном повышении показателей эффективности производства этих изделий.

Настоящая работа направлена на решение задач обеспечения эффективности производственной деятельности предприятий и сокращение времени их реакции на изменяющиеся запросы не только рынка, но и отдельных потребителей космических услуг.

Автор исходит из того предположения, что решение поставленной задачи возможно только посредством изучения и формального представления отечественного опыта разработки и производства высокотехнологичных изделий с последующим обогащением его достижениями лучших мировых практик аналогичного назначения. В результате должны быть сформированы основы актуальной для российских предприятий практики реализации их деятельности.

Научная новизна работы заключается в разработке методики реализации деятельности машиностроительных предприятий, которая гарантирует достижение установленных показателей результативности и эффективности деятельности предприятия.

Практическая значимость разрабатываемой практики заключается в создании условий для устойчивого роста конкурентоспособности российских предприятий на основе согласованной реализации процессов разработки изделий и систем их производства, а также совершенствования организации и управления процессами производства изделий.

Объект исследования. Производственная деятельность машиностроительных предприятий как составная часть жизненного цикла высокотехнологичных и наукоемких изделий.

Предмет исследования. Отношения и взаимовлияния свойств изделий и процессов их производства, логическая схема процесса параллельного проектирования изделий и систем их производства.

Цель исследования. Разработка методики конструкторско-технологического проектирования изделий, организации и управления системами их производства в условиях действия активных ограничений на выходные результаты деятельности предприятий ракетно-космической промышленности.

Задачи исследования:

1. Разработка процесса параллельного проектирования изделий и систем их производства в целях сокращения времени реакции предприятия на текущие запросы потребителей;
2. Разработка процесса проектирования производственной системы предприятия в целях обеспечения заданной ее производственной мощности и производительности;
3. Разработка модели управления конфигурацией производственной системы предприятия, необходимой для выполнения конкретного контракта или совокупности одновременно выполняемых разных (в том числе и разностартовых) контрактов;
4. Экспериментальная проверка достоверности результатов исследования.

Методы исследования. Системный анализ производственной деятельности предприятия, представление видов деятельности предприятия в форме процессных описаний, статическое и динамическое (имитационное) моделирование производственной деятельности предприятия и его организаций, компьютерные эксперименты с моделями производственной деятельности.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- Предложена гипотеза наследования свойств объектов, образующих последовательность «Изделие – Технология – Производство». На основе этой гипотезы разработана полиструктурная модель и онтологии производственной деятельности предприятия;
- Разработана логическая схема построения процесса параллельной разработки изделий, организации и управления системами их производства. В основу методики положены результаты обобщения отечественных практик конструкторско-технологического проектирования изделий и организации производственных систем, которые были дополнены ключевыми положениями лучших практик управления производством;
- Разработана методика совершенствования процессов инновационной и операционной деятельности организаций предприятия в целях роста эффективности предприятия;
- Разработаны модели статического и динамического представлений производственных систем предприятий.

Практическая значимость результатов работы:

Результаты исследования позволяют:

- Проводить оценку последствий решений, направленных на развитие производственной деятельности предприятия, по результатам экспериментов с предложенными в работе моделями этой деятельности;
- Установить и обосновать требования к конструкторско-технологическим решениям изделий с точки зрения их влияния на эффективность производства и деятельность предприятия в целом.
- Управлять контрактными конфигурациями изделий и систем их производства по результатам экспериментов с моделями производственной деятельности предприятия.
- Сократить длительность цикла построения математической модели производственной системы за счет предварительного отбора вариантов

конфигураций конструкции «Изделие – Технология – Производство» на этапе статического моделирования производственной системы.

– Повысить достоверность результатов имитационных экспериментов за счет верификации и валидации разработанной математической модели посредством оценивания соответствия экспериментальных результатов и данных статического моделирования. Использование процедур верификации и валидации на ранних этапах разработки решений позволяет также существенно сократить сроки выполнения работ по моделированию.

Достоверность полученных результатов подтверждена посредством выполнения компьютерных экспериментов с моделями производственной деятельности предприятия. Планы экспериментов были разработаны для решения типичных задач проектирования изделий, организации и управления производственной системой предприятия. Задачи рассматривались в контекстах четырех примеров, относящихся к различным аспектам жизненного цикла как изделий, так и производственных систем.

Высокую степень достоверности подтверждает в том числе:

– совпадение результатов, полученных в ходе постановки экспериментов на имитационной модели основного производства с результатами расчета по аналитическим зависимостям, а также совпадение результатов полученных с использованием разных парадигм моделирования (дискретно-событийного и агентного), т.е. результатов, полученных разными методами;

– факт корреляции результатов экспериментальных исследований на основе моделирования вариантов конструкторско-технологических решений и данных по эффективности их реализации на производстве. Данные получены в рамках проведения работ по заказам предприятий авиационно-космической и других отраслей промышленности.

На защиту выносятся:

– Полиструктурная модель и онтологии производственной деятельности предприятия;

- Логическая схема процесса параллельной разработки изделий, организации и управления системами их производства;
- Методика совершенствования инновационной и операционной деятельности организаций предприятия в целях повышения эффективности предприятия;
- Модели статического и динамического представлений производственной системы предприятия.

Личный вклад автора работы. Все результаты работы получены в ходе выполнения исследований, выполненных лично автором.

Апробация результатов работы. Результаты работы и основные положения диссертации докладывались: на III Научно-практической конференции молодых ученых и молодых специалистов авиационно-космической промышленности – 2005 Сухого «Исследования и перспективные разработки в авиационной промышленности», по итогам которой доклад стал победителем в секции «Экономика, управление предприятием, проектами и персоналом в авиационной отрасли» в номинации «За наиболее значимый научный доклад», по материалам работы опубликована статья *«Сетевые графики – инструмент исследования издержек производства»* в сборнике конференции «Статьи и материалы конференции» (Москва, 2005), [1]; на 11-й Международной конференции «Авиация и космонавтика – 2012», доклад *«Автоматизация проектирования производственных потоков на предприятиях аэрокосмической промышленности»* – победитель в секции «Прочность, технология производства, испытания и эксплуатация пилотируемых и беспилотных аэрокосмических систем» [2]; на 14-м Международном научно-техническом семинаре «Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте» (г. Свалява, Украина, 2014 г.), [3]; в рамках проведения Международной недели авиакосмических технологий «Aerospace Science Week»: 13-ой Международной конференции «Авиация и космонавтика - 2014» и 6-ого Межотраслевого конкурса научно-технических работ и проектов «Молодежь и будущее авиации и космонавтики» (Москва, 2014), [4]; на 7-й всероссийской научно-практической конференции по

имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (Москва, 2015) [5].

Основные положения и результаты работы **опубликованы** в 15 печатных работах [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15] в том числе 6 работ в рецензируемых журналах и входящих в рекомендованный ВАК Минобрнауки РФ перечень изданий [9], [10], [11], [12], [13], [14].

Внедрение результатов работы. Разработанные методики и модели использованы при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ:

- Выявление и сравнительный анализ приемов управления стоимостью качества изделия «Жаровая труба» и ритмом его внутренних поставок;
- Анализ производственной системы оборонного завода г. Тулы и разработка организационно – технических предложений по повышению эффективности ее функционирования;
- Разработка эскизного проекта «Механизмы валидации и верификации результатов технологического и организационно-технического проектирования машиностроительного завода в г. Нижний Новгород и ракетного завода в г. Киров;
- Разработка математической модели производственной системы ОАО «Криогенмаш», г. Балашиха;
- Исследование организационно-технических решений в обеспечении производственной программы ремонта и модернизации ЛА на ОАО «Туполев».

При выполнении работ методики и модели показали свою работоспособность и эффективность и внедрены в деятельность ПАО «Криогенмаш».

Сравнение программных средств реализации обеспечения осуществлено в рамках опытно-конструкторской разработки, содержание которой отражено в научно-исследовательском отчете по договору № 42820-06060, Москва, 2012 [16].

Структура работы. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 132 наименований и приложений.

Основное содержание работы.

Во введении обоснована актуальность темы исследования. Обозначены предмет и объект исследования. Приведены сведения по научной новизне работы, практической значимости, ее апробации и внедрению, личному вкладу автора. Сформулированы положения, выносимые на защиту.

Глава 1 посвящена анализу состояния проблемы сопутствующей разработки изделия и системы его производства. Проведен анализ методик разработки изделия в контексте его жизненного цикла и методик организации и управления производственными системами российских предприятий ракетно-космической промышленности. Рассмотрены вопросы моделирования сопряженных видов деятельности. По результатам анализа уточнены цель и задачи исследования.

В Главе 2 рассмотрена модель эффективной производственной деятельности предприятия. Для ее описания разработаны онтологии производственной деятельности, с помощью которых построена модель упорядочения взаимодействий организаций предприятия, ориентированных на обеспечение установленных уровней его эффективности.

Более детальной проработке подвергнута ключевая организация предприятия – основное производство, разработана ее модель, отражающая внутреннюю структуру и механизмы взаимодействия ее элементов.

Глава 3 посвящена определению взаимодействия видов деятельности, выполняемых на стадиях «Разработка» и «Производство» жизненного цикла изделия, а также разработке прагматических моделей для их описания. В этой связи рассмотрено функциональное представление прагматической конструкции (конструкция, как модель – в соответствии с ГОСТ Р ИСО 19439-2008) «Изделие – Технология – Производство».

На основании предложенных ранее онтологий производственной деятельности уточнены сущности (концепты) конструкции «Изделие – Технология – Производство» с использованием онтологического и объектно-ориентированного подходов, выделены необходимые атрибуты (свойства) концептов.

Разработано алгоритмическое и процедурное обеспечение конструкции «Изделие – Технология – Производство» дискретного машиностроения. Приведены способы оценивания работоспособности и чувствительности модели конструкции.

В Главе 4 конструкция «Изделие – Технология – Производство» подвергнута экспериментальному исследованию. Методикой проведения экспериментальных исследований предусмотрено четыре примера для исследования работоспособности разработанных методик и прагматических моделей и один пример – для исследования программно-информационного комплекса реализации моделей и методик.

Примерами охвачены задачи: разработки и модернизации изделий; аудита существующих производственных систем; планового совершенствования производственной деятельности предприятия; аудита ремонтного производства.

Рассмотрены возможные показатели и критерии решения задач, а также возможные модели принятия решений при оценивании эффективности производственной деятельности предприятия в зависимости от конструкторско-технологических решений по изделию. Приведен подход по оценке экономического эффекта от применения разработанных методик и моделей.

В заключении подведены итоги, представлены основные результаты по исследованию, а также сформулированы направления дальнейшего развития работы.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ СОПУТСТВУЮЩЕЙ РАЗРАБОТКИ ИЗДЕЛИЯ И СИСТЕМЫ ЕГО ПРОИЗВОДСТВА

Анализ отечественного опыта разработки изделий выполнен с точки зрения управления затратами на реализацию стадий «Разработка» и «Производство» жизненного цикла изделий (продукции). Цель управления – максимально полное сокращение затрат без нанесения ущерба качеству изделия. Основным инструментом управления – наиболее полное согласование характеристик разрабатываемого изделия техническим и организационным возможностям системы производства изделий.

Необходимость такого управления всегда была в центре внимания процессов разработки изделия.

Анализ работ по теме настоящего исследования в области разработки изделий, систем их производств, эффективности деятельности предприятий позволяет все их множество условно классифицировать по следующим группам:

- Работы, посвященные проектированию изделий [34-45];
- Работы, посвященные проектированию производственных систем предприятий и предприятий в целом [17], [18];
- Работы, посвященные повышению эффективности производственных систем, созданию бережливого производства и устранению потерь на производстве [19], [20], [21], [22].

Каждой из групп работ соответствует вполне сложившийся специализированный вид инженерной деятельности с присущими ему методиками решения характерных задач. Методики обеспечивают возможность получения наилучшего результата.

Однако качество достигаемого результата часто оказывается недостаточным из-за ограниченного уровня интеграции процессов разработки и производства изделий. Так, исторически разработка целевых объектов «изделие» и «производство» первых двух выделенных групп работ осуществлялась независимо (рисунок 1, диаграмма рисунка 1 поделена на девять зон: три зоны по горизонтали

и три по вертикали: зона предметной области; соответствующая ей зона определяющей ее сущности; и связанная с ней зона соответствующей системы автоматизации). Таким же образом развивались информационные системы поддержки соответствующих процессов: системы PDM и ERP.

Устранить этот недостаток возможно посредством наиболее полного использования концепции Жизненного Цикла Продукции (ЖЦП), которая рассматривает все стадии как равноправные части одного целого.

Выходные результаты предшествующих стадий (стадий поставщиков своего выходного результата) подлежат анализу с точки зрения их пригодности для использования последующими стадиями (стадии-потребители выходного результата предшествующей стадии). Цель анализа заключается в поиске наилучшего баланса между выходными результатами рассматриваемых стадий для достижения наилучшего общего результата [23].

Полноразмерная реализации концепции ЖЦП возможна только посредством анализа взаимодействий между стадиями цикла методами компьютерного моделирования [24], [25].

Поэтому перечисленные ранее группы работ были подвергнуты анализу с точки зрения их соответствия концепции ЖЦП и пользы с точки зрения построения моделей, пригодных для выполнения с ними компьютерных экспериментов.

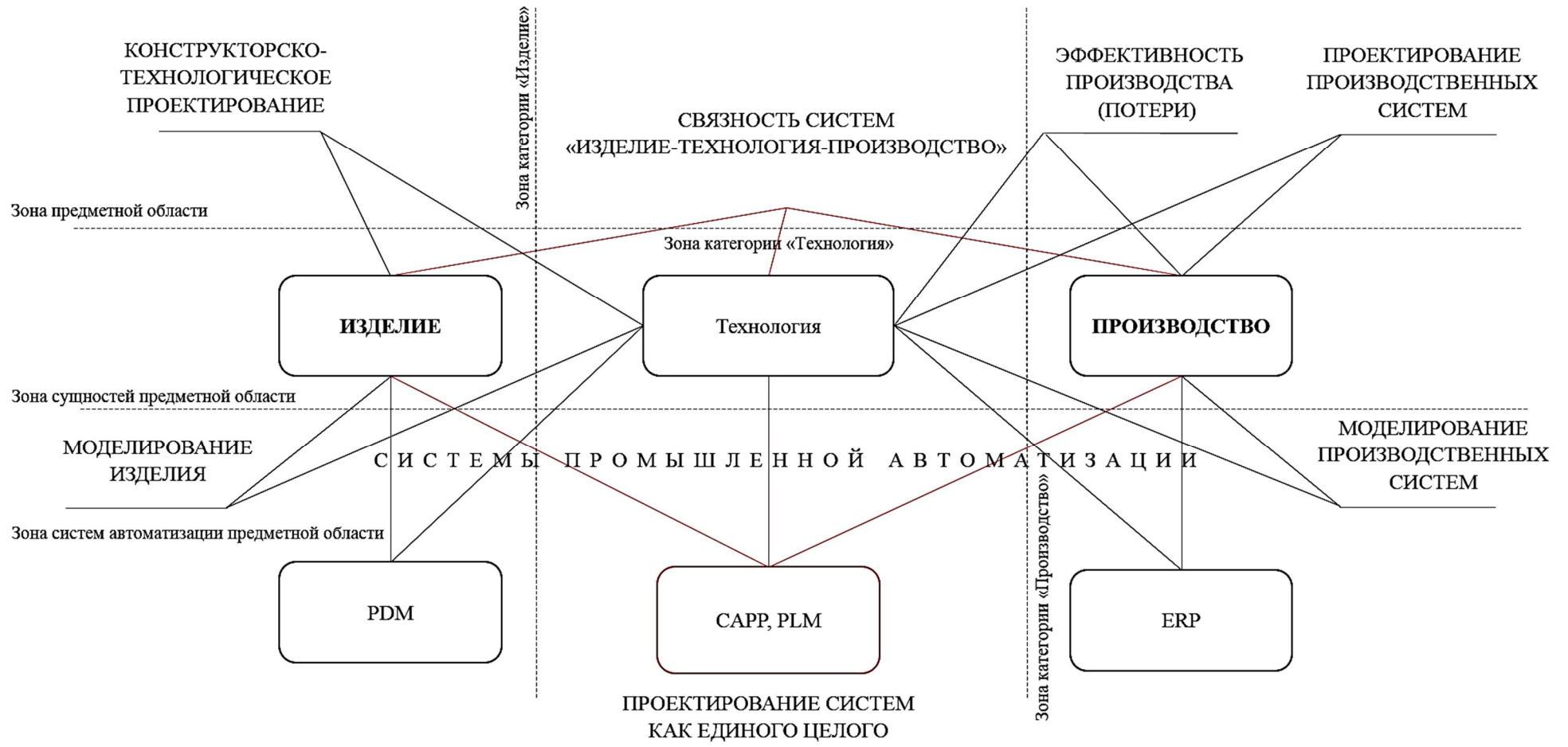


Рисунок 1 – К характеристике темы и состояния вопроса исследования

1.1. Анализ методик разработки изделия в контексте его жизненного цикла

Жизненный Цикл Продукции (ЖЦП) представляет собой совокупность взаимосвязанных процессов определения и последовательного изменения состояния продукции, начиная от формирования исходных требований к ней, и завершая эксплуатацией и/или потреблением продукции, а затем ее утилизацией [26]. Под процессом понимается совокупность взаимосвязанных или взаимодействующих видов деятельности, преобразующих входы в выходы [27]. По своей сути ЖЦП представляет модель той области действительности, которая соответствует существованию на рынке определенной общественной потребности, в ходе удовлетворения которой используется техническое средство – изделие.

ЖЦП принято делить на последовательно реализуемые стадии, стадии на этапы и т.д. вплоть до достижения уровня тех элементов ЖЦП, которые признаются условно неделимыми. Число уровней декомпозиции цикла не ограничено, а количество уровней декомпозиции для разных стадий может быть различным. В дальнейшем рассматриваются три стадии: разработка, производство, эксплуатация изделия. Изделия рассматриваются как объекты или вещества, которые могут быть получены естественным или искусственным путем [28].

Удовлетворение потребности осуществляется рядом заинтересованных лиц посредством реализации ими присущих им видов деятельности. Это физические и юридические лица, которые по ходу удовлетворения потребности участвуют в создании добавленной стоимости, и заинтересованы в удовлетворении потребности [29]. Состав заинтересованных сторон различен для различных потребностей, интересы сторон могут противоречить друг другу и меняться во времени.

К числу заинтересованных сторон относят потребителей изделия, владельцев/акционеров тех предприятий, которые вовлечены в удовлетворение потребности, работников предприятий, их поставщиков и агентов, общество в целом. Стороны стремятся получить наилучший и удовлетворяющий всех их результат. Для части из них этот результат может не соответствовать

представлению каждой из них о наилучшем результате. В этих условиях конструкцию изделия рассматривают как результат компромисса, достигнутого всеми заинтересованными сторонами.

Мерой такого компромисса выступает стоимость ЖЦП. Это сумма приведенных к расчетному периоду компонентов: доля цены изделия, стоимость его транспортировки и монтажа, затраты на эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонты (поддержание в работоспособном состоянии) в период использования по назначению, затраты на утилизацию в конце срока службы [30].

Стоимость ЖЦП представляет собой аддитивную функцию компонентов стоимости, каждый из которых можно рассматривать как затраты соответствующей заинтересованной стороны на реализацию своего вида деятельности. Каждый из компонентов стоимости подвергают управлению с целью минимизации как самого компонента, так и всей стоимости ЖЦП. Например, в работе [31] наименьшей предложено считать ту стоимость ЖЦП, которой соответствует минимум потерь общества на удовлетворение общественной потребности.

На пространстве ЖЦП тот вид деятельности, который присущ каждой из заинтересованных сторон интерпретируется как частная сеть процессов. Выход сети – результаты процессов соответствующей стадии, каждому из которых присущи определенные уровни качества и компонента стоимости. Частные сети посредством процессов их координации объединяют в общую сеть, выходом которой служит результат скоординированной реализации частных сетей.

На практике чаще всего используют два механизма координации: прямой контроль и взаимное согласование [32]. Прямой контроль подразумевает внешнее управление по отношению к частной сети процессов, взаимное согласование основано на неформальных коммуникациях владельцев взаимодействующих частных сетей.

Любую сеть процессов можно анализировать с разных точек зрения, каждой из которых соответствует свой аспект представления сети. Сеть процессов разработки изделия чаще всего рассматривают с двух точек зрения: физико-

технических основ построения выхода сети и организации самой сети. Первой из них соответствуют наилучшие характеристики разрабатываемого изделия, второй – наилучшей организации процесса для достижения искомого результата.

Общий и получающий все большее распространение подход к организации процессов разработки любых объектов предложен в работе [33]. Главная особенность подхода заключается в том, что процесс разработки направляется вариантами использования разрабатываемого объекта. Число вариантов использования не ограничено, а каждый из них рассматривается как набор последовательно выполняемых над объектом или же с его использованием действий, которые приводят к требуемому или ожидаемому потребителем результату.

С точки зрения результата общей сети процессов ЖЦП, вариантами использования изделия следует считать все три рассматриваемые стадии ЖЦП: разработка, производство и эксплуатация. При этом процессы координации охватывают все три пары взаимодействий стадий.

Методики разработки машиностроительных изделий

Методики разработки машиностроительных изделий [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41], [42], [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50], [51] рассматриваются с точки зрения организации процесса разработки изделия и с учетом влияния на его выход двух вариантов использования: производства изделия и эксплуатации изделия (виды изделий – по ГОСТ 2.101-68 [52]). Вместе с этим принято во внимание, что запросы варианта использования изделия выполняются посредством обеспечения установленного уровня качества изделия. Основные положения этих методик можно представить следующим образом.

М.1. Роль контекстов процесса разработки изделия отводится вариантам его использования.

Варианты объединяют в две группы: эксплуатация/потребление изделия и производство изделия. Процесс разработки изделия рассматривается как целенаправленная организация системы связей, взаимное действие которых

обеспечивает желаемый результат: проект изделия, обладающего набором свойств, способным удовлетворить запросы всех рассматриваемых вариантов использования.

Под связью понимается взаимообусловленность существования объектов и/или явлений, разделенных в пространстве и времени. Связи определяют такие отношения между объектами, при которых факты наличие/отсутствие или изменение свойств одного из них рассматриваются как условия сопутствующего изменения другого. Роль объектов могут выполнять как изделия, так и процессы их разработки.

М.2. Множество задач разработки изделия разделяют на два подмножества: прямые и обратные.

В прямой задаче (проектной) значение функции связи задается условиями принятия проектного решения. Результата решения – те значения аргументов, которые удовлетворяют заданному значению функции.

Проектная задача имеет множество возможных решений, и единственный путь ее решения – подбор значений аргументов. Для сокращения числа возможных решений широко используют нормативы и/или правила выбора значений аргументов. Их разрабатывают с использованием методик унификации и типизации изделия и его элементов; часто объекты-изделия связывают с объектами-процессами их разработки, изготовления и эксплуатации.

Цель решения обратной задачи – определение значения функции связи по заданным в условии решения задачи аргументам. Такие задачи принято именовать поверочными задачами.

Они сопутствуют проектным задачам и используются для оценивания правильности проектного решения и/или ожидаемых результатов от практического использования решения проектной задачи.

М.3. Процесс разработки изделия принято делить на внешнее и внутреннее проектирование.

Цель внешнего проектирования заключается в учете условий, необходимых для удовлетворения запросов и ожиданий вариантов использования изделия. Для этого устанавливают состав технических характеристик изделия и разрабатывают требования к каждой из них.

Внутреннее проектирование заключается в формировании целостного представления об изделии, а затем в декомпозиции изделия на составные части и решении проектной задачи в отношении каждой из них. Характеристики составных частей должны гарантировать характеристики изделия в целом.

Таким образом, процесс разработки изделия рассматривается как последовательный переход от той системы связей, посредством которой изделие реализует свое взаимодействие с внешним окружением, к системе связей, определяющих его конструкцию.

М.4. Процесс разработки разделяют на стадии: техническое предложение; эскизный проект; технический проект; рабочая документация (ГОСТ 2.103-68).

Процессы внешнего проектирования реализуются на стадиях разработки технического предложения и частично в ходе эскизного проектирования. Остальные стадии реализуют процессы внутреннего проектирования. Содержательную часть и внешнего и внутреннего проектирования определяет необходимая комбинация прямых и обратных задач проектирования.

На выходах каждой из стадий получают соответствующие комплекты конструкторских документов. Эскизное и техническое проектирование завершается изготовлением и испытаниями опытных образцов изделия и/или его составных частей, разработка рабочей документации – опытной партии изделий. По результатам испытаний конструкторские документы корректируют с последующим присвоением документам соответствующей литеры.

Для изготовления опытных образцов изделий/их составных частей разрабатывают комплекты технологических документов. Их используют в качестве справочной информации в ходе разработки рабочих (серийных) технологических

документов. Опытную партию изделий производят с использованием рабочих (серийных) технологических документов.

М.5. Во всех методиках рекомендован вариантный подход к разработке изделия.

В ходе решения проектной задачи разрабатывают несколько вариантов конструкции изделия, каждый из которых обеспечивает достижение установленного уровня его качества.

Обратную задачу используют для анализа и ранжирования вариантов изделия с точки зрения достижения наилучших результатов. Анализ выполняется для всех вариантов использования изделия.

Решение о выборе предпочтительного варианта изделия принимается совместно владельцами процессов разработки изделия и вариантов его использования.

М.6. Между конструкцией изделия и вариантами его использования реализуется система прямых и обратных связей.

По каналам прямых связей поступают результаты разработки изделия, относящиеся к конкретному варианту его использования. Они имеют характер требований к организации процессов варианта.

По каналам обратных связей поступает информация о наличии рассогласований между требованиями проекта изделия и возможностями варианта его использования. Объективная особенность такой информации – наличие запаздываний относительно времени ее использования в ходе разработки изделия. Рассогласования подлежат устранению в ходе достижения компромисса между конструкцией изделия и каждым из вариантов его использования. Для этого в рассмотренных методиках используют механизм взаимного согласования [32], цикл реализации которого достаточно продолжителен.

М.7. В ходе разработки изделия стремятся обеспечить его наименьшую стоимость. Решают задачу двумя способами:

- посредством использования моделей потребления/эксплуатации и производства изделия в качестве ограничений для процессов разработки изделия;
- прямых оценок компонентов стоимости ЖЦП как функций технических характеристик изделия.

М.8. В ходе внутреннего проектирования роль обратной задачи часто замещается системой правил обеспечения эксплуатационной и производственной технологичности [53].

Правила используют как ограничения в ходе решения проектных задач для всех составных частей изделия в ходе процессов организации и управления технологической подготовкой производства. Процессы регламентированы группой национальных стандартов, объединенных в Единую Систему Технологической Подготовки Производства (ЕСТПП) [54], [55], [56]. Цель Технологической Подготовки Производства (ТПП) заключается в обеспечении технологической готовности предприятия к выпуску заданного объема продукции с установленными технико-экономическими показателями (обычно это уровни трудоемкости T и технологической себестоимости C_T) [53]. Готовность подразумевает наличие на предприятии-производителе полных комплектов конструкторской и технологической документации, необходимых средств технологического оснащения.

М.9. Отечественный опыт разработки, производства и эксплуатации.

Отечественный опыт разработки, производства и эксплуатации сложной и высокотехнологичной продукции обобщен на государственном уровне и закреплён в национальных стандартах. Стандарты объединены в Систему Разработки и постановки Продукции на Производство (СРПП) [26].

В настоящее время сложились три направления развития практики СРПП:

- Совершенствование стандартов организации и управления технологической подготовкой производства;

- Развитие приемов координации работ, выполняемых в рамках СРПП;
- Разработка и практическое использование технико-экономических моделей показателей вариантов использования изделия.

Результаты рассмотрения методик.

Р.1. Преимущества методик.

Общее достоинство рассмотренных методик разработки изделия состоит в высоком уровне их практической апробации и гарантии достижения наперед заданного качества изделия.

Р.2. Недостатки методик.

Недостатком является невысокая эффективность методик, мера которой – уровень издержек на обеспечение качества разрабатываемого изделия. Существенная часть этих издержек расходуется на согласование конструкции изделия и вариантов его использования.

Например, в тех случаях, когда разработка и производство изделия выполняются разными предприятиями, для взаимного согласования конструкторских документов организуют особый вид работ – Серийные Конструкторские Работы (СКР), которые выполняет предприятие-изготовитель под надзором предприятия-разработчика изделия.

Цель СКР заключается в «приспособлении» конструкции изделия к условиям его производства на предприятии-изготовителе изделия. Хотя, по определению, эти работы не должны наносить ущерба качеству изделия, на практике отмечались случаи потери качества в угоду снижению издержек производства.

Можно выделить две причины появления избыточных издержек на поиск компромисса между конструкцией изделия и вариантами его использования:

Во-первых, низкая эффективность использования моделей потребления/эксплуатации и производства изделия в интересах обеспечения заданного уровня компонентов стоимости ЖЦП из-за трудности согласования в одной модели запросов и ожиданий всех вариантов использования изделия. Более продуктивным представляется использование моделей каждого из вариантов

использования изделия. В этом случае возможна разработка ориентированных на один или несколько сопрягаемых друг с другом вариантов изделия опций изделия.

Во-вторых, прямое оценивание компонентов стоимости ЖЦП не обеспечивает существенного улучшения результатов разработки изделия, поскольку используемые для этого модели имеют статистическую природу. Они фиксируют прошлый опыт разработки изделий аналогичного или близкого назначения. Адаптация этих моделей к текущим условиям применения требует их существенной доработки без гарантии достоверности получаемых оценок. Кроме того, адаптация сама по себе ведет к росту рассматриваемых издержек.

Так, например, в отечественной практике машиностроения предпринято множество попыток использования технико-экономических моделей для оценивания базовых (основных) и частных (дополнительных) показателей технологичности [57], [53]. При этом общая логика моделей сводилась к следующему:

- Используя в качестве аргументов значения технических характеристик финального изделия или его компонентов, искомый показатель технологичности оценить как функцию этих аргументов [58].

Модели строились посредством выявления и количественного оценивания статистических связей между аргументами и искомой функцией. Предпринимались попытки учесть зависимость функции от уровня освоения производства продукции, уровня унификации элементов изделия и/или его компонентов и пр. Многочисленные примеры такого подхода можно проследить в работах [59], [60], [61], [62] и др.

Отдельно стоит отметить попытки решить такую задачу с помощью эвристических приемов методами инженерного творчества ТРИЗ (теории решения изобретательских задач) [63].

Каждая из моделей имела ограниченную область адекватного использования. Фактически каждый из авторов модели создавал ее для своих собственных нужд.

Любые попытки расширения этой области влекли за собой разработку практически новой модели.

Таким образом, разработанные модели оказывались полезными в весьма ограниченных областях применения. Была продемонстрирована возможность их использования при формировании качественных оценок технологичности. Однако использовать их в полной мере в процессах разработки продукции не представляется возможным. Это обусловлено основными причинами:

- Во всех перечисленных работах использован математико-аналитический путь решения задачи;
- В выше перечисленных работах авторов устанавливаются связи между свойствами, параметрами, признаками моделируемых объектов (например: изделие, технологический процесс, элемент производственной системы и т.п.), но не между самими объектами.
- Характерной чертой всех работ и НТД по оценке влияния конструктивно-технических решений на показатели и критерии эффективности производства и как следствие стоимости выпускаемых изделий является то, что они все базируются (базировались) на результатах математического моделирования с использованием эмпирических зависимостей, которые были синтезированы на основе обработки и анализа массивов статистических данных ранее созданных конструкций.

В работе [64] на примере моделирования производственных процессов и процессов управления производством машиностроительного завода показано, что для сложных объектов экспериментальные методы отработки проектных решений на имитационных моделях имеют серьезное преимущество по сравнению с математико-аналитическими моделями. В настоящее время такие имитационные модели с успехом применяются для исследования производственных процессов в различных отраслях промышленности [65], [12].

Однако такие модели имеют недостатки, которые обусловлены локальным их применением:

- Решения пригодны лишь для частных случаев их конкретной реализации. В каждом случае реализуется уникальный механизм формализации задачи, в то время как сам механизм является продуктом творческого, неформализованного труда;
- Разработка таких моделей требует высокой степени квалификации специалистов по технологии имитационного моделирования. Поэтому разработчик Конструкторско-Технологических Решений (КТР) должен взаимодействовать с разработчиками имитационных моделей;
- Существует проблема соответствия данных разработчика КТР и данных, используемых в имитационной модели. Неформальный механизм установления такого соответствия приводит к тому, что при изменении структуры данных о КТР, имитационную модель нужно переделывать заново;
- Процесс разработки является достаточно трудоемким и дорогостоящим.

Данного недостатка лишены модели, используемые в информационных системах класса PLM:

Dassault Systemes, DELMIA [66];

Siemens, Teamcenter Manufacturing [67].

Значительных успехов от их использования удалось достичь на зарубежных автомобильных заводах, для которых характерен поточный метод производства. В России предприятия авиакосмической отрасли столкнулись с серьезными трудностями их внедрения. Актуальным стал вопрос о разработке модели предметной области рассматриваемых производственных систем.

Наиболее близкой отечественной работой, посвященной оценке КТР на основе моделирования этапов жизненного цикла изделия является работа [68].

В ней объекты предметной области моделируются одинаковыми средствами на уровнях теоретико-множественных, логических и количественных свойств и отношений. Такие модели имеют данные трех типов: данные об элементах объекта, о его свойствах, и данные об отношениях между элементами и свойствами объекта. Моделирование осуществляется на основе использования операций конъюнкции и дизъюнкции с контролем состояния свойств по булевым логическим переменным. Следует отметить, что уровень абстрагирования не ограничивается непосредственно самим объектом, но и распространяется на его составные части (поверхности, тела и т.д.). Основное внимание уделяется функции объектов, а не связям между ними. Связи интерпретируются через их свойства.

Такой подход не нашел распространения не столько по причине отсутствия соответствующих аппаратных средств моделирования, сколько по причине необходимости достаточного большого объема работ по формализации объектов моделирования. В этой части он уступает подходу, используемого в упомянутых зарубежных системах на основе объектно-ориентированного описания предметной области [66], [67].

Данный пример наглядно иллюстрирует, что при разработке моделей предметных областей должны учитываться особенности их реализации в программных системах.

В настоящее время получил распространение онтологический подход [69], [70], [71], [72] отличающийся тем, что внимание концентрируется прежде всего на самом объекте, а уже потом на его свойствах. С этой точки зрения он развивает объектно-ориентированный подход [73], который сконцентрирован на методах (функциях) объекта.

Р.3. Инструменты повышения эффективности методик.

Очевидна необходимость дополнения методик разработки изделия инструментами, позволяющими повысить эффективность процесса разработки изделия. Рассмотрим возможные способы уменьшения издержек на согласование конструкции изделия и вариантов его использования.

Качество проекта, а как следствие и эффективность процессов разработки изделия, можно существенно улучшить за счет реального учета потребностей рынка. Мера потребностей – запрашиваемые рынком уровни компонентов стоимости ЖЦП.

Общепризнанным инструментом учета запросов рынка выступает *управление процессом разработки изделия на основе целевых затрат* [74]. В отечественной практике такой процесс часто называют «проектированием под заданную стоимость».

Существо такого управления сводится к следующему:

- целевые затраты на поставку изделия потребителю определяют как разность между целевым образом устанавливаемой цены изделия (рыночная стоимость качества изделия) и желаемой прибылью производителя изделия;
- устанавливают долевые вклады составных частей изделия в уровень целевых затрат;
- достигаемые в ходе разработки изделия уровни затрат определяют с использованием инструментов управленческого учета [75];
- управление процессами разработки каждой из составных частей изделия строится таким образом, чтобы затраты на ее производство, а как следствие и цена изделия в целом, не превышали бы установленные значения. Выявленные в ходе реализации управления дополнительные источники уменьшения затрат, подлежат документированию. В тех случаях, когда уровень целевых затрат по объективным причинам не может быть достигнут, долевые вклады составных частей перераспределяют при условии сохранения целевых затрат на поставку изделия. При этом в расчет принимают обнаруженные ранее источники уменьшения затрат на производство всех составных частей.

В отечественных методиках разработки изделий в качестве меры затрат чаще всего используют себестоимость выполняемых работ. Реального эффекта от

рассматриваемого управления можно достичь только при условии соблюдения двух условий.

Во-первых, *отказаться от «процентного» подхода к оценке себестоимости в пользу прямой калькуляции затрат.* Во-вторых, *необходимо перейти от «ручного» способа расчета затрат к компьютерному.* В этом случае устраняется упрощение процедур оценивания и, как следствие, искажение оценок.

Для процедур оценивания целевых затрат характерны определенные погрешности, часто существенные. Поэтому нельзя исключить процедуры коррекции цены продукции в большую сторону. Такие процедуры должны быть существенно затруднены, а реализация их должна опираться на эффективный диалог между командой проекта разработки изделия и заказчиком этого проекта. Пример организации такого диалога содержит военный стандарт США [76].

Исключить издержки на взаимное согласование конструкции изделия и вариантов его использования невозможно. Реальный способ сокращения издержек – *увеличение скорости согласования при одновременном сокращении удельных величин издержек.* Такие возможности обеспечивает *параллельно-последовательная схема разработки изделия и варианта его использования* в интересах достижения общего результата (разрабатываемый таким образом объект называют системой «Изделие – Вариант его использования») Обоснование существования параллельно-последовательной схемы предложено в [77]; дальнейшее развитие схема получила в [78].

Основу схемы составляет ориентация на эффективное информационное взаимодействие двух процессов (рисунок 1.1.1). Процесс А рассматривается как процесс проектирования изделия, процесс В соответствует варианту использования проекта изделия (например, процессу производства изделия).

Место и содержание транспроцессной процедуры
 «Формирование облика» совместного решения процессов А и В

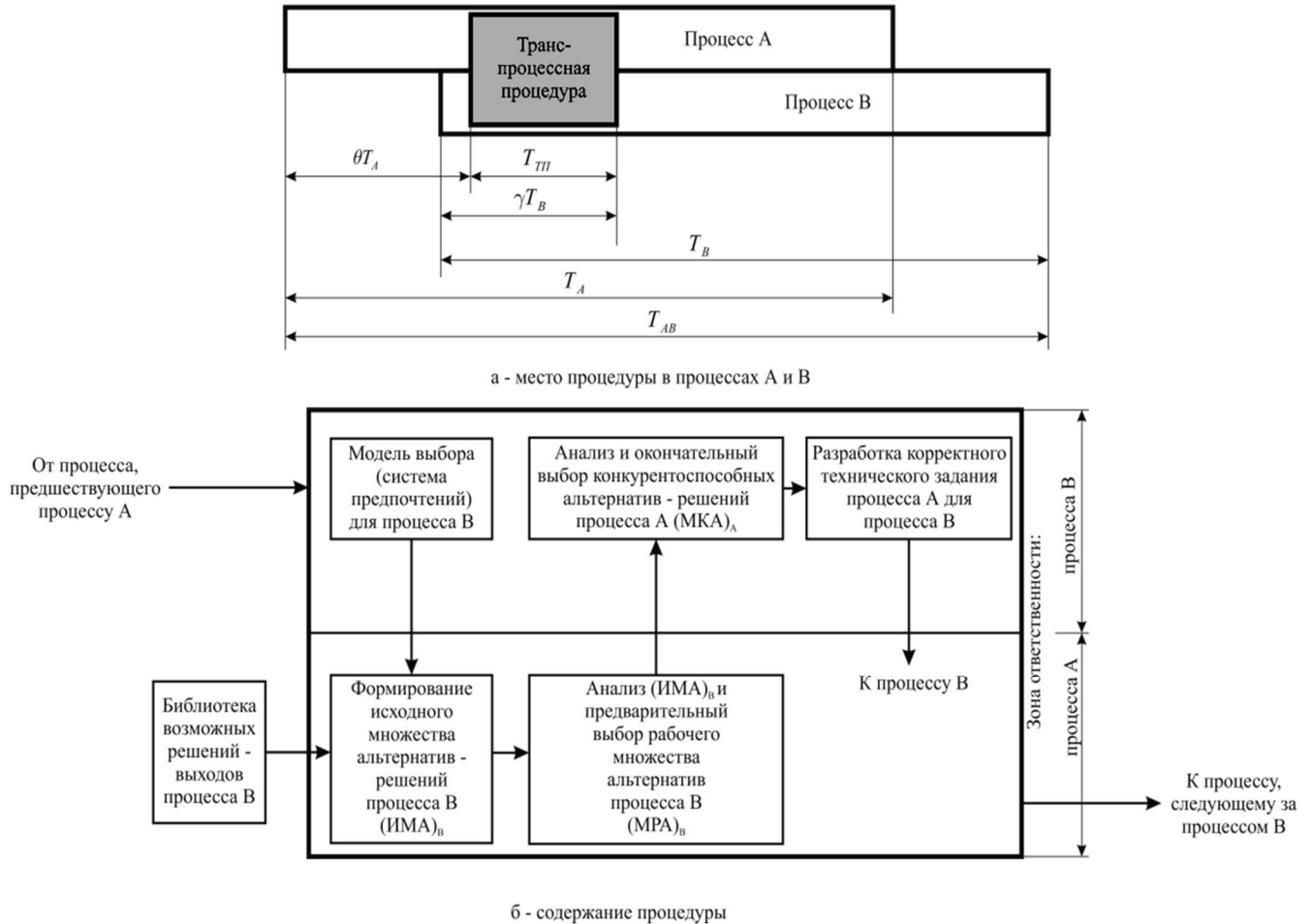


Рисунок 1.1.1 – Параллельно-последовательная схема формирования облика совместного решения

Практически взаимодействие процессов А и В организуется посредством учреждения транспроцессной процедуры «Формирование облика» (рисунок 1.1.1а), цель которой заключается в формировании прогнозного облика совместного решения процессов.

Основное назначение процедуры – взаимопроникновение процессов друг в друга. Таким образом реализуется процедура координации совместного функционирования процессов в интересах получения наилучшего совместного решения. Для этого используется механизм взаимного согласования выходов процессов А и В.

Для иллюстрации результата совместного функционирования процессов использовано широко известное в инженерной практике понятие наследственности.

Наследственностью называют явление прямого переноса или опосредованного отображения свойств, присущих одному объекту, на свойства и характеристики другого объекта [79]. Свойства и характеристики, присущие объекту-донору, с точки зрения объекта-реципиента могут оказаться как полезными, так и нежелательными.

Процесс взаимного согласования выходов ведущего и ведомого процессов должен быть организован таким образом, чтобы в максимально возможной степени сохранить желательные свойства обоих результатов, и минимизировать риски влияния друг на друга нежелательных свойств выходов обоих процессов.

Время, отводимое на выполнение процессов А и В, равно, соответственно, T_A и T_B , длительность совместного выполнения процессов $T_{AB} < T_A + T_B$. Процедура «Формирования облика» располагается в зоне взаимного перекрытия процессов А и В. Длительность процедуры составляет $T_{ТП}$, опережение начала процесса А относительно процедуры равно θT_A , а завершение процедуры запаздывает относительно начала процесса В - γT_B . Таким образом, риск увеличения совместной длительности процессов А и В минимален.

Содержание процедуры «Формирование облика» иллюстрировано на рисунке 1.1.1б.

Процесс А, исходя из своего видения совместного результата, разрабатывает систему предпочтений для формирования своего выхода. Процесс В, руководствуясь поступившей ему системой предпочтений, формирует Исходное Множество Альтернатив (ИМА)_В своего выхода. Оно посредством критического анализа сужается до Множества Конкурентоспособных Альтернатив (МКА)_В; далее множество передается процессу А для дальнейшего анализа. По результатам анализа (МКА)_В процесс А формирует окончательное Множество Рабочих Альтернатив (МРА)_А своего выхода и корректное техническое задание для

процесса В. Процесс В разрабатывает свой выход, опираясь на содержание множества $(MPA)_A$ и техническое задание.

В идеальном случае множество $(MPA)_A$ должно содержать единственную альтернативу, но оптимистичным следует считать вариант множества, включающего в себя 2 ... 3 элемента. Мощность этого множества может быть уменьшена посредством рекуррентного применения транспроцессной процедуры.

Выносимая за пределы параллельно-последовательной схемы часть транспроцессной процедуры получила название «Проекты разработки научно-технического задела». Результат любого из проектов – библиотека возможных решений для ведомого процесса. Тем самым создается информационная основа для совместной реализации процессов А и В.

В отечественной практике параллельно-последовательная схема организации инженерной деятельности получила широкое распространение в форме *процессов конструкторско-технологического проектирования продукции* [61], [62]. Цель этих процессов заключается в согласовании характеристик продукции и процессов их материализации в ходе изготовления изделия. Другими словами, цель согласования выходов взаимодействующих процессов сводится к обеспечения качества изделия.

Задача решается посредством принятия рациональных Конструкторско-Технологических Решений (КТР). КТР – это комплексное решение, предназначенное для использования в конкретном изделии (или семействе изделий), и содержащее значения (диапазоны значений) конструкторских характеристик изделия и рекомендуемый процесс его изготовления [80].

Наиболее полно практика конструкторско-технологического проектирования нашло отражение в методологии «Технологическое обеспечение создания продукции» [80], [81]. Рассмотрим его основные характерные черты.

1. Процессы технологического обеспечения охватывают широкий диапазон стадий жизненного цикла изделия, начиная от процессов анализа запросов рынка и заканчивая производством изделия.

2. Разработка изделия ориентирована на опережающее развитие научно-технических заделов, реализуемых в форме соответствующих фондов. Такой подход в полной мере соответствует рассмотренной ранее методологии параллельного инжиниринга.

3. Целями решения задач технологического обеспечения выступают конструкторско-технологические решения. Наличие фондов таких решений существенным образом сокращает длительность цикла конструкторско-технологического проектирования.

Параллельно-последовательная схема разработки продукции и/или процессов ее жизненного цикла подтвердила свои возможности обеспечения качества совместного результата взаимодействующими процессами. Она в полной мере соответствует мировой практике «параллельного инжиниринга» (participative design) [82], [83].

Параллельный инжиниринг представляет собой концепцию вовлечения всех организационных единиц предприятия в процесс разработки продукции и процессов ее жизненного цикла. Возможно вовлечение в процесс и поставщиков предприятия и потребителей его продукции. Цель организованного таким образом процесса заключается в увеличении ценности продукции за счет учета запросов и ожиданий всех заинтересованных сторон. Разработанная таким образом продукция обладает преимуществами с точки зрения обеспечения своевременной и адекватной реакции предприятия на запросы рынка при условии гарантированного обеспечения установленного уровня качества продукции и минимальных издержек на ее создание.

С точки зрения уменьшения издержек на разработку изделия важны объективность и своевременность уже упоминавшихся оценок правильности принимаемых проектных решений и ожидаемого эффекта от практического использования результата проектного решения.

В мировой практике машиностроения процесс получения таких оценок получил название *формального анализа проекта* [84]. Схема реализации процесса показана на рисунке 1.1.2.

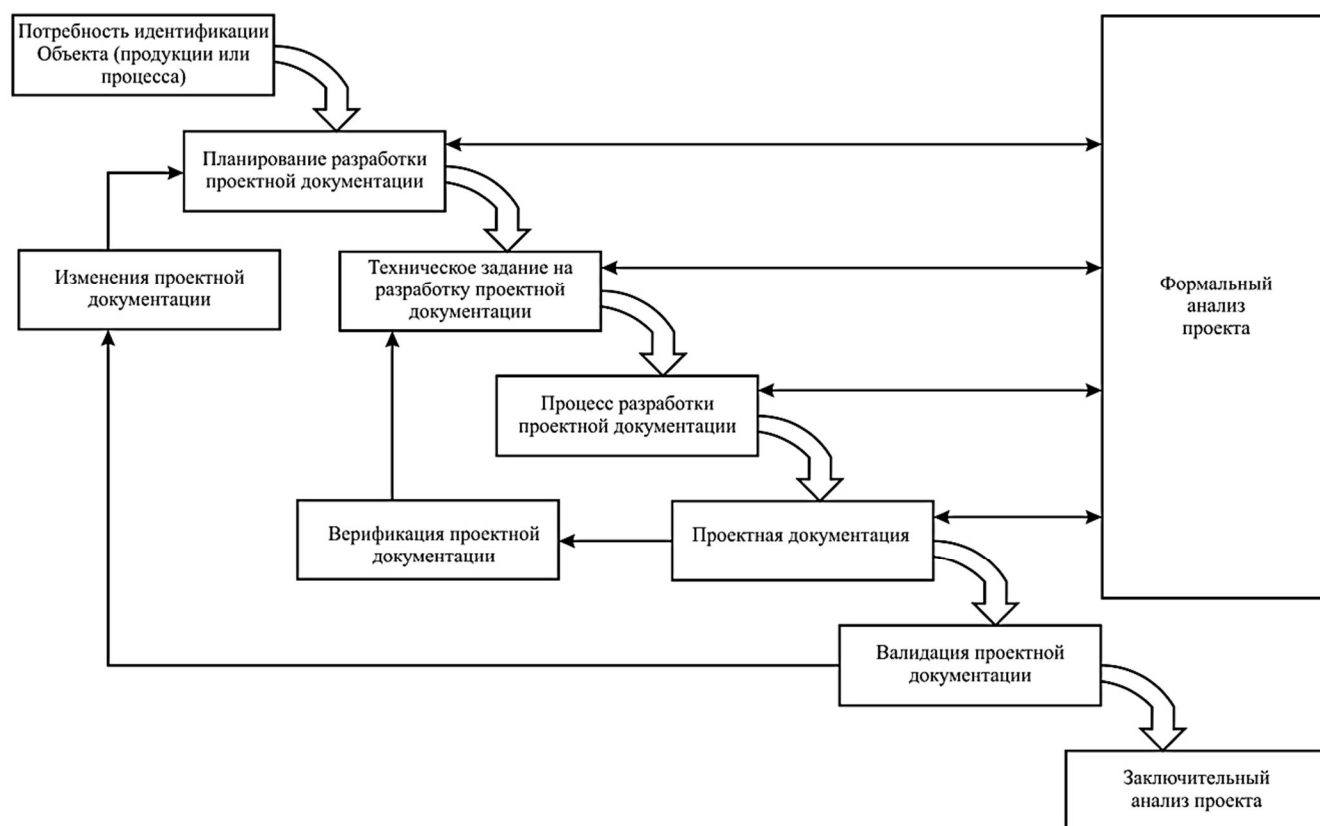


Рисунок 1.1.2 – Схема реализации процесса формального анализа проекта

Под формальным анализом проекта понимается формальная и независимая экспертиза существующего или предлагаемого проекта для обнаружения и исправления недостатков хода реализации проекта и характеристик результата проекта, а также выявления потенциальных возможностей для управления проектом и/или разрабатываемым объектом. Любые предложения/рекомендации, выдвигаемые в ходе выполнения экспертизы, должны быть выполнены или формально отклонены до завершения анализа проекта.

Ключевое место в формальном анализе проекта отведено процедурам верификации и валидации результатов проекта. В трактовке стандартов ИСО 9000 они определены следующим образом:

- Верификация – процедура экспертизы проекта для получения объективных свидетельств того, что установленные требования к выходу проекта были выполнены. Основу процедуры верификации составляет оценивание реальных значений характеристик конкретного объекта;
- Валидация – процедура экспертизы результатов проекта для получения объективных свидетельств того, что требования, предназначенные для конкретного применения выхода проекта, выполнены. Результаты валидации создают основу для придания законной силы возможности использования реального объекта в конкретных условиях применения.

Объектом экспертизы в практике параллельного инжиниринга чаще всего выступает проектная документация. Из [84] следует, что процедура верификации предшествует процедуре валидации, а в случае получения неудовлетворительного результата этой экспертизы корректируют техническое задание на проект. Если же результат экспертизы положителен, переходят к выполнению процедуры валидации, и в случае получения здесь неудовлетворительного результата корректируют проектную документацию.

Верификация проектной документации проводится в момент конкретного контрольного события проекта, т.е. тогда, когда документации присваивается статус «предмета поставки». Как правило, такое событие наступает в момент завершения каждого из этапов её разработки.

Валидация проектной документации используется для получения оценок того, что она способна отвечать условиям установленного или предполагаемого использования не только её, но и того объекта, создание которого она регламентирует. Процедуры валидации должны выполняться для всех возможных вариантов использования результатов проекта. Валидация должна быть завершена до поставки или применения выхода проекта, т.е. она должна выполняться в режиме «on line» по ходу выполнения проекта.

Результаты анализа методик разработки изделий сведены в таблицу 1.1.1.

Выводы по результатам анализа методик разработки изделий

п.1. Эффективность отечественных методик разработки изделий можно увеличить посредством дополнения их следующими инструментами:

- *Установления* допустимых целевых затрат на разработку изделия и его составных частей;
- *Параллельно-последовательной* схемы разработки конструкции изделия и сети каждого из вариантов его использования;
- *Формального* анализа проекта изделия с точки зрения пригодности последнего для каждого из вариантов использования. Процедуры валидации следует выполнять в режиме «on-line» с разработкой вариантов изделия. Решение о результатах валидации изделия должно приниматься по результатам моделирования каждого из вариантов использования изделия. Мерой пригодности изделия к использованию может служить достигаемая величина соответствующего компонента стоимости ЖЦП.

п.2. Перечисленные инструменты положительно зарекомендовали себя в мировой практике машиностроения. Они хорошо совместимы с отечественными методиками, поскольку в той или иной мере были апробированы в этих методиках.

п.3. Эффект от использования рассматриваемых инструментов будет тем больше, чем корректнее будут модели вариантов использования и чем реалистичнее будут планы экспериментов с ними. Поскольку эксперименты с моделями потребуют использования существенных объемов информации и выполнения больших объемов вычислений, модели должны быть ориентированы на компьютерную реализацию.

Таблица 1.1.1 – Результаты анализа практики разработки продукции и ее жизненного цикла

Модель деятельности		Разработка и постановка продукции на производство	
Форма существования		(закреплена на государственном уровне и содержится в стандартах СРПП)	
Недостатки практики		«–» Информация о практике производства и эксплуатации изделий поступает со значительным запаздыванием; «–» Низкий уровень ориентации на запросы и ожидания потребителей или клиентов; «–» По мере роста числа уровней иерархии существенным образом растет число организационных элементов структуры и, как следствие, число стыков между ними; «–» Узкая специализация организационных элементов требует использования высококвалифицированных специалистов;	
Предлагаемое решение		Отказ от функционального подхода к организации практики в пользу процессного подхода или же постепенной (пошаговой) трансформации практики в указанном направлении; Сущность процессного подхода к организации практики СРПП сводится к замене трех организационных элементов, характерных для функциональной организации практики тремя группами процессов: руководства, основных и дополнительных. Все процессы реализуются на всем пространстве жизненного цикла. В первую очередь разработке подлежит домен сети основных процессов, который объединяет в себе конструкторско-технологическое проектирование компонентов, организацию и управление системами их производства с учетом эффективности деятельности предприятия	
Н А П Р А В Л Е Н И Я Р А З В И Т И Я П Р А К Т И К И			
Составной элемент модели деятельности	Совершенствование стандартов организации и управления ТПП	Развитие приемов координации работ, выполняемых в рамках СРПП	Разработка и практическое использование технико-экономических моделей показателей технологичности
Недостатки практики	«–» Не установлен критерий оптимального уровня технологичности и не определен порядок его расчета.	«–» Реализуются процедуры обеспечения качества изделия, т.е. результативности деятельности предприятия в то время как за рамками рассмотрения осталась задача обеспечения эффективности производства изделия, и, как следствие, оценка возможности получения предприятием устойчивого экономического эффекта от производства изделия.	«–» Существенно ограниченная область применения разработанных технико-экономических моделей.
Предлагаемое решение	Управление процессами разработки продукции на основе целевых затрат (таргет-костинг, в отечественной практике – проектирование под заданную стоимость).	Задача организации пар взаимодействующих между собой процессов.	Процесс формального анализа проекта.

1.2. Анализ методик организации и управления производственными системами российских предприятий ракетно-космической промышленности

П.1. Предприятие. Деятельность и структура.

Предприятие реализует три основных вида деятельности: закупки, производство и сбыт произведенной продукции [85]. Производственной деятельности отводится особая роль в силу двух групп причин:

- доход предприятием может быть получен только от реализации того, что произведено и обладает конкурентными преимуществами по сравнению с продукцией других предприятий;
- в силу большой продолжительности цикла производства и существенных объемов производственного потребления реализация производственной функции сопряжена с «омертвлением» значительных финансовых ресурсов.

Известно положение, по которому считается, что все прочие функции предприятия призваны «обслуживать» функцию производства.

Факт создания предприятий означает использование в экономической системе общества двух механизмов координации [86]. Рынок (внешняя среда предприятий) сохраняет за собой роль сигнального фактора об уровне цен на различные продукты и о текущих возможностях нецентрализованного способа распределения ресурсов. Во внутренней среде предприятия реализуется директивный способ распределения ресурсов.

В своей деятельности предприятие сталкивается с ненулевыми транзакционными издержками или с транзакциями [87]. Они имеют место во внешней и внутренней средах предприятия. Транзакцией называют единицу анализа, которую рассматривают тогда, когда предмет производства пересекает границу либо процессов производителя и потребителя, либо любых внутренних процессов предприятия. Их принято делить на два класса: издержки на оценку

полезных свойств (качества) предмета обмена и издержки на передачу прав собственности на предмет обмена.

Из сказанного следуют два важных следствия. Во-первых, создавать предприятие выгодно тогда, когда очевидна возможность уменьшения издержек производства за счет перенесения транзакций во внутреннюю среду предприятия. Во-вторых, в каждом конкретном случае размер предприятия имеет предел. Он наступает в том случае, когда внутренние транзакционные издержки превысят те, которые характерны для внешних поставок.

В интересах управления своей эффективностью предприятие должно обеспечить постоянный мониторинг своих транзакционных издержек с целью их постоянного уменьшения. В тех случаях, когда возможности уменьшения этих издержек признаются исчерпанными, предприятие должно рассмотреть целесообразность принятия решения типа «Made Or Buy» (производить или покупать).

Организуя (организация, как деятельность по упорядочению всех элементов определенного объекта во времени и пространстве [88]) и реализуя свою деятельность, предприятие стремится обеспечить получение устойчивого успеха [87] как результата способности решать поставленные задачи и добиваться достижения долгосрочных целей.

Деятельность предприятия реализуется в рамках присущей ему и постоянно меняющейся среды или сочетания внутренних и внешних факторов и условий, способности оказывать влияние на достижение долгосрочных целей развития и поведение предприятия в отношении заинтересованных сторон.

Производственная система предприятия, являясь составной частью его среды, в определенной степени оказывает влияние на состояние среды, но одновременно и сама подвержена влиянию других ее составных частей.

Рассмотрим характеристику среды предприятия, опираясь на модель зрелости. Зрелое предприятие, функционируя результативно (обеспечивая качество результатов своей деятельности) и эффективно (достигая установленного качества процессов своей деятельности), добивается устойчивого успеха.

В [88] и стандартах [89], [90] предприятие определено как одна или несколько организаций, разделяющих определенную миссию, цели и задачи для получения совместного выхода (результата) в виде продукции. Организация, как совокупность взаимосвязанных и условно неделимых элементов, обособлена от внутренней среды предприятия и взаимодействует с ней (организация как объект, обладающий упорядоченной внутренней структурой [88]). Элементы организации – работники и используемые ими технические средства. Структуру организации устанавливают посредством распределения ответственности, полномочий и определения взаимоотношений между работниками.

П.2. Особенности организации предприятий ракетно-космической промышленности. Дискретное машиностроительное производство.

Особенности конструкции технически сложной и наукоемкой продукции предопределили появление особой формы организации производства, получившей название дискретного машиностроительного производства.

Стандартное определение такого производства: комплекс функциональных систем, предназначенных для производства изделий, собираемых из отдельных компонентов, и каждый из этих компонентов может производиться независимо от других. Уточнить характеристики такого производства можно посредством анализа отношений между конструкторско-технологическими особенностями продукции и процессами ее производства.

Далее приведен перечень отношений, характерных для изделий ракетно-космической и авиационной техники [91].

а. Постоянное стремление производителей изделий улучшить предложение для рынка вплоть до учета индивидуальных запросов узких групп и даже индивидуальных потребителей привело к включению инновационного процесса в цепочку создания стоимости на постоянной основе [92]. Выходы этого процесса – базовая конфигурация изделия и разрабатываемые на ее основе конфигурации конкретных опций изделия.

в. Для предметов производства в целом характерны свойства, изначально определяющие сложность и продолжительность операционного процесса изготовления и поставки продукции потребителю:

- многокомпонентность (порядка $10^2 \dots 10^5$) изделий при широком диапазоне используемых материалов. Компонентом считается любая составная часть изделия, имеющая собственный конструкторский документ;
- большое число классов и подклассов основных технологических методов, используемых для изготовления и сборки компонентов, определяет сложность траектории совместного движения предметов производства во внутренней среде предприятия и приводит к росту транзакционных издержек;
- число уровней входимости компонентов в изделие от 10^0 до 10^2 и более, что определяет довлеющую долю сборочных работ в цикле изготовления изделий. В силу сложности и плотности компоновки изделий возможность сокращения длительности цикла их сборки существенно ограничена. Стремление к его сокращению требует пересмотра конструкции изделия и/или его компонентов, а также использования специальной организации сборочного производства;
- большой объем контрольно-испытательных работ ведет к росту транзакционных издержек за счет увеличения продолжительности ожидания собранными компонентами последующих операций сборки или монтажа;
- многие компоненты относятся к классу изделий, частично монтируемых или снаряжаемых на месте эксплуатации или же на специальных предприятиях, что влечет за собой соответствующий рост длительности операционного процесса.

с. Высокие требования к эксплуатационному качеству компонентов и изделия в целом определяют жесткие требования к прослеживаемости истории процессов изготовления, контроля и испытаний. Устранение выявленных

отклонений от установленных в документах требований к качеству влекут за собой потери времени и средств на доработки и переделки.

d. Производство продукции осуществляется партиями/сериями при значительном диапазоне колебаний размеров партии (от 10^2 до 10^0 изделий). При этом серийность производства конкретных изделий диктуется не традиционными приемами повышения эффективности производства, а требованиями контракта.

e. В силу инновационного характера изготавливаемой продукции в производстве одновременно, и в большинстве случаев с разновременным стартом, движутся разные по своему номенклатурному составу наборы предметов производства. Объединение этих наборов друг с другом экономически оправданно, но влечет за собой рост транзакционных издержек прежде всего из-за увеличения сроков ожидания предметами производства операций обработки и /или сборки.

Роль базового для дискретного машиностроения признан серийный тип производства. В нем на одном рабочем месте выполняют от 10 до 40 операций в течение периода изготовления одной серии изделий [54], [55].

П.3. Организационно-техническая подготовка производства. Схемы организации и управления производством.

Основная роль в организации и управлении производством изделия отводится процессу Организационно-Технической Подготовки Производства (ОТПП). В отечественной ракетно-космической промышленности он рассматривается как одна из составных частей обширной сети бизнес-процессов предприятия, имеющей название «Техническая подготовка производства». В рамках этой сети процесс ОТПП выполняется по параллельно-последовательной схеме с процессами конструкторской и технологической подготовки производства.

В зарубежной практике роль аналога процесса ОТПП выполняет процесс анализа контракта на поставку продукции и разработки мероприятий для обеспечения его выполнения [93], [94].

Обобщив приведенные в работе [95] характеристики ОТПП, определим ее следующим образом. Организационно-техническая подготовка производства – это

комплекс процессов, выходы которых определяют сеть внешних и внутренних поставок предприятия, маршруты движения изделий во внутренней среде предприятия, организационные формы производства изделий, а также нормы снабжения основного производства закупаемыми изделиями, материалами и ресурсами.

У организационно-технической подготовки производства два выхода: производственные документы, которые определяют ход основного производства. И требования к графикам закупки компонентов, материалов и ресурсов с тем, чтобы минимизировать издержки на создание и содержание их избыточных складских запасов. Такие документы называют ВОМ-списками (Bill Of Materials).

Выход ОТПП – проект производства финального изделия и его компонентов. Производство продукции должно быть организовано таким образом, чтобы обеспечить максимально возможный минимум производственных издержек при условии гарантированного обеспечения качества изделия. Тем самым создаются предпосылки для достижения наивысшего из возможных уровней эффективности производства изделия.

Проект производства финального изделия в рамках отдельно взятых серии или даже контракта задает ритм совместного функционирования не только всех элементов структуры основного производства, но и всех других организаций предприятия, вовлекаемых в производство изделия.

Ритм работы цехов основного производства подчинен ритму выпуска финального изделия. Аналогичным образом координируют процессы закупки на внешних рынках и у предприятий-поставщиков.

Координацию деятельности цехов основного производства и организаций предприятия осуществляют посредством графиков поставок в каждой из пар «Поставщик-Потребитель» Организованная таким образом среда производства изделия позволяет реализовать два варианта поведения основного производства [96].

Первый вариант получил название «толкающего (выталкивающего) производства». Суть его заключается в том, что произведенные компоненты как бы

вытаскиваются производителем на склад или же непосредственно потребителю без учета реально существующей потребности в этих компонентах в момент вытаскивания. Фактически это означает возможность присутствия потерь, вызванных операциями ожидания между процессами производителя и потребителя без каких-либо ограничений на их величину. Этот способ присущ практически всем производственным системам ракетно-космической промышленности России.

Второму варианту ставится в соответствие «тянущее (вытягивающее) производство». В этом случае произведенный компонент должен поступить потребителю в тот момент, когда в нем существует реальная потребность. Реализация такого способа подразумевает введение директивного ограничения на время ожидания предметом производства начала процесса потребителя. Переход к этому способу рассматривается как важнейшая задача реструктуризации российских предприятий.

Следует отметить, что оба варианта поведения основного производства реализуются на плановой основе. Это следует из директивного способа распределения ресурсов предприятия в его внутренней среде.

Разработка сети процессов производства финального изделия составляет инженерную часть ОТПП. Достигнутый результат – сеть процессов основного производства передается производственному менеджменту для реализации в ходе производства изделия.

П.4. Моделирование в задаче организации и управлении производством.

Изложенный подход к инженерной части организации и управления процессом производства изделия способен обеспечить высокую эффективность реализации функции производства предприятия, и, как следствие, эффективность деятельности предприятия в целом.

Основное препятствие на этом пути – огромная размерность подлежащей решению задачи. Единственный выход из создавшегося положения – построение и активное использование в ходе реализации процесса ОТПП компьютерных

моделей сетей производственных процессов, обеспечивающих производство изделия в конкретной производственной ситуации.

Для решения задач организации и управления производством наиболее пригодным считается класс прагматических моделей. Они отражают не столько существующее состояние предприятия, сколько желаемые и (возможно) осуществимые его состояния [90].

Они выполняют роли инструментов:

- представления цели деятельности предприятия в форме образцового порядка функционирования всех организаций предприятия и достигаемых таким образом технико-экономических характеристик результата деятельности всего предприятия;
- организации и управления деятельностью предприятия в интересах обеспечения своевременной и адекватной реакции предприятия на изменчивости его внешней, рыночной, среды;
- объективного анализа результатов деятельности организации предприятия, выявления имеющих устойчивый характер отклонений от образцового порядка функционирования и определения направлений непрерывного улучшения ключевых показателей эффективности как предприятия в целом, так и каждой из его организаций.

Выводы по результатам анализа методик организации и управления производственными системами.

п.1. Российские предприятия ракетно-космической промышленности характеризуются:

- ключевой ролью основополагающей их организации «Основное производство», эффективность деятельности которой во многом определяет эффективность деятельности предприятий в целом.

- особой формой организации основного производства, получившей название дискретного машиностроительного производства, особенности которого определяют исключительную сложность процессов организации и управления производством.
- не решенным вопросом об эффективности реализации транзакций в их внутренней среде, т.е. целесообразности собственного производства компонентов изделий или их приобретения у других производителей;
- оценкой эффективности производства по уровню себестоимости изготовления изделия и его компонентов, при этом, показатели эффективности их технологических систем (производительность, расход ресурсов) отнесены к показателям надежности.

п.2. Основу методики организации и управления производственными системами российских предприятий ракетно-космической промышленности составляет процесс организационно-технической подготовки производства. Основным ее недостатком является ориентирование на «выталкивающий» способ производства изделий.

п.3. Высокая степень сложности совместной реализации большого количества процессов определяет использование вычислительных средств, успешность применения которых зависит от наличия соответствующих прагматических моделей производства и методик их построения.

Возможные направления использования моделей объединим в две группы.

В состав первой группы включим те из них, которые направлены на реализацию уже принятых руководством предприятия стратегических решений:

1. Упорядочение режима совместного движения всей совокупности производственных потоков основного производства в ситуации выполнения контракта/набора контрактов. Цель такого упорядочения – безусловное выполнение контрактов с обеспечением наивысшего из возможных уровней эффективности деятельности предприятия.

2. Мониторинг текущей деятельности основного производства в интересах устойчиво проявляющих себя потерь с последующим анализом возможных способов либо устранения источников возникновения потерь, либо приемов радикального уменьшения величины потерь.
3. Валидация решений, принимаемых организациями предприятия на предмет достижения заданного уровня эффективности совместной деятельности организации (нескольких организаций) и основного производства.

Вторая группа должна содержать те направления использования модели основного производства, которые реализуются на стадии разработки стратегических решений предприятия.

1.3. Анализ методик модельного описания инженерной деятельности

Под инженерной деятельностью (инженерным делом, инженерией, инжинирингом и пр.) понимают целенаправленное использование научных принципов и методов применительно к проектированию или разработке различных технических средств и сооружений. Или применительно к объектам, которые используют для прогнозирования поведения технических средств и сооружений в условиях эксплуатации с целью поддержания их функциональных характеристик при соблюдении установленных экономических нормативов [97], [98].

В данной работе рассматриваются два вида инженерной деятельности:

- конструкторская или проектная, которая характерна для стадии «Разработка» жизненного цикла продукции. Она включает в себя конструирование (проектирование) технических средств, продукции или изделия, изготовление и испытание прототипов (макетов, опытных образцов) а также разработку технологических процессов изготовления как прототипов изделия, так и самих изделий, их упаковки, хранения и транспортировки, и др. Результаты разработки изделий фиксируются в нормативных и технических документах.
- производственная деятельность охватывает стадию «Производство» жизненного цикла изделия в полном соответствии с требованиями и правилами, установленными в нормативных и технических документах на изделие и в условиях такой организации производства, которая обеспечивает приемлемый для предприятия экономический результат.

В ходе организации инженерной деятельности используют два общепринятых подхода: специализация и координация деятельности специализированных организаций.

Специализация преследует цель разделения всей деятельности на разделы или сегменты, благодаря чему достигается наивысший уровень производительности в пределах каждого из разделов (сегментов).

Координация призвана согласовать результаты, достигаемые в каждом из разделов, для получения наилучшего общего результата. Выходной результат процедур специализации и координации будем называть организованностью инженерной деятельности.

Результат специализации – учреждение определенного набора организаций предприятия, каждой из которых ставится в соответствие набор подлежащих решению задач. Задачи, принадлежат к определенной области научных или прикладных знаний.

Координация совместной деятельности всех организаций имеет своей целью достижение совместного результата, требования к которому устанавливает владелец всей сети организаций, т.е. высшее руководство предприятия.

Перечисленные аспекты деятельности как категории окружающего мира рассмотрены в работах [99], [100], [101], и полученные в них результаты сводятся к следующим положениям.

1. Каждый из разделов или сегментов инженерной деятельности представляет собой структуру из функциональных и материальных элементов, между которыми установлены необходимые связи.

Такая структура является отображением тех методик и приемов решения задач, которые характерны для конкретной области используемых знаний. Таким образом, структура направлена на получение наилучшего, с точки зрения обозначенной области, результата.

Структура служит основой для построения организационно-технической среды организации. В силу ориентации на используемые знания, организация неизбежно становится противопоставленной по отношению к другим организациям, и чем уже ее специализация, тем выше уровень ее противопоставления.

2. Совместная деятельность любого числа организаций представляет собой полиструктуру. Её можно рассматривать как результат «наложения» друг на друга

организационно-технических структур специализированных организаций предприятия.

В силу того, что полиструктуру образуют различные по своей природе разделы (сегменты) инженерной деятельности, полиструктура приобретает свойства неоднородности. В ней протекают различные разнонаправленные процессы, которые реализуются не только с разной скоростью, но и в разные периоды времени.

3. В работе [101] была предложена логическая схема анализа полиструктуры как модели представления сложно организованной деятельности, к которой можно отнести деятельность предприятия или же ту часть, которую принято называть производственной деятельностью. Последняя охватывает (полностью или частично) парные взаимодействия трех стадий ЖЦП: разработка, производство и эксплуатация изделия.

4. Анализ полиструктуры выполняется посредством последовательной реализации следующих мероприятий:

- *Определение* перечня процессов, которые определяют специфику сложноорганизованной деятельности. Если таких процессов несколько, среди них следует выделить один, который обоснованно следует считать основным, определяющим и подчиняющим себе остальные процессы;
- *Диаграмма* как изображение полиструктуры должна включать в себя, с одной стороны, структуру процессов, и, с другой стороны – «материалы» – как выходные результаты каждого из процессов, которыми они обмениваются друг с другом;
- *Для* каждого из процессов диаграммы разрабатывают сеть элементарных процедур и их результатов, которая в полной мере определяет выходной результат организации;
- *Координацию* выходных результатов организации осуществляют посредством попарного рассмотрения процессов, один из которых

рассматривается как основной. Возможны следующие варианты отношений между основным и ведомым (вторым по значимости) процессом: ведомый процесс полностью или частично расположен внутри основного; ведомый процесс независим от основного, и между ними имеются отношения взаимодействия; ведомый процесс может рассматриваться как механизм реализации первого.

Первый из отмеченных вариантов можно интерпретировать как наследование выходного результата основного процесса в форме набора результатов основного процесса для их уточнения и преобразования в ходе реализации ведомого процесса.

Второй вариант – как механизм взаимного наследования каждым из процессов пар отдельных свойств (характеристик) другого.

Третий вариант отношений подразумевает, что выходные результаты основного процесса наследуются в качестве директив для получения выходного результата ведомого процесса.

Чаще всего первый из процессов пары рассматривается как более общий, чем второй, и потому он определяет рамки реализации ведомого процесса. Одновременно он считается таким же специфическим как второй, и потому считается равноправным с ним;

- *Исследование* взаимодействий между организациями может привести к двум результатам или к какому-либо их сочетанию. Первый результат – изменение упорядоченности сложно организованной деятельности (изменение состава цехов и предметов обмена между ними). Вторым результатом заключается в изменении структуры основного или ведомого процессов, что преследует цель повышения качества выходного результата.

В предыдущих разделах данной главы была выявлена особая роль процесса ОТПП и сформулированы две группы его выходных результатов. Кроме того, была установлена необходимость поиска альтернативы присущему отечественным

предприятиям ракетно-космической промышленности варианту согласования результатов проектно-конструкторского и производственного видов инженерной деятельности «на полу» производства.

Вариант подразумевает выполнение «пошаговых» улучшений в ходе совершенствования проекта изделия в течение достаточно длительного периода выпуска серийных изделий. Другими словами, информацию, необходимую для принятия решений в ходе ОТПП, целесообразно получать в ходе выполнения экспериментов с моделями взаимодействующих организаций.

В интересах реализации такого процесса принятия решений в рамках ОТПП, оценим возможность автоматизации подвергнутой анализу логической схемы исследования полиструктуры сложно организованной деятельности. Для этого воспользуемся методикой декомпозиции процесса проектирования и использования буферных систем, предложенной в работе [102].

Суть методики сводится к следующим положениям.

1. Классическая оптимизационная постановка задачи получения наилучшего результата сложно организованной деятельности опирается на обязательность существования функционала $F(x)$, где x – множество определенных факторов. В нашем случае анализируемое множество включает в себя не только характеристики деятельности всех организаций предприятия, но и процессов взаимодействия организаций друг с другом. Такой функционал существует, но реально описать его практически невозможно. Кроме того, функционал $F(x)$ неизбежно зависит от множества неопределенных факторов, которые могут возникать по ходу реализации деятельности.

2. Процесс принятия решений разделяется на иерархически связанные между собой уровни. Среди них выделяют основной или ведущий уровень. По отношению к нему все остальные уровни рассматриваются как ведомые.

3. Выходной результат основного уровня определяет рамки и представление облика окончательного решения. Итоговое решение представляет собой результат

доопределения вектора «существенных» параметров \hat{x} и всех остальных параметров x^* , т.е.

$$x = (\hat{x}, x^*) \quad (1.3.1)$$

Размерность вектора \hat{x} много меньше размерности x , и потому задача оптимизации типа:

$$\hat{F}_i(\hat{x}, 0) \rightarrow \max \quad (1.3.2)$$

представляется разрешимой. В выражении 1.3.2 подразумевается, что $x^* = 0$.

4. Полученный таким образом выходной результат основного процесса подлежит оцениванию с точки зрения выходного результата второго процесса. Результаты последнего можно представить в форме вектора εx_1^* , где: x_1^* - значение выходного результата ведомого процесса, полученного в ходе оценивания варианта решения (1.3.2), а ε – некоторый малый параметр.

5. Далее осуществляется переход к основному процессу и решается задача:

$$F_{i1} = \hat{F}(\hat{x}, \varepsilon x_1^*) \rightarrow \max \quad (1.3.3)$$

6. Изложенная последовательность шагов поиска решения может быть использована рекуррентно в том числе до достижения приемлемого результата. Задача определения вектора εx^* рассматривается как результат «пересчета» выходного результата основного процесса. Поскольку число взаимодействующих процессов деятельности (иерархических уровней проектирования) ничем не ограничено, то вся совокупность «пересчетов» образует буферную систему основного или ведущего процесса деятельности.

Интерпретацию изложенной методики к контексту принятия эффективных КТР (т.е. решений, одной из характеристик которых служит их вклад в уровень эффективности предприятия) представим следующим образом:

- Роль основного выполняет процесс конструкторско-технологического проектирования изделия, ведомого – процесс его производства;

- *Предварительным* (обликовым) выходом основного процесса является вектор параметров \hat{x} как результат решения задачи (1.3.2);
- *Выходной* результат основного процесса подвергается процедуре валидации на предмет его пригодности для эффективного использования при производстве изделия. В этой процедуре ведомому процессу отводится роль варианта использования выходного результата основного процесса;
- *В тех случаях*, когда установленное задание по уровню эффективности не выполняется, формулируются предложения о возможности внесения изменений в анализируемое КТР;
- *Решение* о целесообразности внесения изменений в КТР принимается совместно владельцами основного и ведомого процессов. Возможно участие в принятии решения и специалистов в других областях знаний.

Поскольку ведомых результатов может быть несколько, то вокруг основного процесса формируется область возможных компромиссов между владельцами основного и ведомых процессов. В работе [102] такая область названа буферной системой, основное назначение которой – получить такой выходной результат основного процесса, которому соответствовал бы баланс взносов основного и всех ведомых процессов в обеспечиваемый ими уровень эффективности предприятия.

Подводя итоги рассмотрения проблемы модельного представления сложно организованной деятельности, можно утверждать о полной совместимости схемы исследования полиструктуры и математически строгой задачи организации взаимодействия элементов полиструктуры.

Сформулируем выводы по результатам анализа проблем – модельного представления деятельности:

- а.** Для любой сложно организованной деятельности может быть задана цель, определенная в терминах экономической эффективности. Цель задается извне среды деятельности.

b. Модель сложно организованной деятельности представляет полиструктуру. Выходной результат полиструктуры определяется как выходными результатами системы специализированных видов деятельности, так и организаций взаимодействий между ними.

c. Все пространство сложно организованной деятельности может быть разделено на целесообразным способом выделяемые области (домены), которые также являются полиструктурами, но степень сложности охватываемой ими деятельности существенно ниже, чем в исходной полиструктуре. Между областями могут устанавливаться отношения иерархии.

d. В рамках каждой из областей (доменов) выделяется основной специализированный вид деятельности. В ходе реализации процесса, присущего основному виду деятельности, осуществляется поиск лучшего выходного результата.

e. Вокруг основного вида деятельности формируется буферная система, роль которой заключается в получении уточнений для совершенствования либо процесса взаимодействующих видов деятельности, либо организации взаимодействий между ними. Отмеченные улучшения преследуют цель улучшения выходного результата основного вида деятельности, поскольку именно этот результат оказывает непосредственное влияние на выходной результат всей сложно организованной деятельности.

1.4. Выводы по Главе 1. Постановка цели и задач исследования

По результатам выполненного анализа проблемы сопутствующей разработки изделия и системы его производства сделаны следующие выводы:

В1. Сложившаяся в отечественном машиностроении практика разработки и постановки продукции на производство обеспечивает требуемый уровень качества производимых изделий. Однако эффективность производства изделий не удовлетворяет современным требованиям по двум причинам:

- Во-первых из-за недостаточного анализа совместимости конструкторских решений возможностям производства; процесс устранения ошибок и просчетов, допущенных в ходе разработки изделия, носит реактивный характер, т.е. выполняется «на полу» производства;
- Во-вторых, практика слабо ориентирована на контроль за затратами на производство изделия, из-за чего стоимость качества изделия зачастую оказывается избыточной.

Как следствие, уровень эффективности производства изделия оказывается неоправданно низким, а цена предложения изделия потребителю – завышенной. Тем самым конкурентоспособность изделия уменьшается.

В2. На основании анализа лучших зарубежных практик разработки изделий установлен набор инструментов, целесообразных с точки зрения улучшения отечественных практик. Устранению отмеченных недостатков будут способствовать:

- Управление процессом разработки изделия на основе целевых затрат;
- Параллельно-последовательной схемы разработки конструкции изделия и сети каждого из вариантов его использования;
- Процедуры валидации проекта изделия как средства оценивания пригодности полученного результата к дальнейшему использованию;

- Имитационное моделирование производственной деятельности предприятия как средство оценивания затрат на производство изделия.

В3. Предложенные инструменты должны быть положены в основу процессов Организационно-Технической Подготовки Производства (ОТПП). Она преследует две цели: с одной стороны, обеспечить соответствие разрабатываемого изделия тем техническим возможностям, которыми располагает конкретная производственная система; с другой стороны, главной функцией этих процессов должны стать: поиск источников возникновения потерь, не ведущих к росту добавленной стоимости, и устранение (сведение к минимуму) таких потерь.

В4. Устранение отмеченных недостатков отечественной практики разработки изделий должно носить активный характер. Для этого необходимо разработать модель производственной деятельности, охватывающую стадии разработки и производства жизненного цикла изделия, пригодную для проведения вычислительных экспериментов с нею.

Для описания сложноорганизованной деятельности выбрана модель неоднородной полиструктуры. Ее среда подлежит декомпозиции на целесообразным образом выделяемые области, которые иерархически связаны друг с другом. Между областями располагаются буферные системы принятия решений, используемые для достижения наилучшего баланса взносов каждой из областей в общий конечный результат – уровень эффективности предприятия.

В5. Эффективности производства изделий отводится роль ключевого показателя деятельности предприятия. Она напрямую зависит от качества функционирования организации «Основное производство». Эффективность самой организации «Основное производство» существенным образом зависит от уровня организованности ее взаимодействия с другими организациями предприятия. Прежде всего, с теми из них, которые ответственны за конструкторско-технологическую подготовку производства.

Наряду с этим, существуют и недостатки внутри самой организации «Основное производство». Но оценить их значимость возможно только на фоне процесса взаимодействия организации с другими организациями предприятия.

Перечисленные выводы позволили сформулировать характеристику настоящего научного исследования.

Область исследования. Работа направлена на решение комплекса задач, преследующих цель обеспечения эффективности предприятия и сокращения продолжительности его реакции на изменяющиеся запросы рынка посредством использования внутренних источников развития производственной деятельности предприятия.

Результативность деятельности предприятия (как мера качества производимой продукции) обеспечивается в ходе разработки изделия. Уровень эффективности предприятия считается пропорциональным эффективности его производственной деятельности. Роли основных источников его обеспечения подлежат распределению между процессами получения выходных результатов всеми организациями предприятия, вовлекаемыми в производственную деятельность и организованными процессами взаимодействия организаций.

Объект исследования. Роль объекта исследования отведена производственной деятельности предприятия, которая охватывает все организации, образующие инновационный и операционный циклы деятельности предприятия, и организацию «Основное производство» как область практической реализации выходных результатов обоих упомянутых циклов.

Предмет исследования. Отношения и взаимодействия между свойствами изделия, процессами их изготовления (технологическими процессами) и организацией процессов производства изделия в интересах обеспечения заданного уровня эффективности его производства в соответствии с условиями контракта на поставку конкретному потребителю. Во всех случаях задача обеспечения того уровня качества продукции, который определен в контракте, выполняет роль дисциплинирующего условия.

Цель исследования. Разработка методики конструкторско-технологического проектирования изделий, организации и управления системами их производства с учетом эффективности деятельности предприятий ракетно-космической промышленности.

Задачи исследования:

1. Разработка процесса параллельного проектирования изделий и систем их производства в целях сокращения времени реакции предприятия на текущие запросы рынка;
2. Разработка процесса проектирования производственной системы предприятия в целях обеспечения заданной ее производственной мощности;
3. Разработка модели управления конфигурацией производственной системы предприятия, необходимой для выполнения конкретного контракта или совокупности одновременно выполняемых разных (в том числе и разностартовых) контрактов;
4. Экспериментальная проверка достоверности результатов исследования;
5. Разработка рекомендаций для практического использования результатов исследования.

ГЛАВА 2. МОДЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ, МЕТОДИКА ЕЕ ПОСТРОЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Производственная деятельность предприятия рассматривается в качестве основного инструмента обеспечения эффективности предприятия.

Модель производственной деятельности предназначена для проведения вычислительных экспериментов с ней в ходе принятия решений для управления производственной деятельностью.

Цель разработки модели производственной деятельности заключается в выделении из внутренней среды предприятия той ее области, в пределах которой реализуется рассматриваемая часть деятельности предприятия, представлении структуры этой области и определении инструментов управления всей структурой для достижения заданного уровня эффективности деятельности. Плановое значение эффективности задается извне выделенной области деятельности предприятия.

Модель отображает те сущности предприятия, которые ответственны за обеспечение эффективной производственной деятельности, взаимосвязи между ними, а также их декомпозицию и детализацию до того уровня, который необходим и достаточен для упорядочения и управления деятельностью.

Модель допускает две формы проявления сущностей: вещную и объектную. Свойства и поведение вещной формы сущности проявляются посредством взаимодействия ее с окружающей средой и между самими сущностями. Объектная форма проявления сущности основана на возможности инкапсуляции во внутренней среде объекта данных, отображающих свойства сущности и ее поведение (такие объекты принято называть информационными). Взаимодействия между объектами реализуются исключительно посредством обмена сообщениями.

Вещная и объектная формы представления сущности должны быть эквивалентны друг другу с точки зрения представления свойств и поведения

сущности. Сущности, рассматриваемые в модели, могут иметь и только объектную форму представления.

2.1. Методика оценивания и обеспечения эффективности производственной деятельности предприятия

Основным источником экономического успеха предприятия служит рациональная организация той части его деятельности, которую принято называть производственной. Ее цель состоит в реализации функции преобразования исходных материалов посредством их взаимодействия с набором необходимых ресурсов в финальные изделия и/или компоненты.

Текущему состоянию организации и управления производственной деятельностью соответствует вполне конкретный уровень стоимости производства продукции. Это аддитивная функция двух слагаемых: стоимости производственного потребления материалов и ресурсов и добавленной стоимости, которая пропорциональна стоимости производственного персонала, использованного в ходе производства продукции. Эффективность производственной деятельности оценивают посредством сопоставления стоимости производства с некоторым ее целевым значением.

Реализацию функции преобразования будем представлять в форме необходимой последовательности операций над материалами и ресурсами. Действия, образующие операцию, выполняются строго в соответствии с регламентом, который устанавливает удельные стоимости и нормы потребления всех материалов и ресурсов, включая и производственный персонал. Любая из операций преследует цель преобразования материалов посредством воздействия на них определенного набора ресурсов с целью создания определенного количества добавленной стоимости. Движение навстречу этой цели всегда сопряжено с возникновением потерь, которые приводят к росту стоимости производственного потребления и производственного персонала по сравнению с нормами, установленными в регламенте.

С учетом сказанного и [103] производственную деятельность P представим линейным преобразованием:

$$P: \{\text{Мат, Рес}\} \Rightarrow \{\text{Прод, Пот}\}, \quad (2.1.1)$$

где Мат и Рес – соответственно наборы материалов и ресурсов, потребляемых в ходе реализации деятельности, т.е. ее входы [104]; Прод – продукция как выходной результат деятельности; Пот – потери материалов и ресурсов.

Из приведенного выражения следуют два важных вывода.

Во-первых, потери всегда увеличивают стоимость производства, но без увеличения добавленной стоимости. Их можно уменьшить, но они никогда не могут быть нулевыми, т.е. всегда существует некоторый остаточный уровень потерь. Приведем аргумент в пользу такого утверждения.

Производство машиностроительных изделий невозможно представить без т.н. незавершенного производства. Оно делится на две части: складской запас (производство продукции завершено, но она еще не оплачена потребителем) и находящееся в движущемся потоке предметов производства (частично завершенная продукция). Идеально организованная и управляемая по принципу «точно в срок» (Just In Time) производственная деятельность исключает появление складских запасов незавершенного производства, но даже она не в состоянии исключить находящееся в потоке незавершенное производство. Кроме того, предприятие вынуждено нести затраты на содержание своих активов в форме складских запасов и ресурсов.

Во-вторых, потери подлежат управлениям с целью уменьшения стоимости производства. Цель-максимум такого управления заключается в выявлении источников возникновения потерь и устранения этих источников. Цель-минимум имеет место в тех случаях, когда источники потерь устранить невозможно. Тогда управление сводится к возможно более полному уменьшению потерь в сочетании с мерами, направленными на смягчение последствий остаточных потерь.

Рассмотрим классы потерь и существо управлений, применимых к каждому из классов.

В зависимости от причин возникновения потери образуют два класса: технологические и организационные.

Потери технологической природы зависят от степени совершенства регламента выполнения каждой из операций производственной деятельности. Они определены характером метода дискретного машиностроительного производства, который в полной мере присущ предприятиям ракетно-космической промышленности России.

Основная цель любой из операций производственной деятельности заключается в обеспечении качества продукции предприятия. Стоимости и нормы расхода материалов и ресурсов, используемых для обеспечения заданного уровня качества необходимо подвергать управлению с целью достижения их минимальной достаточности с точки зрения стоимостей производственного потребления и производственного персонала.

Организационные потери возникают по причине несовершенства организации деятельности. Источники таких несовершенств: последовательность выполнения операций и режимы движения материалов и ресурсов к местам дислокации операций.

По признаку возможности их устранения потери будем делить на неустраняемые и избыточные. Избыточные организационные потери подлежат управлению для достижения сформулированных ранее целей: максимум и минимум. Тем потерям, которые признаны неустраняемыми, присваивают статус остаточных.

Стоимость рассмотренных здесь потерь можно отнести к внутренним транзакционным издержкам предприятия. Ту стоимость производства, в которую включена стоимость остаточных потерь, будем называть стоимостью качества изделия.

Предложенный алгоритм управления потерями создает основу для организации процесса управления эффективностью производственной

деятельности предприятия. Это процесс движения предприятия навстречу идеальной цели – достижению уровня стоимости остаточных потерь. Мера этой цели чаще всего неизвестна. Но содержание процесса повышения эффективности производственной деятельности никак не изменится, если стоимость остаточных потерь будет замещена целевым уровнем стоимости качества продукции. Уровень таких затрат определяется условиями обеспечения конкурентоспособности продукции предприятия и экономического успеха предприятия. Еще раз следует отметить, что этот уровень формируется во внутренней среде предприятия, но вне области его производственной деятельности.

Предприятия конкурентоспособны в том, и только том случае, когда:

- потребительские свойства продукции предприятия соответствуют ожиданиям и запросам потребителей, поскольку только они определяют уровень цены качества. Другими словами, предприятие должно обеспечить такой уровень качества изделия, который не был бы меньше запрашиваемого.
- стоимость качества, обеспечиваемая предприятием, не может превысить установленной рынком цены качества.

Избыточное качество изделия, равно как и экономия средств на обеспечение качества создают основу для укрепления позиций предприятия в ходе реализации операции обмена.

Таким образом, в качестве критерия эффективности производственной деятельности предприятия принято условие:

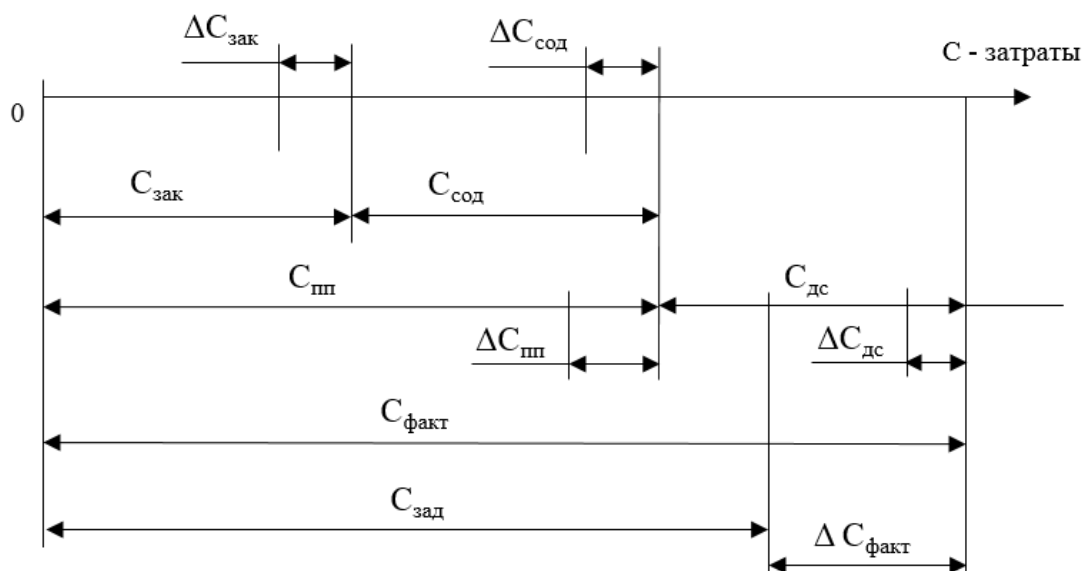
$$C_{\text{зад}} - C_{\text{факт}} \geq 0, \quad (2.1.2)$$

где $C_{\text{зад}}$ и $C_{\text{факт}}$ – заданный и фактически складывающийся уровни стоимости качества изделия.

Стоимость качества допустимо оценивать не только посредством показателей финансового характера, но целевым образом сформулированной

функции, которая связана со стоимостью качества исключительно масштабным фактором.

Диаграмма, иллюстрирующая установленный здесь алгоритм управления потерями, источники которых кроются в производственной деятельности, приведена на рисунке 2.1.1.



Условные обозначения:

Затраты C по видам:

- $C_{\text{факт}}$ – фактически сложившиеся;
- $C_{\text{зад}}$ – заданные;
- $C_{\text{спп}}$ – на производственное потребление;
- $C_{\text{зак}}$ – на закупки материалов и ресурсов;
- $C_{\text{сод}}$ – на содержание активов;
- $C_{\text{дс}}$ – на создание добавленной стоимости.

Потери ΔC , содержащиеся:

- $\Delta C_{\text{факт}}$ – в фактических затратах;
- $\Delta C_{\text{спп}}$ – в затратах на производственное потребление;
- $\Delta C_{\text{зак}}$ – в затратах на закупки;
- $\Delta C_{\text{сод}}$ – в затратах на содержание;
- $\Delta C_{\text{дс}}$ – в затратах на создание добавленной стоимости.

Рисунок 2.1.1 – Структура затрат на реализацию производственной деятельности

На диаграмме рассмотрены два случая формирования затрат на реализацию производственной деятельности: фактически складывающиеся $C_{\text{факт}}$ и целевые $C_{\text{зад}}$.

Затраты на реализацию деятельности декомпозированы посредством выделения затрат:

- $C_{пп}$ – затраты на производственное потребление материалов и материальных ресурсов. Сюда отнесены затраты на приобретение их на рынках $C_{зак}$ и затраты $C_{сод}$ на содержание активов внутри предприятия;
- $C_{дс}$ – затраты на создание добавленной стоимости в ходе трансформации материалов в финальное изделие. Фактически это затраты на содержание единственного, но специфического актива – рабочей силы.

Каждая из упомянутых статей затрат содержит потери ΔC . Переход от фактически складывающегося затрат $C_{факт}$ к целевым $C_{зад}$ осуществляется посредством управления всеми видами потерь с целью достижения их заданного уровня не менее $\Delta C_{факт}$.

Для определения целевых затрат воспользуемся мультипликативной функцией планируемых предприятием затрат на поставку своей продукции потребителям. Целевые затраты $C_{зад}$ рассматриваются как аргумент, роль второго сомножителя выполняет масштабный коэффициент, согласующий функцию с аргументом.

Таким образом, задача обеспечения затрат на качество продукции декомпозирована на две относительно самостоятельные задачи:

- *Управления* активами предприятия, находящимися в форме материалов и ресурсов с целью обеспечения установленного уровня затрат на производственное потребление;
- *Управления* процессами производства продукции при наличии ограничений на величину добавленной стоимости.

В решение этих задач вовлечены различные организации предприятия. Каждая из них реализует вполне конкретную функцию, и потому организация

формирует присущую ей структуру. В рамках структуры реализуется сеть процессов, которая обеспечивает получение наилучшего выходного результата, но в пределах того метода, который присущ закрепленному за организацией специализированному виду деятельности.

Поскольку в реализацию производственной деятельности предприятия вовлечена совокупность организаций, для каждой из которых характерна оригинальная структура, модель такой деятельности будем представлять в форме полиструктуры. Выполним ее анализ в соответствии со схемой, приведенной в разделе 1.3.

На рисунке 2.1.2 представлена диаграмма, связывающая организации предприятия – элементы полиструктуры и «материалы» – как предметов обмена между ними. Элементы изображены прямоугольниками, внутри которых размещены наименования функций соответствующих организаций.

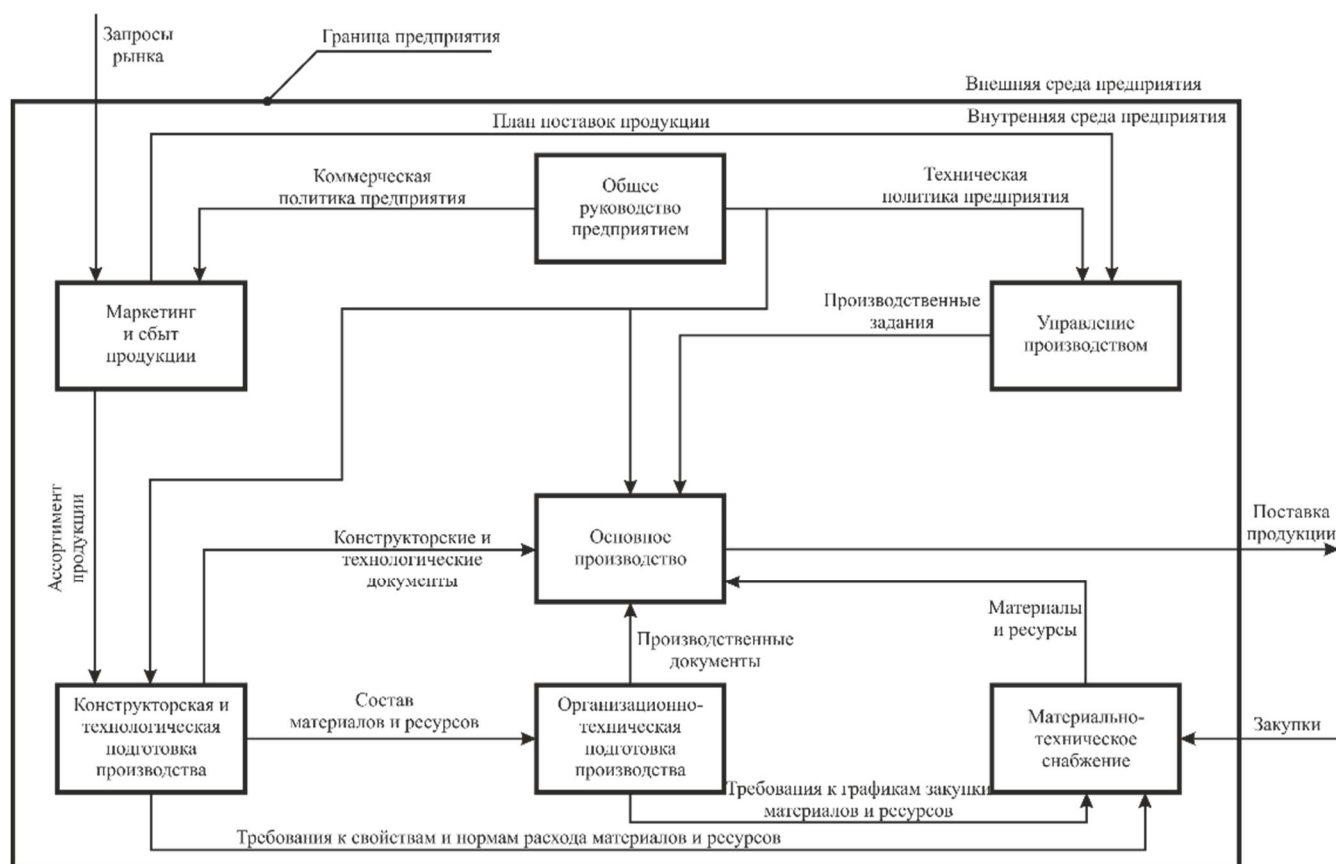


Рисунок 2.1.2 – Структура организаций предприятия

Организации взаимодействуют между собой посредством реализации представленных на рисунке 2.1.2 связей. Все связи имеют одностороннюю направленность. Организация-источник рассматривается как основной процесс деятельности, организации-адресат связи – как зависимый от основного.

Каждой связи поставлен в соответствие конкретный предмет обмена между организациями; его роль могут выполнять либо материалы и ресурсы, либо документы. Документы содержат соответствующие записи об изделии, используемых материалах и ресурсах, или же о последовательности и регламенте выполнения операций.

Поскольку цели организаций в силу их специализации по определению противоречат друг другу, достижение запланированного для них совместного результата невозможно без координации их совместного функционирования.

В нашем случае цель координации состоит в приведении всех или же любой целесообразной части организаций, вовлекаемых в производственную деятельность, в такие их состояния, которые обеспечивали бы достижение запланированных уровней расходов.

В основу координации полиструктуры, представленной на рисунке 2.1.2, положим агентную модель предметной области производственной деятельности предприятия [105].

Любую из вовлекаемых в производственную деятельность организаций будем считать агентом, который может выполнять две роли. С одной стороны, присущий ему процесс должен выполнить любую из находящихся в зоне его ответственности операций по запросу основного, по отношению к агенту, процесса. С другой стороны, и сам агент может обратиться к агенту – владельцу основного процесса с запросом на изменение выдвинутых им требований в интересах улучшения результата их совместного функционирования.

Таким образом, между агентами возможен диалог, цель которого заключается в интеграции организаций предприятия для достижения заданного уровня эффективности деятельности предприятия посредством рационализации взаимодействий между агентами производственной деятельности.

2.2. Онтология производственной деятельности предприятия и его организаций

Под онтологией производственной деятельности понимается упорядоченный набор специализированных сущностей (или идентифицирующих их понятий или терминов), обращающихся в рамках категории «Производственная деятельность». Роли таких сущностей выполняют определенные в разделе 2.1 элементы полиструктуры и представляющие их функции, процессы и сети процессов, и «материалы».

Сущность рассматривается как обобщение любых относящихся к категории реальных и/или абстрактных вещей. Как уже упоминалось ранее, сущность представляет собой вещную форму существования материи. Любая из сущностей обладает набором присущих ей свойств и выполняемых ею операций. Совокупность операций сущности определяет ее поведение.

Каждой из сущностей ставится в соответствие объект, который рассматривается как информационная модель сущности. Объект обладает уникальной идентичностью на протяжении всей жизни сущности.

Свойства сущности подлежат представлению в объекте посредством инкапсулированных в нем данных. Операции сущности инкапсулируются в объекте в форме сообщений, каждое из которых идентифицирует запрос к объекту на выполнение одной из присущих сущности операций. Между сочетанием свойств и набора операций, присущих сущности, и соответствующим ей объектом с присущим ему структурой данных и набором сообщений должно быть установлено взаимно однозначное соответствие.

Различают объекты-типы и объекты-экземпляры. Объект-тип с коллекцией соответствующих ему специализированных экземпляров принято называть классом. Объект-тип определяет присущую ему структуру данных, которая одинакова для всех объектов-экземпляров присущей ему коллекции. Специализация объектов-экземпляров определяется фактическими значениями соответствующих данных.

Все сущности, образующие онтологию «Производственная деятельность», могут быть упорядочены на основе семантики данных, характеризующих свойства и операции сущностей. Результаты упорядочения представляют в форме структур классификации и композиции объектов [105], [106].

Структуру классификации представляют в форме дерева или сети. Для их построения используют два семантических примитива: включения АКО (A Kind Of – вид, сорт объекта) и принадлежности IsA (это есть).

Семантический примитив IsA отображает движение по дереву или сети в направлении «снизу вверх». В результате такого движения образуются обобщения: объединения экземпляров в классы или включения специализированных классов в классы более общего характера – суперклассы.

Примитив АКО подразумевает движение по дереву или сети в обратном направлении. В результате образуются специализации: подклассы как части более общих классов, экземпляры классов.

Композиция представляет собой способ отображения механизма наследования свойств между сущностями. С физической точки зрения механизмы наследования разнообразны и простираются от генетических, подразумевающих прямую передачу свойств, вплоть до технологических (см. раздел 1.1), в которых процесс передачи свойств специальным образом организовывается. Наследование свойств между объектами реализуется исключительно посредством процедур, регулирующих обмен данными между ними.



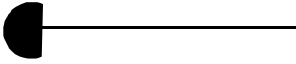
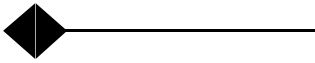
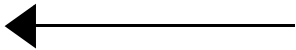
Структура композиции представляет собой структурированный набор связей в форме дерева, посредством которых один класс наследует часть данных, описывающих свойства другого класса (суперкласса), а экземпляры полностью наследуют структуру данных и набор процедур того класса, которому они принадлежат. Для построения структур композиций используют семантический примитив АРО (A Part Of – часть целого).

Примером построения совмещенных структур классификации и композиции может служить полное представление данных об изделии [107].

Информационные модели предметной области будем представлять в форме семантических сетей, вершинам которых ставятся в соответствие объекты, а дугам – семантические примитивы.

Нотация изображения объектов и семантических примитивов приведена в таблице 2.2.1.

Таблица 2.2.1 – Нотация представления семантических сетей, характеризующих предметную область

Условные обозначения		Описание условных обозначений
Объектов		1. Класс как набор экземпляров, обладающих общими статическими и поведенческими характеристиками; 2. Подкласс как разновидность класса
		Суперкласс как набор из одного или нескольких объектов, каждый из которых сам по себе считается классом
Семантических примитивов		IsA (это есть) используется для идентификации принадлежности экземпляра к классу. Результат операции классификации
		АКО (A Kind Of – составная часть) используется для идентификации разновидности объектов. Результат операции агрегирования объектов.
		АРО (A Part Of – часть целого) используется для идентификации принадлежности объекта части к объекту – целому. Результат операции композиции объектов.

На рисунке 2.2.1 представлена семантическая сеть деятельности предприятий ракетно-космической промышленности, которая имеет форму обобщения производственной деятельности и непроизводственных видов деятельности. Результаты деятельности разделены на коллекции «Продукция предприятия» и «Прочие результаты».

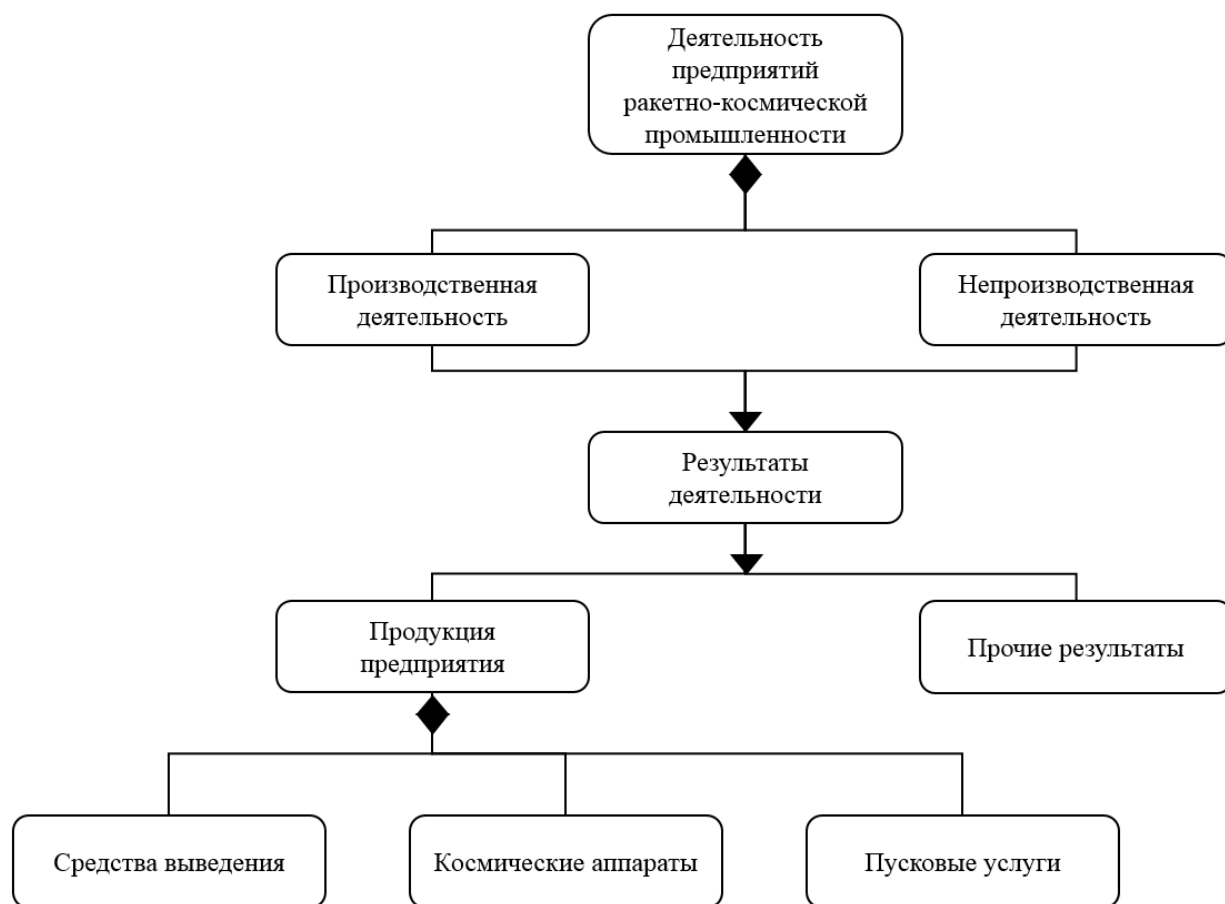


Рисунок 2.2.1 – Семантическая сеть деятельности предприятий ракетно-космической промышленности

На рисунке 2.2.2 представлены отношения наследования суперклассом «Организация производственной деятельности» особенностей суперклассов «Метод дискретного машиностроительного производства» и «Контрактная конфигурация продукции предприятия».

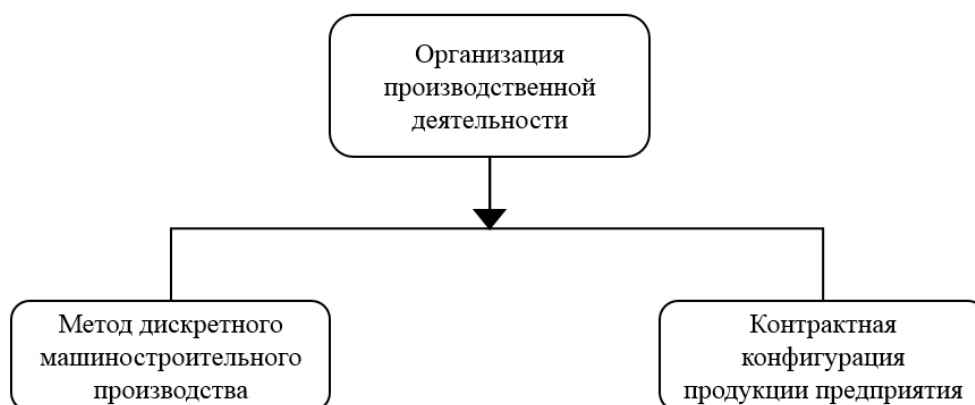


Рисунок 2.2.2 – Семантическая сеть организации производственной деятельности

На рисунках 2.2.3 – 2.2.7 представлена семантическая сеть объектов производственной деятельности. На рисунке 2.2.8 – диаграмма наследования свойств объектов этой семантической сети.

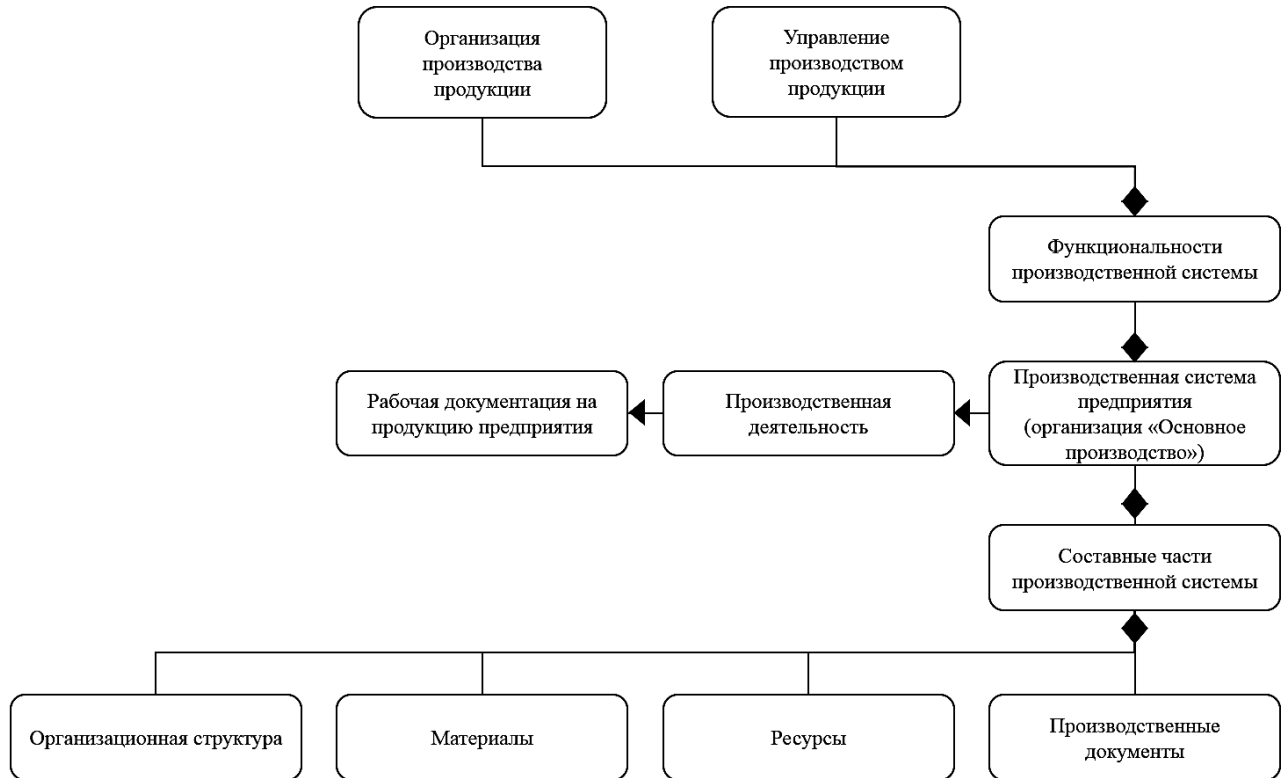


Рисунок 2.2.3 – Семантическая сеть объектов производственной деятельности



Рисунок 2.2.4 – Семантическая сеть суперкласса «Рабочая Документация»

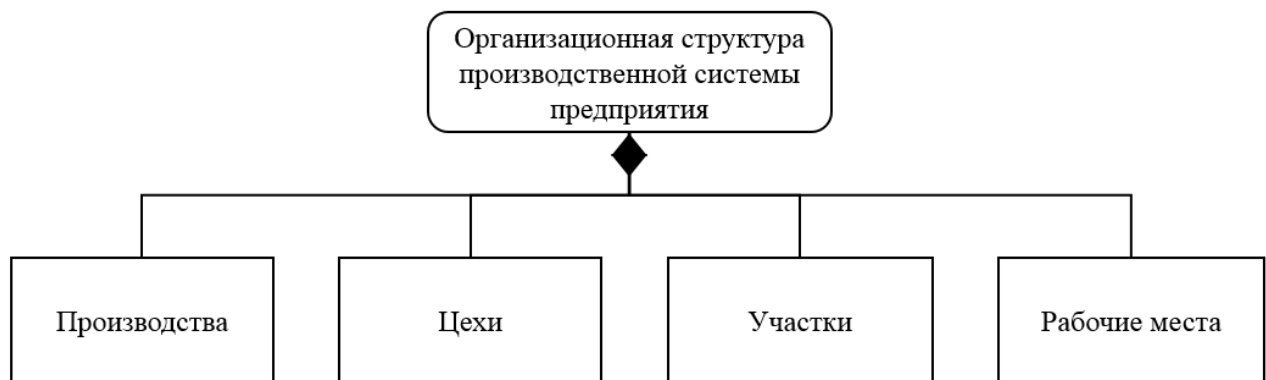


Рисунок 2.2.5 – Семантическая сеть суперкласса «Организационная структура» производственной системы предприятия



Рисунок 2.2.6 – Семантическая сеть суперкласса «Материалы» производственной системы предприятия

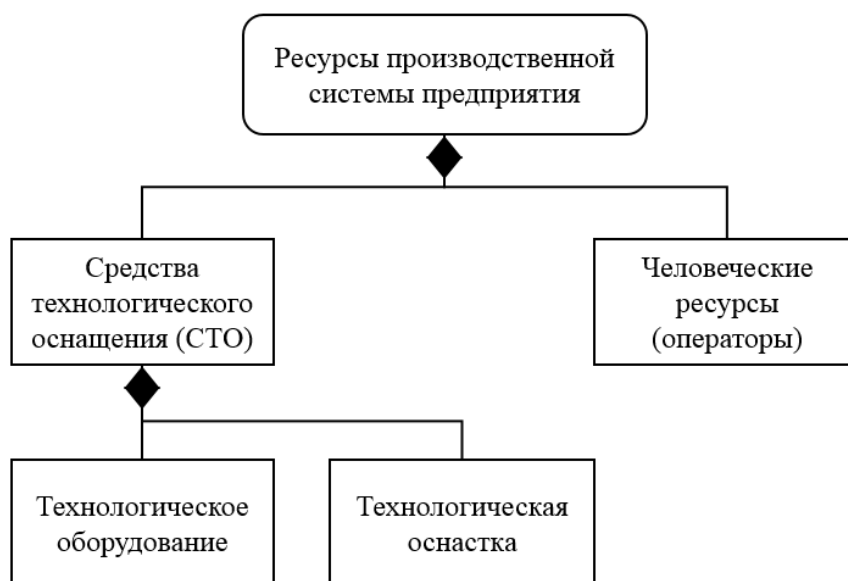


Рисунок 2.2.7 – Семантическая сеть суперкласса «Ресурсы» производственной системы предприятия

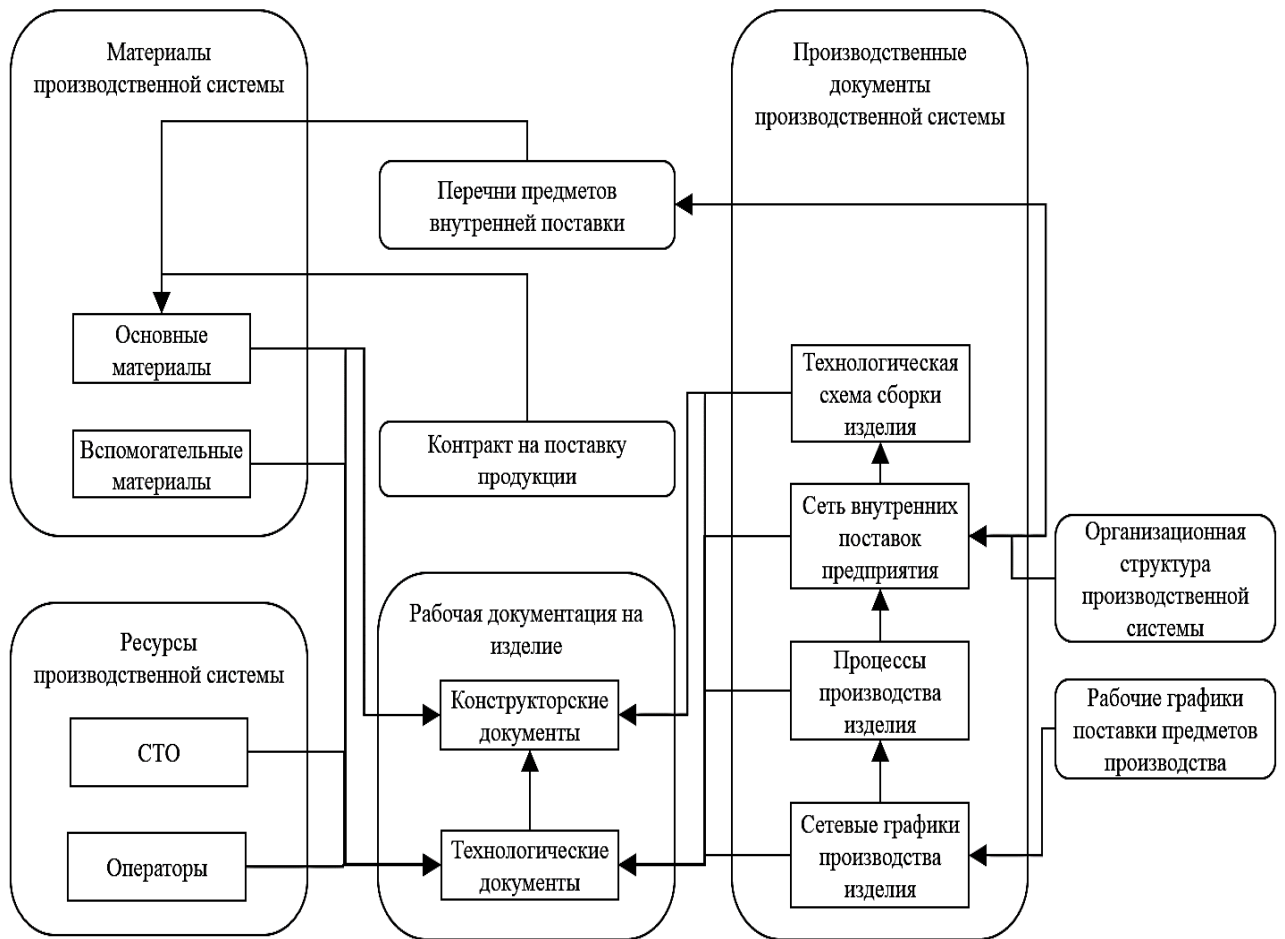


Рисунок 2.2.8 – Диаграмма наследования свойств объектов производственной системы предприятия

На рисунке 2.2.9 представлена семантическая сеть суперкласса «Перечень предметов внутренних поставок предприятия».

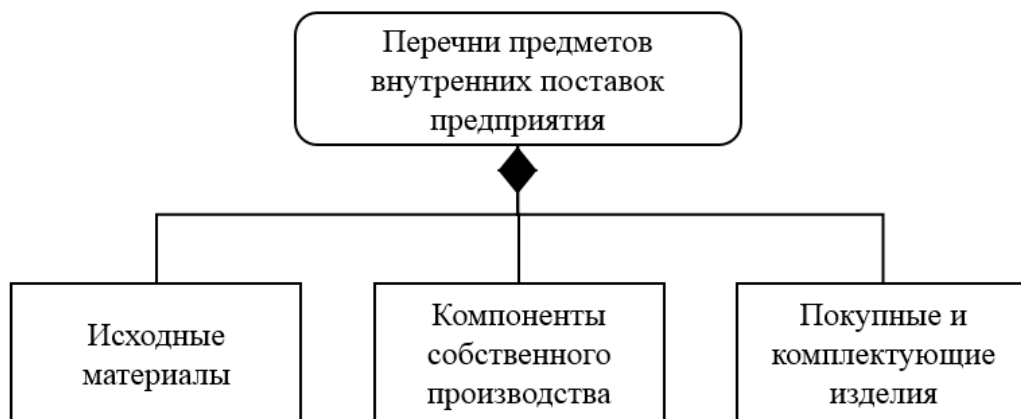


Рисунок 2.2.9 – Семантическая сеть предметов внутренних поставок предприятия

Имена понятий, образующих онтологию «Производственная деятельность предприятия и его организаций», и соответствующих объектов семантической сети, а также характеристика понятий приведены в таблице 2.2.2.

Таблица 2.2.2 – Перечень объектов предметной области производственной деятельности и их определение

№ п/п	Имя понятия	Объект, соответ. понятию	Характеристика понятия
1	Деятельность предприятий ракетно-космической промышленности	Суперкласс	Полный перечень функций предприятия и используемых для их реализации процессов, направленных на удовлетворение запросов и ожиданий потенциальных и реальных потребителей посредством поставок им средств выведения, космических аппаратов и пусковых услуг или же любого целесообразного сочетания этих предметов поставки.
2	Производственная деятельность предприятий (или его организаций)	Суперкласс	Любая из представляющих интерес частей функционирующих процессов предприятия, каждый из которых участвует в производстве предметов поставки предприятия. Характеризуется уникальной структурой реализации задач. Использует определенные входы и выделяет время, материалы и ресурсы, необходимые для достижения запланированных результатов выходных процессов.
3	Непроизводственная деятельность	Суперкласс	Часть деятельности предприятия, которая непосредственно не направлена на производство предметов поставки предприятия, но активным образом способствует достижению целей производственной деятельности предприятия и/или его организаций.
4	Результаты производственной деятельности	Суперкласс	Характеристики деятельности предприятия, характеризующие его конкурентные позиции на отраслевом рынке и соответствующий им экономический успех предприятия. Обычно используют две группы ключевых показателей деятельности: результативность как мера способности к достижению поставленной цели в части поставок на отраслевом рынке; и эффективности, или способности рационального использования материалов и ресурсов, потребляемых в ходе производства продукции и получения запланированной прибыли.
5	Продукция предприятия	Суперкласс	Результаты деятельности предприятия, которые могут быть поставлены в форме одной или любого сочетания категорий продукции: технические средства, расходуемые материалы, программные средства (любые документы, которые регламентируют процессы жизненного цикла

			продукции вне пределов внутренней среды предприятия-производителя) и услуг.
6	Прочие результаты деятельности	Суперкласс	Любые результаты деятельности предприятия, которые не могут рассматриваться как результаты производственной деятельности, экономически целесообразные для предприятия.
7	Средства выведения	Класс	Технические средства продукции, предназначенные для доставки космических аппаратов на заданные орбиты. Конфигурация средств выведения в той или иной степени изменяется для результативного решения задач, отраженных в контракте на поставку их реальному заказчику.
8	Космические аппараты	Класс	Технические средства продукции, используемые для выполнения уникального сочетания задач в космическом пространстве или же на поверхностях различных небесных тел. Уникальность решаемых задач подразумевает оригинальность конструкции аппаратов или же существенную изменчивость их конфигурации как реакцию на запросы реального потребителя.
9	Пусковые услуги	Класс	Процесс подготовки и вывода на заданную орбиту космического аппарата в условиях соблюдения уникальных требований к режиму выполнения и результатам процесса (например, требования к траектории выведения, учет географического расположения места старта) и в условиях выполнения ограничений на стоимость услуги.
10	Организация производственной деятельности	Суперкласс	Комплекс мероприятий, направленных на упорядочение сети процессов производственной деятельности, необходимой для обеспечения адекватной реакции предприятия на постоянно меняющиеся запросы потребителей с учетом объективно существующих отношений между предметами производства и соответствующими им процессами производства.
11	Метод дискретного машиностроительного производства	Суперкласс	Устойчивая сущность, отображающая характерные свойства высокотехнологичных и наукоемких изделий и сопутствующих им сложности и продолжительности операционного процесса производства и поставки продукции потребителям.
12	Контрактная конфигурация продукции предприятия	Суперкласс	Сущность, предполагающая постоянное присутствие инновационной составляющей в цикле производства, необходимой для управления конфигурациями продукции/изделия для выполнения контрактных условий потребителя.
13	Рабочая документация на продукцию/изделие	Суперкласс	Комплект нормативных и технических документов, исчерпывающим образом определяющих состав, характеристики продукции/изделия, требования к каждой из них,

			и процесс материализации каждой из характеристик в ходе производства и поставки продукции/изделия потребителям.
14	Производственная система предприятия (организация «Основное производство»)	Суперкласс	Совокупность материалов и ресурсов предприятия, скоординированная особой информационной моделью, которая обеспечивает производство продукции установленного качества с извне заданным уровнем эффективности производственной деятельности в условиях выполнения оговоренных в контракте условий поставки.
15	Функциональность производственной системы	Суперкласс	Набор свойств процессов производственной системы, которые обеспечивают возможность достигать установленных результатов производственной деятельности.
16	Организация производства	Суперкласс	Форма взаимодействия материалов и ресурсов в процессах производственной системы предприятия, направленная на достижение минимального из возможных уровня транзакционных потерь в ходе выполнения контракта на поставку продукции предприятия реальному потребителю.
17	Управление производством	Суперкласс	Разработка и исполнение календарных и оперативных планов производства изделий в условиях принятой организации производства. Также реализация мероприятий, направленных на компенсацию отклонений от установленных планов.
18	Составные части производственной системы	Класс	Элементы структуры производственной системы предприятия, за каждым из которых закрепляется набор характерных функций, и между ними делегируются связи, необходимые для эффективного достижения установленных извне системы уровней результативности и эффективности функционирования системы.
19	Организационная структура (производственной системы)	Суперкласс	Состав структурных элементов организации «Основное производство» с наделением каждого из элементов необходимыми полномочиями и разделением между ними ответственности за результаты функционирования организации.
20	Материалы (производственной системы)	Суперкласс	Исходные материалы и компоненты (изделия, готовые к потреблению в соответствии с их назначением), закупаемые на внешних рынках и потребляемые в ходе производства и поставки продукции предприятия потребителям.
21	Ресурсы (производственной системы)	Суперкласс	Любое устройство, инструмент и/или средство за исключением материалов, находящиеся в распоряжении предприятия, и используемые для производства и поставки продукции предприятия потребителям.

22	Производственные документы	Суперкласс	Совокупность документов, устанавливающих информационную модель производственной системы, цель которой заключается в безусловном выполнении условий контракта на поставку продукции потребителям.
23	Варианты использования изделий	Суперкласс	Описание набора действий в ходе использования изделия заинтересованным лицом для достижения значимых результатов.
24	Потребление изделия в соответствии с назначением	Класс	Вариант использования изделия, в котором роли заинтересованных лиц разделены между реальным потребителем и обществом.
25	Производство изделия в соответствии с условиями контракта	Класс	Вариант использования изделия, в котором роли заинтересованных лиц разделены между производителем и потребителем, и закреплены в контракте.
26	Эксплуатация/Техническое обслуживание изделия	Класс	Вариант использования изделия, в котором роли заинтересованных лиц распределены между потребителем и эксплуатантом. Цель использования заключается в обеспечении готовности изделия к потреблению на протяжении гарантийного срока его службы.
27	Конструкторские документы	Класс	Комплект документов, устанавливающих тот состав характеристик продукции/изделия и требований к каждой из них, которые в своей совокупности гарантируют выполнение запросов и ожиданий потенциальных и реальных потребителей.
28	Технологические документы	Класс	Комплект документов, устанавливающих правила и нормы материализации характеристик продукции/изделия, которые установлены в конструкторских документах при наименьших из возможных уровнях расхода материалов и ресурсов.
29	Производство	Класс	Совокупность цехов с родственной предметной или технологической специализацией, имеющие общую систему управления с ограниченным набором административных функций.
30	Цехи	Класс	Основной структурный элемент производственной системы. Обладает самостоятельной и полноценной системой административного управления и рассматривается как объединение производственных участков.
31	Производственный участок	Класс	Группа рабочих мест, которая организуется по предметному или технологическому признакам. Разновидность участка – производственная ячейка, которая организована по предметно-технологическому признаку.
32	Рабочее место	Класс	Низший элемент организационной структуры производственной системы, в месте дислокации которого на постоянной основе располагается

			технологическое оборудование, и на временной – технологическая оснастка и предметы производства.
33	Основные материалы	Класс	Структурные элементы изделия или компоненты, масса которых образует массу изделия.
34	Вспомогательные материалы	Класс	Исходные материалы, не образующие массу изделия, но потребляемые в ходе его производства.
35	Изделия, компоненты собственного производства	Класс	Изделия, на которые выпущены самостоятельные конструкторские документы и которые являются результатами производственной деятельности предприятия.
36	Покупные и комплектующие изделия	Класс	Изделия, на которые выпущены самостоятельные конструкторские документы и которые приобретаются на специализированных рынках или же поставляются специализированными предприятиями.
37	Стандартные изделия	Класс	Изделия, конструкторские документы которых имеют статус национальных стандартов РФ или стандартов организаций.
38	Изделия, закупленные на специализированных рынках	Класс	Изделия, конструкторские документы которых выпущены самостоятельными предприятиями, а сами изделия обращаются на специализированных рынках.
39	Изделия, поставляемые по производственному аутсорсингу	Класс	Изделия, конструкторские документы которых выпущены предприятием – их потребителем, но изготавливают их предприятия-поставщики.
40	Изделия, поставляемые по научно-техническому аутсорсингу	Класс	Изделия, конструкторская документация на которые разработана другими предприятиями-поставщиками, но изготавливают их предприятия-потребители.
41	Средства технологического оснащения (СТО)	Суперкласс	Совокупность орудий производства, необходимых для реализации технологических операций, объединенные в технологическую систему рабочего места по признаку совместимости друг с другом в ходе переналадки системы.
42	Технологическое оборудование	Класс	Технические средства, выполняющие роль инвариантной части технологической системы, в рабочей зоне которых на постоянной основе размещаются предметы производства, необходимая для выполнения операций над ними технологическая оснастка.
43	Технологическая оснастка	Класс	Технические средства, дополняющие технологическое оборудования в ходе переналадки технологической системы для выполнения конкретного набора технологических операций над определенным предметом производства.
44	Человеческие ресурсы (операторы)	Класс	Часть ресурсов производственной системы, рассматривающихся как специфические средства,

			обладающие заданными уровнями производительности и мощности, достаточными для вовлечения в процессе производства продукции/изделия посредством постановки задачи.
45	Контракт на поставку продукции	Класс	Соглашение между потребителем и поставщиком продукции/изделия, в котором условия обмена определяются тремя группами факторов: ценой, конкретными особенностями предмета поставки и гарантиями.
46	Перечни предметов внутренней поставки	Суперкласс	Перечни предметов внутренних поставок, обеспечивающих совместное функционирование всех элементов организационной структуры производственной системы в интересах выполнения условий контракта на поставку продукции предприятия потребителям (аналог: BOM – Bill Of Materials).
47	Перечень исходных материалов	Класс	Перечень материалов, закупаемых на внешних рынках и у сторонних предприятий.
48	Перечень изделий собственного производства	Класс	Перечень изделий собственного производства, последовательно упорядоченный по признаку: внутренний потребитель; время поставки; количество поставляемых элементов каждого наименования; внутренний поставщик.
49	Перечень компонентов внешней поставки	Класс	Перечень компонентов, закупаемый на внешних рынках и у сторонних предприятий, упорядоченный как и изделия собственного производства.
50	Технологическая схема сборки	Класс	Диаграмма, отображающая последовательность и условия комплектования сборочных единиц комплектующими материалами, а также состояние поставки материалов.
51	Сеть внутренних поставок	Суперкласс	Сеть внутренних поставщиков и потребителей, которые взаимодействуют с совокупностью производственных операций.
52	Процессы производства изделия	Класс	Структурированный набор операций над исходными материалами для трансформации их в готовое изделие.
53	Сетевые графики производства продукции	Класс	Набор сетевых методов, последовательно используемых для анализа и управления сетью внутренних поставок предприятия, а затем и процессов производства компонентов внутри цехов.
54	Рабочие графики комплектации	Класс	Графики выполнения внутренних поставок предприятия для комплектации цехов-потребителей материалами и ресурсами, необходимые для синхронизации производства продукции изделия.

2.3. Модель взаимодействия организаций для обеспечения установленного уровня эффективности предприятия

Эффективность производственной деятельности предприятия рассматривается как экзогенная переменная, которая соответствует выходному результату полиструктуры, предложенной в разделе 2.1 работы. Она зависит не только от уровня совершенства деятельности каждой из образующих предприятие организаций, но и от степени согласованности выходных результатов всех организаций – агентов производственной деятельности. Достигнутый уровень переменной будем рассматривать как результат рационального баланса выходных результатов вовлекаемых в производственную деятельность агентов и/или их объединений.

Модель взаимодействия агентов производственной деятельности представим в форме логически завершенного перечня мероприятий, последовательная реализация которых гарантирует достижение искомого баланса.

Перечень состоит из трех мероприятий:

- Мероприятия группы «УПД» («Упорядочение производственной деятельности»). Разработка полиструктуры взаимодействующих между собой организаций – агентов производственной деятельности предприятия. Представление такой полиструктуры будем называть «упорядоченностью» производственной деятельности предприятия;
- Мероприятия группы «РСБ» («Разработка структуры баланса»). Разработка структуры баланса уровней эффективности элементов «упорядоченности» и эффективности предприятия;
- Мероприятия группы «РМС» («Разработка механизма согласования»). Разработка механизма согласования интересов между элементами «упорядоченности» с целью достижения рационального баланса вкладов элементов в обеспечиваемый полиструктурой уровень эффективности производственной деятельности, и, как следствие, – эффективности деятельности предприятия.

Мероприятия группы «УПД» («Упорядочение производственной деятельности»)

Разработка «упорядоченности» опирается на совокупность следующих положений.

УПД1. Предложенная в разделе 2.2 онтология предоставляет возможность для создания коллекций объектов, представляющих агентов производственной деятельности предприятия. В коллекции агентов могут включаться любые организации предприятия – владельцы тех функций (пусть и среди прочих), выходы которых подлежат использованию в ходе производственной деятельности.

УПД2. Для композиции коллекций будем использовать известную модель цепочки формирования ценности продукции предприятия [92]. Поскольку стоимость качества продукции определяется выходными результатами как допроизводственной, так и производственной областей деятельности предприятия, создаваемые коллекции должны включать в себя объекты-агенты обеих упомянутых областей деятельности.

УПД3. Разрабатывать коллекции будем с использованием структур композиции объектов. Образуемые таким образом коллекции будем считать суперклассами.

Первый из таких суперклассов представляет композицию объектов, соответствующих сущностям, используемых в составе стадии «Разработка» жизненного цикла продукции в трактовке СРПП, а точнее – этапа Опытно-Конструкторских Работ (ОКР) и постановки изделий на производство вплоть до начала серийного производства изделия.

Второй суперкласс содержит объекты тех сущностей, которые используются в интересах бесперебойной реализации функции производства продукции при многократном повторении последней.

Суперклассы соответствуют двум циклам деловой активности предприятия: инновационного и операционного.

Полиструктура взаимодействующих между собой организаций – агентов производственной деятельности представлена на рисунке 2.3.1. Здесь наименования организаций замещены выходными результатами деятельности организаций или наименованиями интересующих сетей процессов. Сделано это с учетом того, что в производственную деятельность могут вовлекаться лишь некоторые из функций организаций.

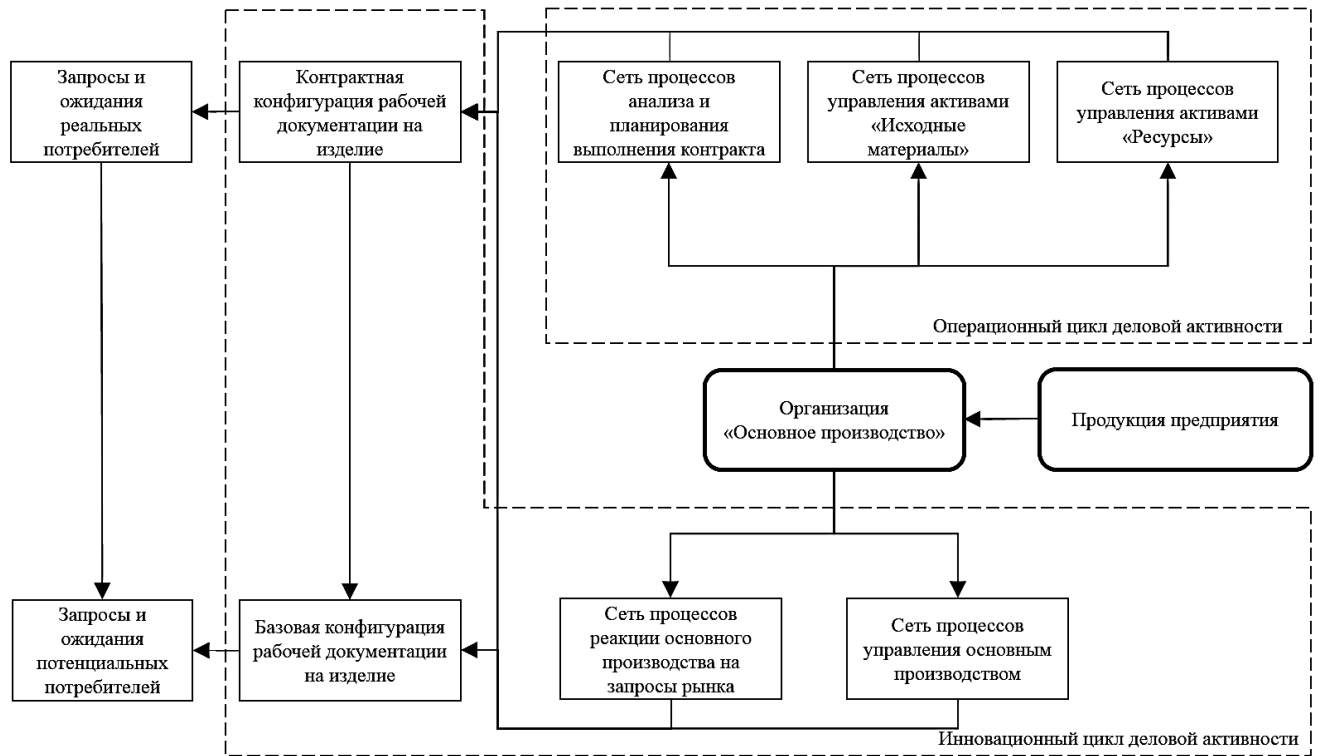


Рисунок 2.3.1 – Полиструктура организаций – агентов производственной деятельности предприятия

В состав полиструктуры входят три агента производственной деятельности: инновационный и операционный циклы деловой активности и организация «Основное производство». Агенты взаимодействуют между собой посредством наследования порождаемой ими информации.

Цель инновационного цикла заключается в обеспечении адекватной и своевременной реакции на запросы и ожидания потребителей. Учитывая особенности предприятий ракетно-космической промышленности, возможны две группы таких потребителей: потенциальные и реальные. Запросам и ожиданиям

первой группы потребителей ставится в соответствие базовая конфигурация изделия, второй – конфигурации модификаций и/или контрактные конфигурации.

Выходной результат инновационного цикла – рабочая документация на изделие, гарантирующая обеспечение установленного уровня качества при ограничении на состав элементов производственного потребления. Ограничение касается номенклатуры элементов при минимально достаточном наборе их технических характеристик.

В рамках инновационного цикла основным донором процесса наследования выступает рабочая документация, акцепторами (реципиентами) – все классы упомянутых на рисунке 2.3.1 сетей процессов обоих циклов деловой активности предприятия.

Цель операционного цикла сводится к организации и управлению производственным потреблением в ходе производства как базовой, так и контрактных конфигураций изделия. Основные инструменты достижения цели: рационализация процесса закупок элементов производственного потребления и обращения их после того, как они примут статус активов предприятия.

Главным донором наследования в операционном цикле выступает сеть процессов, связанная с анализом и планированием исполнения контракта, поскольку именно эта сеть ответственна за установление соответствия между конфигурацией изделия и соответствующей ей конфигурацией производственной системы. Роли акцепторов (реципиентов) отведены сетям процессов, образующих операционный цикл деловой активности предприятия.

Особое и самостоятельное место в полиструктуре занимает организация «Основное производство». По двум причинам.

- Первая вытекает из особого места функции производства среди трех основных функций предприятия: закупки, производство, сбыт. Поставить и реализовать на рынке можно только то, что произведено с достаточным уровнем качества.
- Вторая причина заключается в том, что основное производство наследует практически все выходные результаты обоих циклов.

Мероприятия группы «РСБ» («Разработка структуры баланса»)

РСБ1. Результат второй группы мероприятий заключается в учреждении баланса плановых заданий для вклада в эффективность предприятия всех организаций – агентов, ответственных за достижение установленного уровня эффективности. Диаграмма, характеризующая структуру такого баланса, представлена на рисунке 2.3.2.

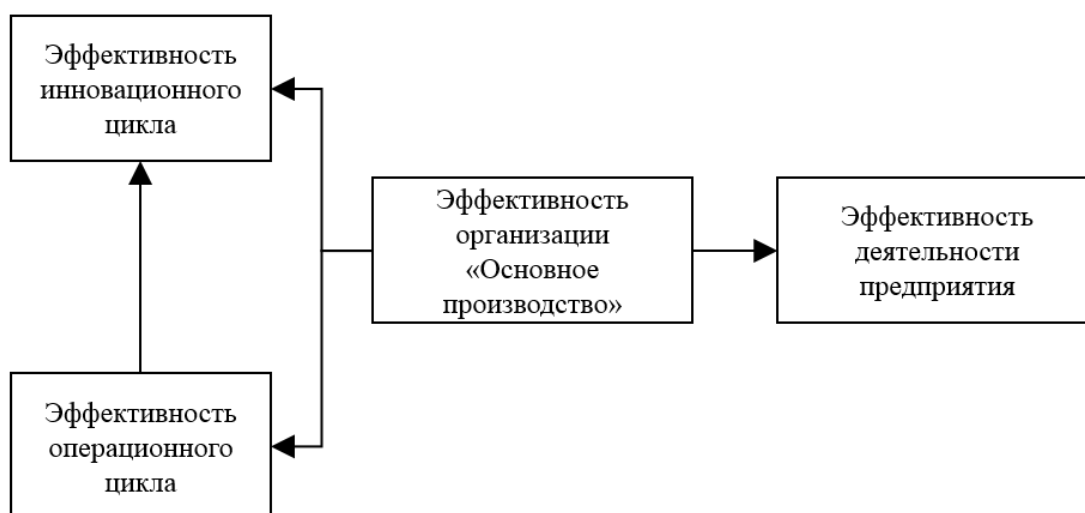


Рисунок 2.3.2 – Диаграмма отношений между оценками эффективности предприятия и его организаций

Здесь рассмотрены три источника эффективности деятельности предприятия: два рассмотренных цикла деловой активности и организация «Основное производство». При этом и операционный цикл и организация наследуют все положительные и отрицательные свойства инновационного цикла.

РСБ2. Рациональный баланс заданий по обеспечению эффективности достигается двумя путями. Первый путь – установление плановых заданий для каждой из организаций в соответствии с их текущими техническими возможностями. Второй путь – перераспределение плановых заданий между организациями и совершенствование собственной сети процессов взаимодействий между организациями – агентами производственной деятельности.

Мероприятия группы «МС» («Механизм Согласования»)

МС1. Выходной результат третьего мероприятия – механизм координации выходных результатов организаций – агентов производственной деятельности.

Координации подлежат выходные результаты всех объектов – акцепторов (реципиентов) каждого из циклов деловой активности на предмет их соответствия требованиям объекта – донора этого же цикла. Кроме того, выходные результаты обоих доноров и организации «Основное производство» подлежат координации между собой.

На рисунке 2.3.3 представлена диаграмма, иллюстрирующая разработанный механизм координации результатов деятельности организаций – агентов производственной деятельности.



Рисунок 2.3.3 – Коллекция классов возможных решений по результатам валидации выходного результата организации – агента производственной деятельности

Основу механизма составили приемы декомпозиции сложно организованной деятельности на целесообразным образом выделяемые и иерархически связанные между собой области деятельности (см. раздел 1.3) двух циклов и организации

«Основное производство». Диаграмма представляет собой поперечный срез двух, вступающих в диалог организаций – агентов из числа представленных на рисунке 2.3.1.

МС2. Механизм функционирует следующим образом.

а. Организация, выполняя свою агентскую роль в деятельности по обеспечению эффективности, формирует предложение по выходному результату, направленному на выполнение планового задания.

Такой вариант должен быть лучшим из возможных, т.е. в нем должны быть реализованы все резервы обеспечения качества результата, имеющиеся в распоряжении агента.

Полученный таким образом вариант результата направляется на процедуру валидации посредством получения реакции (отклика) основного производства на предложенный вариант.

б. Валидация предложенного решения выполняется посредством экспериментов с моделью основного производства.

Эксперимент выполняется не просто на модели производства, но в определенном смысле лучшим ее вариантом. Такое качество модели достигается посредством учета окружения процесса реализации предложенного решения.

Результат эксперимента – реакция (отклик) на валидируемый вариант решения.

с. Между границами взаимодействующих организаций реализуется буферная система, в рамках которой происходит диалог между организациями-агентами и принимается решение, касающееся содержания их агентских ролей.

Сначала выполняется оценивание результата процедуры валидации. На основании полученной оценки принимается один из пяти классов возможных решений, которые представлены на рисунке 2.3.3.

Предложенная на рисунке 2.3.3 коллекция возможных решений, принимаемых в интересах совершенствования выходного результата агентной модели (рисунок 2.3.1) позволяет поддержать функционирование этой модели.

2.4. Модель организации основного производства как ядра производственной деятельности предприятия

Модель производственной системы разработана с ориентацией на следующие варианты ее использования:

- *Валидация* решений, принимаемых организациями – агентами производственной деятельности для совершенствования сети своих внутренних процессов, а также совместных решений группы агентов, направленных на улучшение организации взаимодействия агентов друг с другом;
- *Планирование* работы производственных систем для выполнения отдельно взятых контрактов на поставку продукции предприятия потребителям с учетом особенностей текущей производственной обстановки (наличие возмущений, вносимых параллельно выполняемыми контрактами, технических перерывов в работе системы и пр.);
- *Разработка* приемов управления производственной деятельностью в интересах достижения установленных уровней результативности и эффективности предприятия;
- *Анализ* последствий реализации проектов модернизации и модификации производственных систем предприятия.

Список вариантов может быть продолжен, но общей для всех вариантов будет задача прогнозирования отклика (реакции) производственной системы на планируемый режим ее использования. Во всех случаях роль отклика отводится результатам экспериментов над моделью производственной системы. Пробные воздействия на модель могут быть статическими и динамическими. В первом случае отклик характеризует состояние системы, во втором – ее поведение.

Мерой отклика всегда выступает величина затрат на реализацию конкретного режима работы производственной системы. Расчет затрат должен

выполняться с использованием приемов постатейной калькуляции, т.е. посредством использования стандартных методик управленческого учета затрат.

Получаемые таким образом затраты могут быть использованы для получения любого вида показателей эффективности производственной деятельности, в том числе и показателя (2.1.2). С точки зрения настоящей работы его преимущество заключается в возможности управления эффективностью предприятия на основе целевых затрат.

Основу для разработки модели производственной системы предприятия (модели деятельности организации «Основное производство» предприятия) составили следующие исходные положения:

О1. Основу для организации производства изделий ракетно-космической техники и других наукоемких и высокотехнологичных изделий составляет метод дискретного машиностроительного производства. Анализ метода выполнен в разделе 2.1 работы, а термин, определяющий метод, приведен в таблице 2.2.2.

О2. Отечественный опыт построения систем дискретного машиностроительного производства обобщен в терминах предложенной в работе онтологии (раздел 2.2 работы). Полученные в ходе такого обобщения результаты сведены в диаграмму, представленную на рисунке 2.2.8.

Диаграмма отображает структуру композиции суперклассов объектов-документов, образующих нормативную основу для организации производственной деятельности предприятия. Композиция получена посредством использования семантической связки АРО между классами объектов, входящих в состав суперклассов диаграммы. Тем самым между объектами установлены связи, необходимые для последовательного наследования объектами-документами инкапсулированных в них данных.

О3. Требования к функциональным характеристикам изделия и обеспечивающим их выполнение характеристикам содержатся в конструкторских документах, а требования к условиям поставки продукции конкретному потребителю – в соответствующих контрактах.

04. Возможны два варианта поставки изделия: в форме базовой конфигурации и в форме контрактной конфигурации, т.е. отображающей индивидуальные запросы потребителя к функциональным характеристикам изделия. В последнем случае выпускается комплект конструкторских документов на изделие, адаптированных к условиям контракта.

05. Структура организации «Основное производство условно делится на стационарную и изменяемую части.

Стационарная часть устанавливает организационную структуру производственной системы (состав подсистем – цехов и участков и элементов – рабочих мест). Элементы системы в стационарной части представлены технологическим оборудованием рабочих мест. Тем самым формируется ландшафт производственной системы, на пространстве которого реализуется совместное движение материалов и ресурсов.

Система обладает поведением, которое характеризуется изменчивостью состава находящихся в движении материалов и ресурсов. По мере изменения поведения меняется и ландшафт системы посредством изменения свойств элементов – рабочих мест. Для этого они оснащаются той технологической оснасткой, которая необходима для выполнения конкретных работ над находящимися в потоке материалами.

06. Стоимость производственного потребления определяется как стоимость используемых для выполнения каждой из работ активов предприятия (материалов и ресурсов). Объем добавленной стоимости также определяется для каждой из выполняемых работ в соответствии со стоимостью производственного персонала и временем его привлечения к выполнению работы.

Транзакционные издержки подлежат оцениванию посредством расчета прироста стоимости незавершенного производства за время ожидания им своего потребления.

07. Совместное движение активов предприятия в ходе производства изделия координируется специальной информационной моделью. Она наилучшим

для конкретного случая образом сочетает в себе баланс все дисциплинирующих условий, следующих из перечисленных ранее исходных положений.

Представление этой модели устанавливает совокупность документов, образующих суперкласс «Производственные документы производственной системы», представленный на диаграмме рисунка 2.2.8. Представление любого из производственных документов состоит из двух частей: назначение и структура документа; представление процесса разработки документа посредством обмена данными между объектами, вошедшими в суперкласс «Производственные документы» и последующей обработки этих данных.

Процесс разработанной модели соответствует процессу Организационно – Технической Подготовки Производства (ОТПП). По ходу реализации процесса последовательно формируется информационная модель производственного процесса. Выходной результат процесса – рабочие графики поставки предметов производства.

Модель будет представлена в следующем порядке. Вначале будет представлена модель стационарной части структуры производственной системы и процессы ее изменения. Далее последовательно будут представлены модели производственных документов: технологической схемы сборки изделия, сети внутренних поставок, процессов производства изделия и оценивания затрат на выполнение каждой из образующих их операций, сетевых графиков производства. В заключение представлено описание рабочих графиков поставки предметов производства.

*1. Модель структуры стационарной части основного производства.
Процессы изменения элементов стационарной части.*

В отечественном машиностроении производственную систему предприятия называют организацией «Основное производство» [108], [56]. Ее функция заключается в производстве и поставке продукции предприятия потребителям. Структура организации должна обеспечить рациональный баланс между запрашиваемыми со стороны характеристик продукции технологическими

возможностями основного производства и располагаемыми им технико-экономическими характеристиками [109]. Как правило, стремятся к некоторому «превышению» располагаемых характеристик над возможностями.

Роль концептуальной основы для построения структуры постоянной части основного производства отведена понятию технологических систем [110], [111], [112], [113], [114].

Технологическая система – это совокупность взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей (операторов), предназначенных для выполнения в регламентированных условиях заданного набора операций/наборов операций.

Схема, иллюстрирующая состав классов технологических систем, представлена на рисунке 2.4.1.

Представление технологических систем

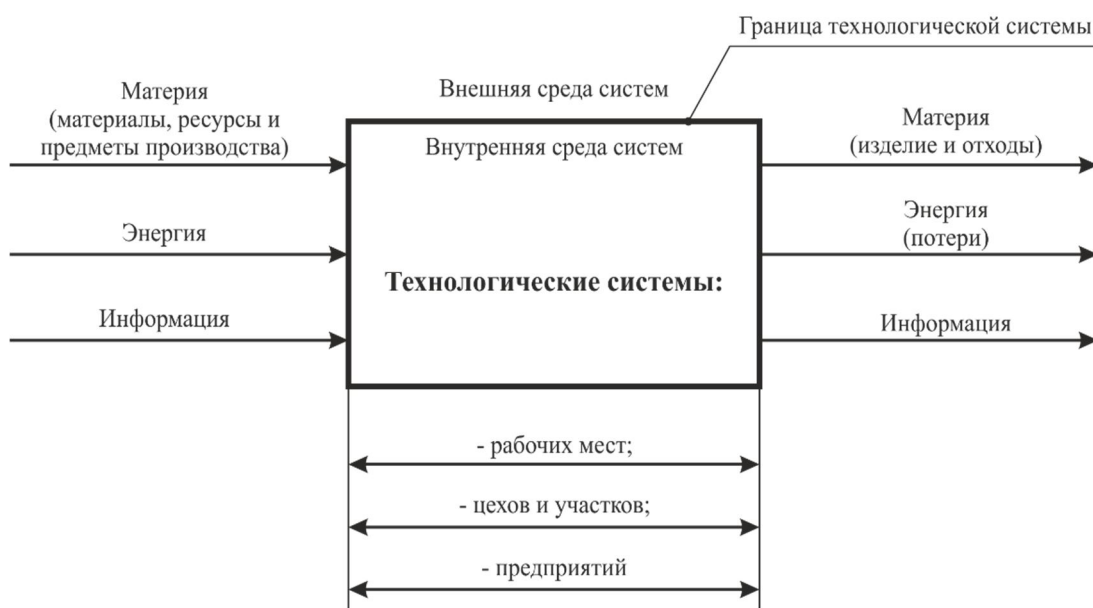


Рисунок 2.4.1 – Модель технологических систем

В таблице 2.4.1 представлено традиционное для российских предприятий описание классов технологических систем. Описание полностью соответствует предложенной в разделе 2.2 онтологии, а определения каждого из классов приведено в таблице 2.2.2.

Таблица состоит из четырех столбцов и четырех строк. Первые два столбца содержат порядковые номера (от 0-го до 3-го) и наименования классов, в третьем и

четвертом столбцах указаны типы управленческой деятельности и состав функций, реализуемых каждым из классов соответственно.

Строки таблицы содержат характеристики каждого из четырех классов: цех/производство, производственный участок/производственная ячейка, рабочее место и технологическое оборудование.

Таблица 2.4.1 – Описание классов технологических систем

Иерархия классов технологических систем основного производства:		Типы управлений производственной деятельностью	Содержание выполняемых функций
- номера классов	- наименования классов		
3	Цех (производство)	Оперативное управление производственными процессами	<ol style="list-style-type: none"> 1. Разработка модели и план-графика движения производственных потоков. 2. Наблюдение за ходом производства. 3. Принятие и реализация решений по предупреждению возможных отклонений. 4. Обеспечение бесперебойного хода производства.
2	Производственный участок (производственная ячейка)	Оперативное регулирование (диспетчирование) производственных процессов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Наблюдение за ходом производства. 2. Реализация решений по коррекции хода производства. 3. Обеспечение бесперебойного хода производства.
1	Рабочее место	Управление процессом изготовления предмета производства	<ol style="list-style-type: none"> 1. Текущее наблюдение за ходом процесса производства. 2. Регулирование хода производственного процесса.
0	Технологическое оборудование	Управление технологическим оборудованием	<ol style="list-style-type: none"> 1. Наблюдение за выполнением регламента работы. 2. Регулирование работы оборудования.

Цехи, как главный элемент дискретного машиностроительного производства, разделяют на два класса: предметной и технологической специализаций.

Предметная специализация подразумевает присвоение цеху функции поставки (внутренней или внешней) набора компонентов. Номенклатуру набора определяют по признаку общности присущих им конструкторских и

технологических признаков. Компоненты, производимые предприятием для их поставки внешним потребителям, называют финальными изделиями.

Каждый из цехов технологической специализации реализует определенный подкласс основных технологических методов (например, термическая и гальваническая обработка, изготовление литых, кованных и горячештампованных заготовок и т.п.) [115]. Их функция – оказание технологических услуг цехам предметной специализации.

Технологической системе S присуще поведение во времени, и в текущий момент времени t она принимает состояние $S(t)$. За меру текущего состояния технологических систем принят уровень их надежности по показателям: качества продукции Q ; производительности R ; расхода ресурсов C .

Для системы S определено множество допустимых состояний \tilde{S} . Текущее состояние системы принадлежит множеству допустимых состояний ($S(t) \subset \tilde{S}$) или же не принадлежит ему ($S(t) \not\subset \tilde{S}$). Условие принадлежности $S(t) \subset \tilde{S}$ выполняется в том, и только в том случае, когда

$$S(t) \subset \tilde{S} \Rightarrow \{Q(t) \subset \tilde{Q}; R(t) \subset \tilde{R}; C(t) \subset \tilde{C}\}, \quad (2.4.1)$$

где $Q(t)$, $R(t)$, и $C(t)$ – текущие состояния системы по показателям качества, производительности и расхода ресурсов соответственно; \tilde{Q} , \tilde{R} и \tilde{C} - множества допустимых состояний системы по показателям качества, производительности и расхода ресурсов соответственно.

Метод дискретного машиностроительного производства подразумевает закрепление за каждым из рабочих мест определенного набора работ. Каждая из работ может состоять из одной или нескольких операций. Переход от одной работы к другой сопровождается изменением конфигурации рабочего места с целью изменения параметров присущих ему функций. Процесс такого перехода называют переналадкой технологической системы рабочего места. Это относится и к другим классам технологических систем.

Рассмотрим способы оценивания надежности технологических систем по показателям производительности с учетом процесса их переналадки. Выделяют два

показателя производительности: операционная $Q_{оп}$, характерная для изготовления экземпляра изделия из партии (серии) и фактическая $Q_{фк}$, – для партии (серии).

Операционная производительность $Q_{оп}$ равна

$$Q_{оп} = K \cdot \eta_{оп}, \quad (2.4.2)$$

$$(Q_{оп})_{max} = \frac{1}{t_0} = K, \quad (2.4.3)$$

$$\eta_{оп} = \frac{1}{1+(1-\alpha_{оп})t_в/t_0}, \quad (2.4.4)$$

$$t_{оп} = t_0 + (1 - \alpha_{оп})t_в, \quad (2.4.5)$$

где, t_0 и $t_в$ – промежутки времени, нормируемые непосредственно для выполнения работ по изменению состояния и/или положения предмета производства и на создание условий, необходимых для выполнения этих работ соответственно; $t_{оп}$ – длительность операционного цикла; $0 \leq \alpha_{оп} \leq 1$ – степень перекрытия вспомогательного времени основным; $\eta_{оп}$ – коэффициент полезного использования операционного цикла.

Максимальная производительность $(Q_{оп})_{max}$ имеет место при $t_в = 0$. Это значение показателя производительности имеет важное значение для дальнейшего анализа, поэтому ему присвоены оригинальные обозначение K и наименование – технологическая производительность. K технологической производительности можно только приближаться, но превзойти ее невозможно.

Фактическую производительность $Q_{фк}$ оценивают аналогичным образом:

$$Q_{фк} = Q_{оп} \cdot \eta_{фк} = K \cdot \eta_{оп} \cdot \eta_{фк}, \quad (2.4.6)$$

$$\eta_{фк} = \frac{1}{1+(1-\alpha_{фк})t_{шк}/t_{оп}}, \quad (2.4.7)$$

$$t_{\text{шк}} = t_{\text{оп}} + \frac{T_{\text{пз}}}{m}, \quad (2.4.8)$$

где, $T_{\text{пз}}$ – подготовительно-заключительное время, используемое непосредственно для переналадки рабочего места, и нормируемое в расчете на партию/серию из m предметов производства; $t_{\text{шк}}$ – доля штучно-калькуляционного времени, приходящаяся на один предмет производства; $0 \leq \alpha_{\text{фк}} \leq 1$ – степень перекрытия штучно-калькуляционного времени $t_{\text{шк}}$ оперативным $t_{\text{оп}}$; $\eta_{\text{фк}}$ – коэффициент полезного использования фактического цикла.

Процесс переналадки технологической системы рабочего места иллюстрируется на рисунке 2.4.2.

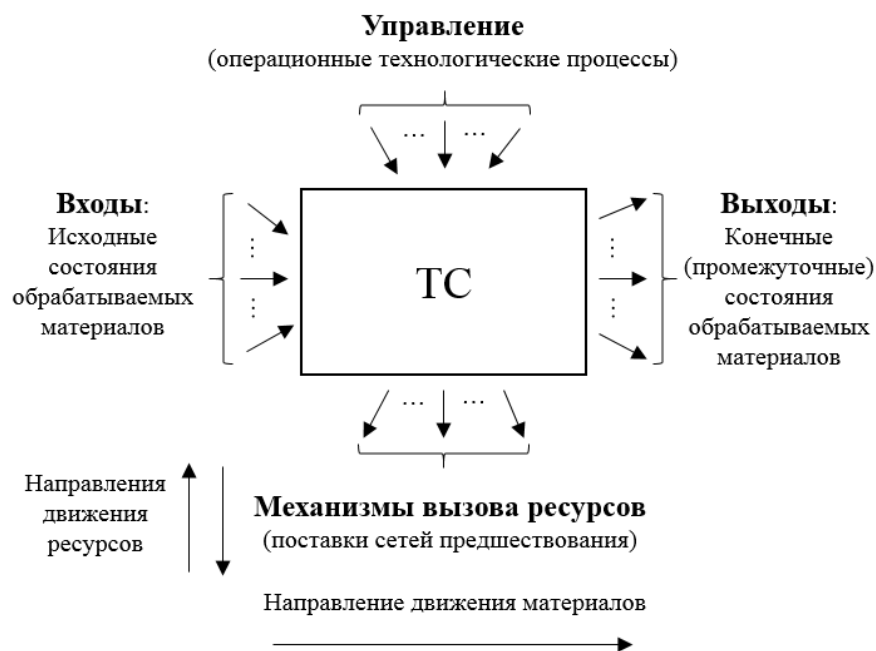


Рисунок 2.4.2 – Процесс переналадки технологической системы рабочего места

В конкретной производственной обстановке технологическая система получает сигнал к выполнению конкретной работы. С этого момента начинается процесс ее переналадки с целью преобразования системы в рабочую машину, цель функционирования которой сводится к изготовлению конкретного предмета производства.

Процесс переналадки сводится к последовательному выполнению двух групп действий: вызова необходимого для выполнения работы набора технологической оснастки и размещению его в рабочей зоне технологического оборудования. Каждую переналадку можно считать экземпляром реализации технологической системы определенного класса.

Предложенная структура процесса переналадки технологических систем позволяет прояснить различия между понятиями «Основное производство» и тем термином «Производственная система», которое приведено в таблице 2.2.2.

Организационную структуру основного производства (стационарная часть основного производства) будем рассматривать как набор технологических систем, обладающих определенными функциональными возможностями. В результате ее переналадки параметрам функциональных возможностей стационарной части присваиваются те значения, которые необходимы для производства конкретного изделия с заранее установленными уровнями результативности и эффективности. Необходимые значения параметров содержатся в информационной модели производственной системы.

Таким образом, любую из производственных систем следует считать экземпляром реализации стационарной части основного производства.

2. Представление модели технологической схемы сборки изделия.

Технологическая схема сборки – результат декомпозиции собираемого изделия на самостоятельно выполняемые по последовательно-параллельной схеме этапы сборки.

Для представления всей схемы сборки и каждого из ее этапов используют представление процесса комплектации финального изделия компонентами собственного производства.

Роль входа процесса отводится графу сборочного состава изделия. Он представляет собой отображение конструкторской спецификации изделия. Процесс реализуется посредством последовательного выполнения процедур:

- *Выделение* из исходного графа тех вершин, которым соответствуют компоненты собственного производства предприятия. В результате выделяется подграф, определяющий сборочный состав компонентов собственного производства;
- *Составление* списков (перечней) закупаемых компонентов (списков типа ВОР – Bill Of Materials, комплектующих изделий [116]) и передача их специализированным организациям предприятия;
- *Последовательный* анализ подграфа начиная с его корневой вершины с целью выделения из числа компонентов, комплектующих финальное изделие тех, которые в ходе выполнения сборочных работ подвергаются дополнительной обработке. На выделенные таким образом компоненты разрабатывают технические условия на поставку, которые подлежат передаче производителям компонентов. Поскольку на предприятиях ракетно-космической промышленности общепринята смешанная система технологической подготовки производства, технические условия на поставку компонентов разрабатывают цехи-потребители этих компонентов;
- *Представленную* процедуру анализа подграфа продолжают вплоть до полного исчерпания вершин, которым соответствуют компоненты – сборочные единицы.

Технологическая схема сборки графически изображается в форме древовидной диаграммы. Структура технологической схемы сборки показана на рисунке 2.4.3.

Правила оформления технических условий на поставку компонентов должны соответствовать требованиям ГОСТ 2.114-95 в части оформления чертежей изделий, изготавливаемых в различных производственно-технологических вариантах. Возможные периоды действия технических условий: бессрочный, ограниченный календарным сроком, ограничен условиями выполнения отдельного контракта.

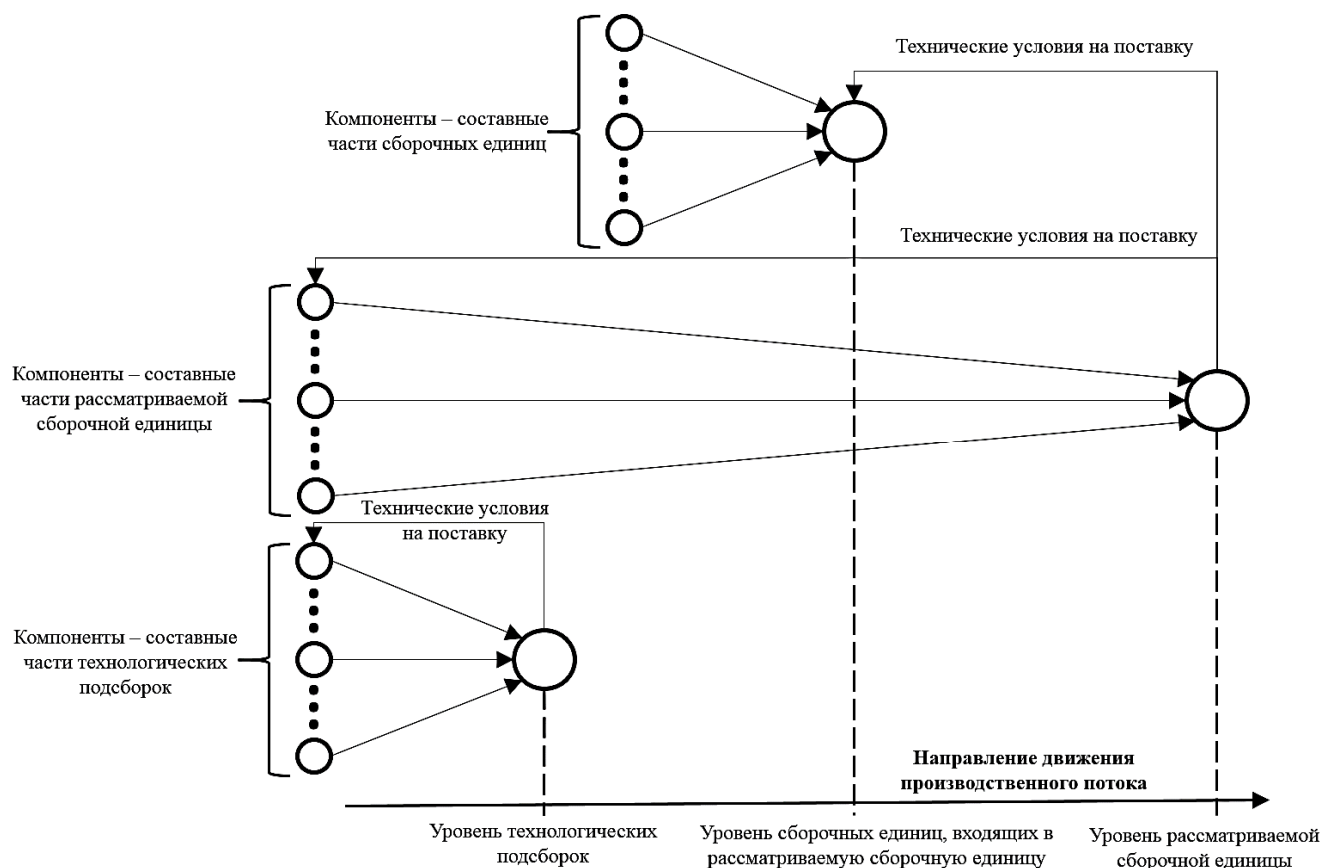


Рисунок 2.4.3 – Структура технологической схемы сборки изделия

3. Представление модели сети внутренних поставок.

Сеть внутренних поставок предметов производства рассматривается как сетевая модель каналов поставки компонентов, исходных материалов и ресурсов, потребляемых в ходе производства финального изделия [117], [118]. Это древовидная диаграмма, корневая вершина которой соответствует цеху-производителю финального изделия, промежуточные – цехам, производящим компоненты, терминальные – цехам или складам исходных материалов и ресурсов.

В основу модели сети внутренних поставок положены следующие положения.

ОМСВП.1. Цель функционирования сети заключается в реализации процесса комплектации цеха-производителя финального изделия всеми элементами, потребляемыми цехом для сборки финального изделия. Режим поставок устанавливается в соответствии с условиями выполнения контракта.

Тем самым конфигурация сети поставок индивидуальна, и должна разрабатываться для каждого из контрактов, но в соответствии со складывающейся производственной обстановкой.

ОМСВП.2. Режим работы сети должен обеспечить минимально необходимые складские запасы компонентов (и закупаемых, и собственного производства) у внутренних поставщиков и потребителей. Другими словами, режим должен обеспечивать реализацию на плановой основе «вытягивающей» схемы поставок.

ОМСВП.3. Состав классов исходных материалов и ресурсов соответствует суперклассам, структуры которых представлены на рисунках 2.2.6 и 2.2.7.

ОМСВП.4. Вершинам сети поставлены структурные подразделения организационной структуры производственной системы предприятия, выполняющие роли агентов сети поставок. Вершины объединяются в пары посредством дуг, исходящих из вершины, соответствующей агенту-поставщику, и входящих в вершину, соответствующую агенту-потребителю.

Каждой из дуг ставится в соответствие канал поставки. Различают первичные каналы, по которым циркулируют компоненты собственного производства, и вторичные каналы для поставки исходных материалов, ресурсов, покупных и комплектующих изделий (ПКИ).

Роли истока и стока первичных каналов всегда выполняют цехи предметной специализации. За каждым из них закреплен перечень производимой ими конечной продукции в форме компонентов финального изделия.

ОМСВП.5. По каждому из каналов передается комплект предметов поставки. Номенклатурный состав предметов поставки устанавливается перечнем или списком (списки типа BOM) комплектующих/комплектующих предмет поставки. Номенклатурные списки разделяют на группы по признакам: состав пары «Поставщик – Потребитель» и принадлежности поставки к соответствующим классам материалов и ресурсов.

Для каждого из предметов поставки должны быть установлены идентифицирующие их атрибуты: наименование, технические условия на

поставку, требуемое количество, время или временной диапазон осуществления поставки. Фрагмент структуры сети поставок представлен на рисунке 2.4.4.



Рисунок 2.4.4 – Фрагмент структуры сети поставок

Здесь рассматривается элемент цепи поставок компонентов собственного производства. Первичный канал поставки связывает цех-производитель комплектующих компонентов с цехом-производителем комплектуемого компонента. Компоненты движутся по сети поставок слева-направо.

Каждый из цехов выполняет роль потребителя исходных материалов, ресурсов и ПКИ. Они поступают по вторичным каналам поставки.

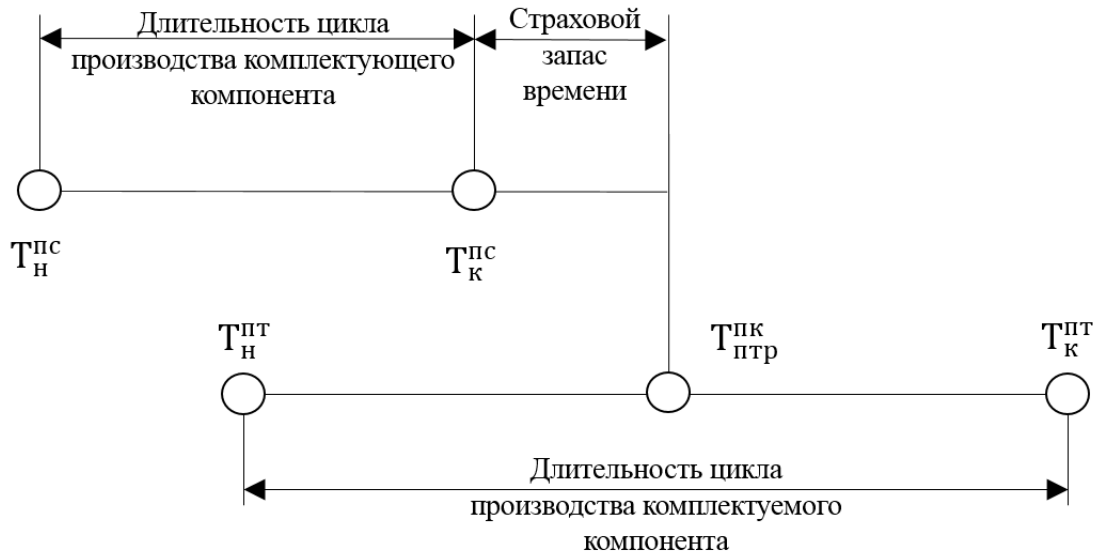
Процесс разработки структуры сети и режимов работы каналов сводится к последовательному выполнению следующих мероприятий.

1. Начиная с корневой вершины сети разрабатывается номенклатурный перечень предметов поставки. Перечень разделяется на разделы по признаку принадлежности элемента номенклатурного списка агенту-поставщику.

2. Для каждого из элементов номенклатурного списка устанавливаются атрибуты, характеризующие его свойства: наименование, технические условия и требуемое количество.

3. Каждому из элементов номенклатурного списка ставится в соответствие плановый срок или временной диапазон для завершения поставки.

Схема, иллюстрирующая порядок установления сроков, представлена на Рисунок 2.4.5.



Условные обозначения:

$T_H^{пс}$, $T_к^{пс}$ – события начала и завершения цикла производства комплектующего компонента;

$T_H^{пт}$, $T_к^{пт}$ – события начала и завершения цикла производства комплектующего компонента;

$T_{птк}^{пк}$ – событие возникновения потребности в комплектующем компоненте.

Рисунок 2.4.5 – Схема определения событий процесса поставки

Здесь представлены два параллельно реализуемых цикла: производства комплектующего компонента и комплектующего компонента. Каждый из циклов ограничен событиями: начала T_H и завершения $T_к$ производства компонентов.

На пространстве цикла производство комплектующего компонента выделяется точка потребности в комплектующем компоненте (событие $T_{птк}^{пк}$). Событие $T_к^{пс}$ завершения комплектации цеха-производителя комплектующим компонентом определяется с учетом некоторого страхового запаса времени. От этого события отсчитывается длительность цикла производства комплектующего компонента.

Аналогичным образом планируется срок завершения поставок каждого из элементов номенклатурных списков исходных материалов ресурсов и ПКИ.

4. Перечисленные процедуры разработки номенклатурных перечней поставки последовательно повторяют для всех промежуточных вершин сети до вершин соответствующих компонентам-деталям изделия.

Перечни закрепляемых за промежуточными вершинами сети предметов поставки используются соответствующими этим вершинам циклами как плановые задания, и на их основе они разрабатывают перечни необходимых им поставок.

4. Представление модели процессов производства изделия.

Процесс производства представляет собой структурированный набор операций или работ, выполняемых для преобразования исходного материала в законченный компонент изделия.

Понятия операций и работ будем различать. Операция содержит описание регламента выполнения определенного набора действий с предметом производства в течение нормированного промежутка времени – от события начала операции до события ее завершения. Работа отличается от операции тем, что событиям ее начала и завершения ставятся в соответствие соответствующие календарные сроки.

Модель процессов производства (МПП) базируется на совокупность следующих исходных положений.

МПП.1. Исходным представлением модели служит технологический процесс изготовления компонента изделия. Главная цель технологического процесса заключается в обеспечении установленного уровня качества компонента в условиях строго нормированного производственного потребления материалов и ресурсов.

Технологический процесс изготовления k -го компонента Π_T^k представляет собой множество технологических операций T_x [108], [119]:

$$\Pi_T^k = \{(T_x)_{ik}^k\}_{IK}; \quad 1 \leq k \leq IK, \quad (2.4.9)$$

где ik и IK – порядковый номер технологической операции и их количество в процессе.

Между операциями технологического процесса установлены отношения (предшествования – следования). Эти отношения не могут быть нарушены ни при каких условиях. Поскольку отношения установлены в пределах множества операций относимых к конкретному процессу, их следует считать линейно упорядоченными.

МПП.2. Цель любой из технологических операций заключается в изменении и последующем определении свойств и состояния предмета производства. Их принято делить на четыре класса:

- *Перемещения* P_m , цель которых заключается в перемещении предмета производства между местами выполнения прочих технологических операций;
- *Трансформации* T_p предмета производства с целью изменения свойств предмета производства;
- *Контроля* (инспекции) K_p качества предметов производства;
- *Хранения* X_p предметов производства в форме складских запасов.

Возможные экземпляры подклассов приведены в классификаторе технологических операций [119].

МПП.3. Каждой из технологических операций ставится в соответствие технологическое необходимое время ее выполнения. Оно определяет длительность цикла выполнения операций. Началу цикла соответствует событие начала T_x^H операции и событие T_x^K ее завершения.

МПП.4. Стоимость производственного потребления будем разделять исходя из следующего:

Поскольку стоимость материала C_m полностью и одноразово переносится на стоимость компонента, будем считать:

$$C_m = c_m \cdot H_m, \quad (2.4.10)$$

где c_m и H_m – стоимость единицы массы материала и норма его потребления соответственно.

Остаточная стоимость любого из ресурсов (текущая стоимость ресурса как актива предприятия) переносится на стоимость компонента посредством амортизации, т.е. пропорционально времени его потребления в ходе реализации операции. Стоимость производственного потребления j -го ресурса равна

$$C_j = c_j \cdot t_j, \quad (2.4.11)$$

где C_j и c_j – стоимость потребления и удельная стоимость (приведенная к единице времени потребления) j -го ресурса соответственно; t_j – время потребления j -го ресурса.

МПП.5. Метод дискретного машиностроительного производства подразумевает использование поточной формы организации технологических процессов [120], которая предусматривает изготовление компонента в пределах однокомпонентной поточной линии.

Линия сбалансирована в том смысле, что преобразование предмета производства реализуется на расположенных в порядке следования операций рабочих местах. Цикл работ каждого из рабочих мест выровнен – его продолжительность не превышает ритма выпуска компонента.

МПП.6. Идеальной моделью поточной линии считается конвейер с перемещающимся предметом труда. Конвейер в чистом виде реализует технологический процесс Π_T^k изготовления k -го компонента.

В предложенной модели производственного процесса Π_{Π}^k изготовления k -го компонента в качестве основы взята поточная форма организации технологического процесса Π_T^k . В силу особенностей реализации метода дискретного машиностроительного производства соответствующая этой форме поточная линия потенциально не сбалансирована. Уровень сбалансированности можно улучшить, но всегда будет существовать остаточная несбалансированность.

Рассмотрим источники несбалансированности линии и способы оценки ее последствий.

Источники несбалансированности кроются в структуре линии и режиме ее работы.

Рассмотрим структуру несбалансированной производственной поточной линии:

- *Каждая* из операций технологического процесса или набор выполняемых операций закрепляется за определенной технологической системой рабочего места.
- *Места* дислокации технологических систем не соответствуют порядку выполнения операций. Как следствие, между операциями трансформации предмета производства располагаются операции перемещения, длительность которых нельзя считать постоянной в пределах всего процесса.
- *Нормируемая* длительность операций трансформации предмета производства не подвергается выравниванию по следующим причинам. Во-первых, режимы выполнения каждой из этих операций определяются исключительно особенностями конструкции компонента и условиями обеспечения заданного уровня качества. Поэтому их трудно разделить на отдельные действия, имеющие одинаковую продолжительность их реализации. Во-вторых, технологическая операция обязательно включает в себя действия, необходимые для переналадки технологической системы. Состав таких действий и продолжительность каждого из них определяются исключительно техническими характеристиками технологического оборудования как основного элемента технологической системы;
- *Компоненты* изготавливаются партиями/сериями, и этими же партиями/сериями движутся между рабочими местами.
- *Следствием* перечисленных особенностей структуры и характеристик образующих ее элементов является то, что ритм работы линии (количество единиц компонентов, изготавливаемых в единицу времени

[116]) не может быть меньше ритма того рабочего места, которое обладает наименьшей пропускной способностью.

Как следствие, те экземпляры партии/серии, которые завершили предыдущую операцию вынуждены ожидать начала следующей операции. В результате в составе линии образуются буферные зоны с незавершенным производством, в которых находятся частично изготовленные компоненты.

Продолжительность межоперационных ожиданий $t_{ож}$ различна и на протяжении такого ожидания стоимость компонента C_T^{ik} увеличивается. Степень такого увеличения может оценена разными способами. Один из которых – начисление процента пропорционального времени ожидания $t_{ож}$:

$$C_T^{ik} = \sum_{ik=1}^{IK} (C_T)_{ik}^k (1 + \gamma)^{(t_{ож})(i+1)k} \quad (2.4.12)$$

где $(C_T)_{ik}^k$ – накопленная после выполнения ik -ой операции технологическая себестоимость C_T компонента; $(i + 1)k$ – номер той операции, выполнение которой ожидает компонент; γ – процентная ставка прироста C_T .

Модель производственного процесса Π_{Π}^k , реализуемая в рамках несбалансированной производственной линии представлена в виде:

$$\Pi_{\Pi}^k = \{(O_{\Pi})_{ik}^k\}_{IK}; \quad (2.4.13)$$

$$O_{\Pi ik}^k = (T_x)_{ik}^k \cup (O_{ж})_{ik}^k, \quad (2.4.14)$$

где O_{Π} и $O_{ж}$ – операция производственного процесса и входящая в ее состав операция ожидания.

Операции $(O_{\Pi})_{ik}^k$, образующие множество Π_{Π}^k , упорядочены на пространстве событий начала и завершения операций $(O_{ж})_{ik}^k$, но технологические операции $(T_x)_{ik}^k$ в рамках производственного процесса Π_{Π}^k следует считать частично упорядоченными.

Операции $O_{ж}$ соответствуют потерям, и единственным путем их уменьшения выступает процесс балансировки поточной линии. Инструменты такой балансировки можно объединить в две группы.

Мероприятия первой группы подразумевают включение в состав линии дополнительных рабочих мест, которые используют параллельно с теми рабочими местами, пропускная способность которых признана недостаточной.

Дополнительные рабочие места могут двух видов: альтернативные (их технологические системы неидентичны системе основного рабочего места, но допускают выполнение рассматриваемой операции, хотя и с другими технико-экономическими показателями) и идентичные.

Во вторую группу включают процедуры дробления объема партии/серии предметов производства линии на более мелкие части. Процедура дробления партии/серии реализуется в месте прохождения ею того рабочего места, пропускная способность которого признана недостаточной.

Объем выделяемой части определяют исходя из потребности того цеха в тех компонентах, которые изготавливаются линией. В этих случаях ритм выпуска линии остается неизменным, но не наносит ущерб работе цехов-потребителей компонентов.

Еще раз стоит отметить, что даже в случае выполнения всего возможного комплекса мероприятий для уменьшения уровня достаточной несбалансированности поточной линии, она всегда будет обладать остаточным уровнем несбалансированности.

Реализация любого сочетания мероприятий, направленных на увеличение сбалансированности поточной линии влечет за собой изменение конфигурации соответствующего ей конвейера. По сравнению с идеальным вариантом прямого конвейера, конфигурация предусматривает включение в конвейер дополнительных рабочих мест и возможное уменьшение объема партий/серий предметов производства, передаваемых между рабочими местами, что потребует дополнительной координации выполнения операций перемещения $P_{м}$.

Сформированную таким образом конфигурацию всегда следует рассматривать как результат объединения нескольких виртуальных конвейеров, каждому из которых соответствуют свои значения ритма выпуска компонентов и технико-экономических показателей функционирования.

Выбор виртуального конвейера диктуется особенностями его реализации с учетом конкретной производственной обстановки. Реализацию виртуального конвейера будем рассматривать как поток последовательно выполняемых работ.

Для любого производственного потока характерны: своя топография рабочих мест на пространстве организационной структуры; при этом для каждого из рабочих мест характерна конкретная пропускная способность. Остаточную несбалансированность расхода предметов производства внутри потока будем считать уровнем остаточных потерь. За меру таких потерь следует принять стоимость поддержания находящегося внутри потока незавершенного производства $C_{\text{нзп}}^k$:

$$C_{\text{нзп}}^k = \sum_{ik=1}^{IK} (C_{\text{T}})_{ik}^k (1 + \gamma)^{(t_{\text{ож}})_{(i+1)k}} - \sum_{ik=1}^{IK} (C_{\text{T}})_{ik}^k \quad (2.4.15)$$

Текущему состоянию технологического процесса соответствует оценка эффективности в соответствии с выражением (2.1.2). Поскольку любые оценки стоимости производства рассматриваются обычно как мультипликативная функция, роль единственного аргумента которой отводится технологической себестоимости, именно она использована для оценивания производственных затрат.

Технологическая себестоимость производства k -го компонента равна:

$$C_{\text{T}}^k = c_{\text{МО}}^k H_{\text{МО}}^k + \sum_{ik=1}^{Ik} \left[(c_{\text{МВ}})_{ik} (H_{\text{МВ}})_{ik} + \sum_{jik=1}^{Jik} (c_{\text{РС}})_{jik} t_{jik} \right]_{ik} \quad (2.4.16)$$

где, $c_{\text{МО}}^k$ и $H_{\text{МО}}^k$ – удельная стоимость и норма расхода основных материалов, расходуемых на изготовление k -го компонента соответственно; $(c_{\text{МВ}})_{ik}$ и $(H_{\text{МВ}})_{ik}$ – удельная стоимость и норма расхода вспомогательных материалов,

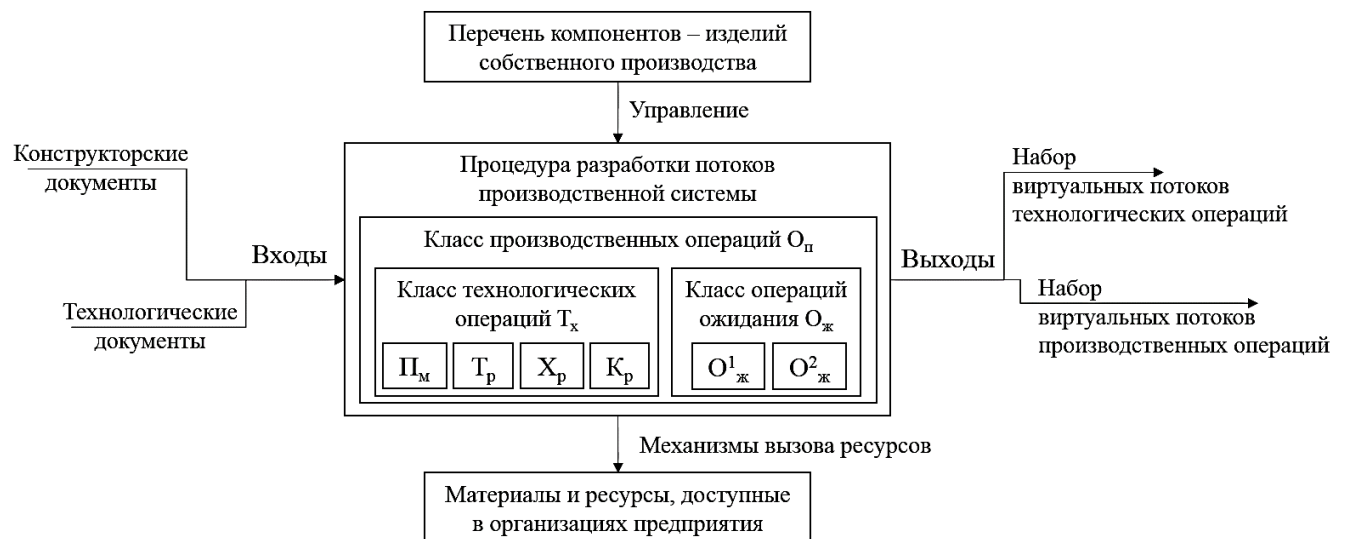
потребляемых в ходе выполнения ik -ой технологической операции; $(C_{PC})_{jik}$ и t_{jik} – удельная стоимость и время потребления j -го ресурса в ходе выполнения ik -ой технологической операции и время потребления этого ресурса.

Технологическая себестоимость выполнения отдельно взятой, $(i+1)k$ -ой, операции равна:

$$(C_T^k)_{(i+1)k} = C_{ik}^k(1 + \gamma^k)^{(t_{ож})_{(i+1)k}} + (C_T^k)_{(i+1)k} \quad (2.4.17)$$

где γ^k – процентная ставка на кредит; $(t_{ож})_{(i+1)k}$ – время ожидания начала $(i+1)$ -ой операции.

Перейдем к представлению процесса разработки рассматриваемых моделей. Организация процесса представлена на рисунке 2.4.6.



Классы операций:

– технологических T_x , включающий подклассы:

P_m – операции перемещения;

T_p – операции трансформации;

X_p – операции хранения;

K_p – операции контроля (инспекции) качества.

– ожидания $O_ж$, включающий подклассы:

$O_ж^1$ – включаемые в поток работ;

$O_ж^2$ – находящиеся за пределами потока работ.

Рисунок 2.4.6 – Организация процесса разработки производственных потоков

Входами процесса служат комплекты рабочих конструкторских и технологических документов. При этом технологические документы должны содержать полный набор всех конфигураций технологического процесса.

Роль выходов процесса отведена двум наборам виртуальных потоков: технологических операций и производственных операций.

В теории логистики [95] под потоком понимают направленное движение чего-либо однородного. С физической точки зрения поток характеризуется расходом, т.е. количеством перемещаемого в потоке объекта в единицу времени. В моделях рассматриваемых потоков роли движущихся объектов отведены информационным моделям предметов производства и предметов труда.

Процесс подвержен управлению в форме перечней компонентов – изделий собственного производства. Каждый из перечней соответствует конкретному цеху предметной специализации.

Процесс реализует механизмы вызова из других подразделений необходимые для производства конкретного компонента материалы и ресурсы.

Центральное место на рисунке 2.4.6 отведено процедурам разработки потоков. Будем различать две группы процедур: разработки потока технологических операций и разработки потока производственных операций.

Исходным представлением потока технологических операций служит технологический процесс изготовления компонента. Каждой из операций ставится в соответствие описание механизма вызова необходимых материалов и ресурсов. Описание должно содержать:

- *Номенклатурные* перечни материалов и ресурсов с указанием источника их поставки;
- *Потребные* нормы расхода каждого из элемента номенклатурных списков в расчете на единицу;
- *Период* опережения события завершения поставки каждого из элементов номенклатурных списков относительно события начала технологической операции.

Исходным представлением потока производственных операций служит поток технологических операций. Над каждой из образующих его технологических операций выполняются следующие действия:

- Дополнения ее, когда это необходимо, операцией ожидания $O_{\text{ж}}^1$. Тем самым технологическая операция преобразуется в производственную;
- Оценивание продолжительности операции ожидания с последующим определением события завершения производственной операции. Продолжительность последней определяется как промежуток времени между событием начала технологической операции и ранее установленным событием завершения производственной операции;
- Разработка описания вызова материалов и ресурсов, необходимых для реализации операции ожидания. Структура описания та же, что была определена ранее.

Процедуры разработки представлений потоков иллюстрируются на рисунке 2.4.7. Здесь представления потоков изображены в форме виртуальных конвейеров.

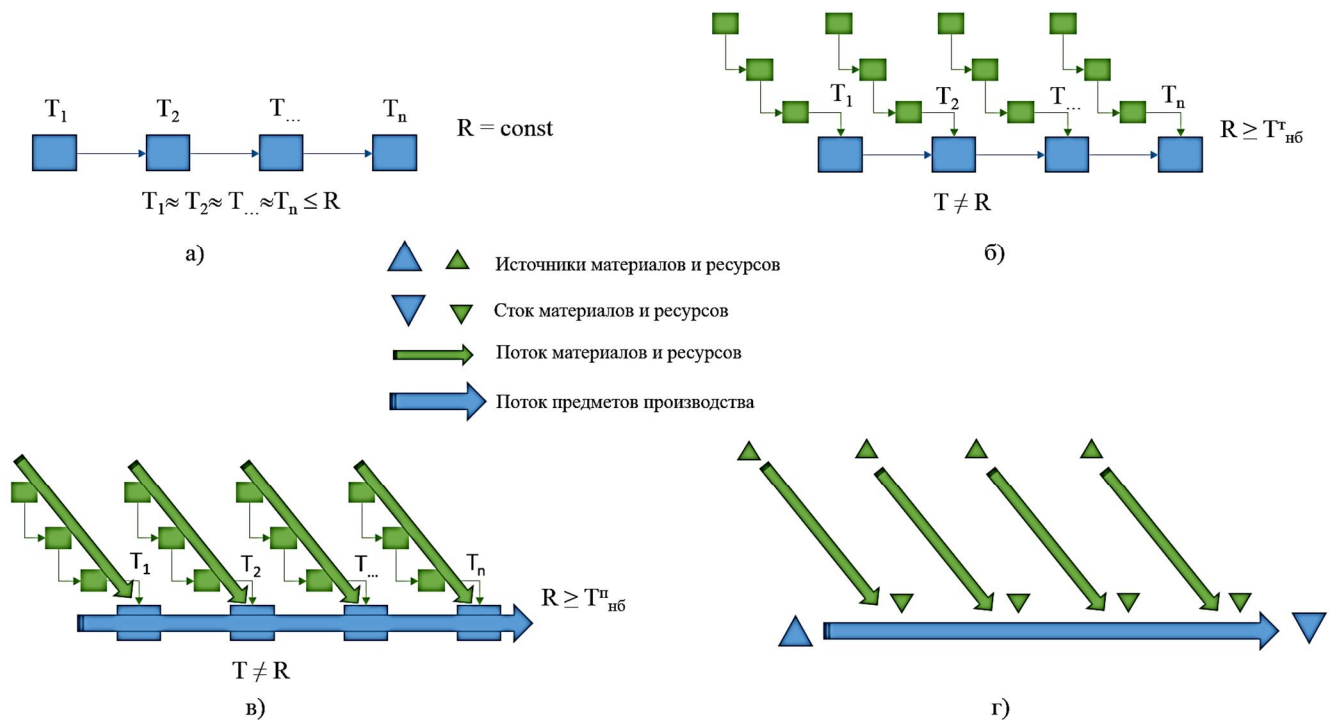


Рисунок 2.4.7 – Представление потоков технологических и производственных операций

На рисунке 2.4.7а представлена структура идеального, т.е. полностью сбалансированного конвейера. В ней продолжительности циклов T выполнения

работ на всех рабочих станциях приблизительно равны и не превышают ритма R движения конвейера.

Конвейеры, соответствующие разработанным представлениям потоков, не сбалансированы, т.е. $T \neq R$, где R – длительность цикла выполнения работ на той рабочей станции, пропускная способность которой признана наименьшей. В них ритм движения конвейера не может быть меньше продолжительности выполнения работы на той станций, пропускная способность которой признана наименьшей.

На рисунке 2.4.7б приведена схема, иллюстрирующая совместное функционирование конвейеров, реализующих поток технологических операций. Здесь работа конвейера, в рамках которого движутся предметы производства, синхронизирована с работой конвейеров, реализующих механизмы вызовов материалов и ресурсов. Ритм движения конвейера превышает наибольшую продолжительность технологической операции. Аналогичная схема для потока производственных операций показана на рисунке 2.4.7в. Единственное отличие от предыдущей схемы заключается в еще большем различии между продолжительностями $T_{нб}^п > T_{нб}^т$ операций из-за объединения технологических операций с операциями ожидания.

Наконец, на рисунке 2.4.7г представлена структура событийных характеристик совместного функционирования конвейера производственных операций.

Работа конвейеров, обеспечивающих производство компонентов изделия, должна быть синхронизирована с работой того конвейера, в рамках которого производится сборка финального изделия. Для этого выходы компонентных конвейеров «прививают» к тем операциям сборочного конвейера, где проявляется потребность в конкретном компоненте. В результате получают дерево виртуальных конвейеров (рисунок 2.4.8).

Событие завершения комплектования компонентом сборочной операции должно опережать событие возникновения потребности в компоненте на страховой промежуток времени.

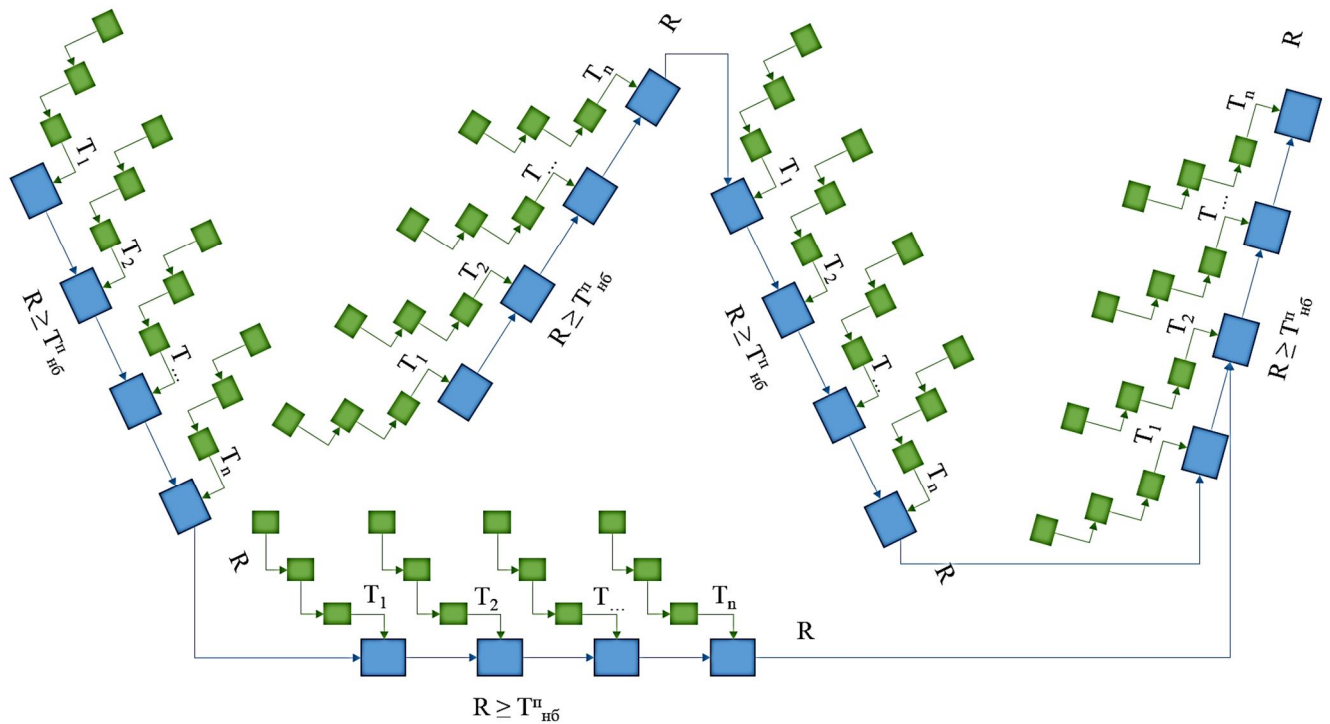


Рисунок 2.4.8 – Представление виртуального конвейера производства финального изделия

Сформированную таким образом структуру виртуальных конвейеров следует рассматривать как отображение реально существующей производственной системы предприятия. Выходной результат системы – производимые предприятием изделия.

Качество системы можно охарактеризовать интегральным показателем – располагаемая системой производственная мощность. За меру такой мощности принимают расчетный наибольший объем выпуска финальных изделий в течение конкретного промежутка времени. Как правило, мощность определяют в форме годового объема выпуска продукции.

Достижимое значение мощности в пределах заданной структуры системы зависит от складывающейся производственной обстановки. Она прежде всего зависит от состава производимых изделий, объема выпуска каждого из них и уровня конструкторско-технологической преемственности этих изделий.

Рабочее место (рабочую станцию) любого виртуального конвейера можно рассматривать как один из экземпляров реализации вполне конкретной технологической системы. При этом неважно, к какому из классов относится

конкретная технологическая система: рабочих мест, производственных участков или цехов. Через одну технологическую систему может проходить некоторый набор траекторий движения (потоков) различных предметов производства.

Таким образом, можно утверждать, что производственная мощность конкретной конфигурации производственной системы всегда определяется пропускной способностью определенной технологической системы. Посредством перераспределения потоков между технологическими системами можно управлять производственной мощностью системы. Следует помнить, что такое перераспределение всегда сопровождается сопутствующей трансформацией технико-экономических показателей производства каждого из изделий.

Оценки предельно возможных уровней производственной мощности для отдельных изделий или же возможных сочетаний изделий имеют важное значение для стратегического планирования производственной деятельности предприятия.

Используют два типа оценок производственной мощности: статические и динамические. Оценки первого типа устанавливают предельно возможные значения мощности, второго – возможные варианты поведения производственной системы.

Основу статических оценок составляет так называемый «валовый» подход к организации производства изделий. Оценивание выполняется посредством последовательного выполнения двух мероприятий. Вначале из всех технологических систем предприятия выделяют ту, для которой характерна наименьшая пропускная способность (наибольшая продолжительность цикла выполнения работ над одним экземпляром предмета производства). Затем оценивают мощность той производящей системы (экземпляра реализации технологической системы), в которой выполняется рассматриваемая производственная операция. Для оценивания используют выражение:

$$N_{\text{пс}} = \frac{\Phi_{\text{пс}}}{T_{\text{пц}}} K, \quad (2.4.18)$$

где $N_{\text{пс}}$ – производственная мощность, измеряемая количеством производимых изделий, штуки; $T_{\text{пц}}$ – длительность цикла выполнения работ над одним

экземпляром изделия, час/шт.; $\Phi_{\text{пс}}$ – эффективный годовой фонд времени работы технологической системы, час.; K – коэффициент запаса, устанавливающий допустимый уровень потерь времени при производстве изделия.

Любой из структур виртуальных конвейеров соответствует конкретная конфигурация сетевого графика производства изделия. Оценки вида (2.4.18) характеризуют предельную пропускную способность критического пути этого графика. Они не учитывают возможности использования других критических путей. Такие пути появляются при рассмотрении различных конфигураций виртуальных конвейеров. Из всех возможных критических путей можно выделить путь с наибольшей пропускной способностью. Выявить такой критический путь можно в ходе выполнения имитационных (динамических) экспериментов с моделью производственной системы предприятия. План проведения таких экспериментов в наибольшей степени учитывает особенности реально существующей производственной обстановки.

Имитационная модель строится для всех компонентов производимого изделия (модель производства финального изделия ничем не отличается от модели производства компонента). Она устанавливает систему совокупности связей «компонент – технологические операции – производящие системы (рабочие места)». Каждой технологической операции ставится в соответствие расчетное значение длительности операции, а производящей системе – длительность реализации производственной операции.

Такая совокупность связей устанавливается для всех виртуальных конфигураций поточных линий (конвейеров). Тем самым формируется полный набор возможных реализаций технологического процесса изготовления компонента в рамках существующей технологической системы предприятия.

Общий алгоритм динамического оценивания производственной мощности представим следующим образом.

1. Разработка рассматриваемой конфигурации сетевого графика производства изделия.

2. Выделение в сетевом графике критического пути и выделения в нем того рабочего места, для которого характерна наибольшая продолжительность выполнения производственной операции.
3. Оценивание статической производственной мощности выделенной производственной системы.
4. Разработка очередной конфигурации сетевого графика вплоть до полного исчерпания возможных вариантов.
5. Повторение процедур 1 и 2 для очередного варианта.
6. Сравнение полученных оценок вариантов и выбор лучшего из вариантов.

Оценивание производственной мощности производится в ходе выполнения проектных и поверочных расчетов.

5. Представление модели сетевого графика производства изделия.

Сетевой график рассматривается здесь как строго формальный инструмент оптимального планирования процесса комплектации цеха – потребителя компонентами цеха – их производителя.

Процесс планирования опирается на следующие исходные положения.

1. Выходным результатом процесса планирования служат рабочие графики производства тех компонентов, которые закреплены в форме конечной продукции для каждого из цехов предметной специализации.
2. Роль комплектуемого агента отводится той производственной операции цеха – потребителя компонента, в которой проявляется потребность в компоненте, производимом цехом – комплектующим агентом.
3. Предельный срок завершения процедуры комплектации устанавливается с опережением относительно события проявления потребности на величину страхового запаса времени.
4. Событие начала производства компонента отстоит от события завершения процедуры комплектования на продолжительность цикла изготовления компонента.

Процесс планирования иллюстрируется на рисунке 2.4.10.

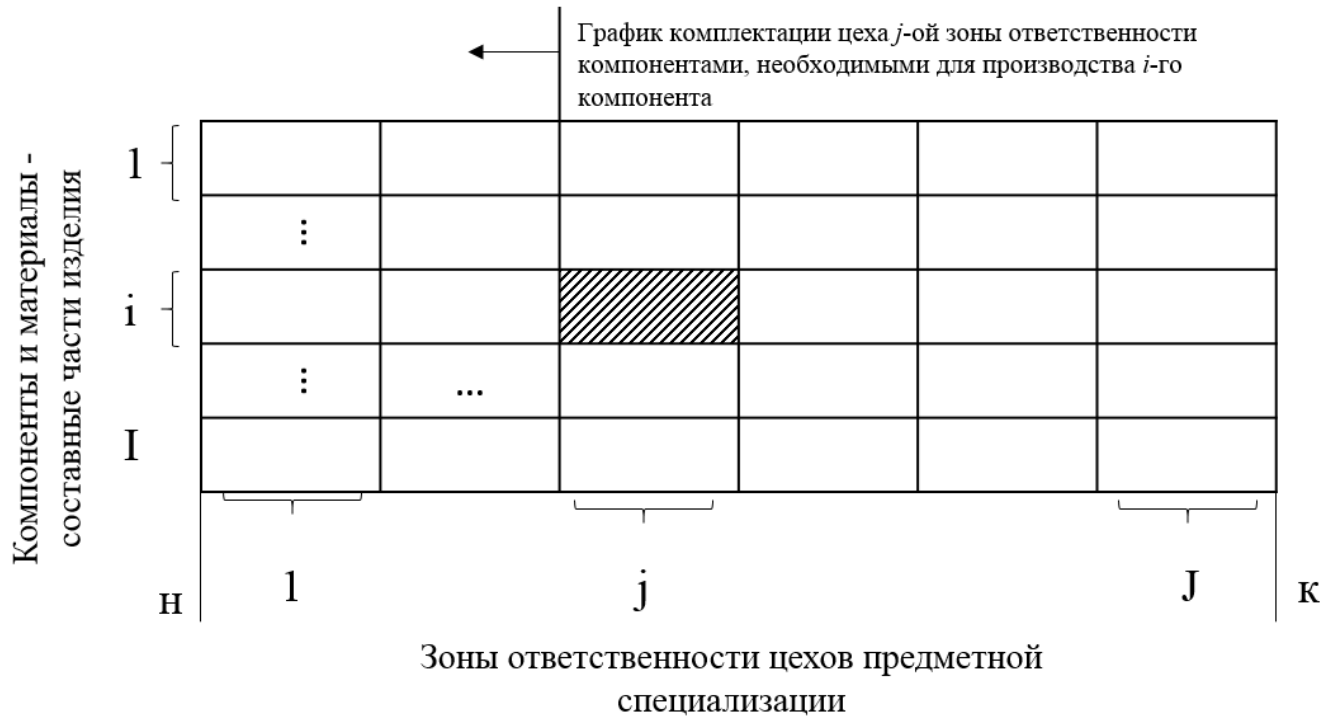


Рисунок 2.4.10 – Модель сетевого графика изготовления изделия

Здесь зона определения процесса планирования представлена в форме прямоугольника.

Основание прямоугольника разделено на зоны (j – порядковый номер зоны, J – количество таких зон). Каждой из зон соответствует ответственность цехов определенной предметной специализации, начиная от заготовительных цехов и цехов входного контроля и завершая цехами и участками сборки финальных изделий. В каждой из них выделяются зоны ответственности цехов одинаковой специализации (пример – заштрихованный прямоугольник в j -ой зоне). Событию начала процесса комплектации присвоен индекс «Н», завершения – «К».

Вдоль боковой стороны расположены точки, каждая из которых соответствует номеру предмета комплектации финального изделия (i – порядковый номер предмета, I – количество таких предметов). Эти точки рассматриваются в качестве истоков процессов производства компонентов финального изделия.

Цех-потребитель комплектующих компонентов разрабатывает график комплектации необходимыми компонентами. Состав комплектующих элементов

разделен на перечни по признаку принадлежности к цеху-производителю комплектующих элементов. На основании полученных заданий на комплектацию цех-производитель комплектующих компонентов разрабатывает графики комплектации необходимыми материалами и компонентами.

Таким образом в пределах ответственности каждого из предметно специализированных цехов формируется собственный сетевой график производства закрепленной за цехом конечной продукции. Граф содержит в себе все возможные конфигурации потоков производственных операций. Оптимизация плана работы цеха выполняется с использованием стандартных процедур обработки сетевых графиков.

Результат планирования – представление потоков работ для каждого из производимых компонентов. В них идентифицированы календарные сроки начала и завершения каждой из работ потока.

Для реализации процедур оперативного управления потоком работ отводится резервная зона, протяженность которой равна:

$$T_{рез} = T_{возм} - T_{пц}, \quad (2.4.19)$$

где $T_{рез}$ – протяженность резервной зоны; $T_{возм}$ – временной промежуток, ограниченный наиболее ранним началом производства компонента и наиболее поздним его завершением; $T_{пц}$ – продолжительность цикла производства компонента.

2.5. Выводы по Главе 2. Основные результаты исследования производственной деятельности предприятия

На основании исследования деятельности предприятия получены следующие результаты.

В1. Разработана методика оценивания производственной деятельности предприятия, в основу которой положен процесс последовательного достижения директивно заданного уровня стоимости качества (издержек предприятия на обеспечение качества) производимого изделия. Цель такого движения заключается в последовательном поиске и устранении избыточных потерь вплоть до достижения того их остаточного уровня, который соответствует заданному уровню стоимости. Область проявления последствий потерь декомпозирована на две относительно самостоятельные части: производственное потребление и создание добавленной стоимости.

В2. Посредством обобщения опыта деятельности отечественных предприятий ракетно-космической промышленности разработана онтология их производственной деятельности. Она определяет состав сущностей, обращающихся в рамках деятельности; каждой из сущностей поставлен в соответствие оригинальный объект.

Посредством использования семантических примитивов объекты объединены в сетевые структуры с целью создания специализаций (подклассы и экземпляры классов объектов) и обобщений (операция, обратная созданию специализаций).

Для образования имеющих практический смысл композиций (коллекций) объектов использованы отношения наследования. Реализуются отношения посредством обмена данными, инкапсулированными в них.

В3. Методика и онтология составили основу агентной модели производственной деятельности предприятия. Агенты взаимодействуют друг с другом в интересах достижения заданного уровня выхода.

В составе производственной деятельности выделены два цикла деловой активности: инновационный, обеспечивающий развитие предприятия, и операционный, цель которого заключается в организации эффективного функционирования предприятия. В составе каждого цикла выделен один агент – донор, оставшимся агентам присвоен статус реципиентов. Выходной результат донора становится выходом цикла, выходные результаты реципиентов направлены на достижение установленного уровня выхода донора.

Модель организации «Основное производство» выполняет роль инструмента валидации выходных результатов обоих циклов (как и любого из агентов циклов) на предмет их вклада в эффективность производственной деятельности, а как следствие, – деятельности предприятия.

В4. Для координации взаимодействий материалов и ресурсов в ходе производства изделий предложено использовать информационную модель, разрабатываемую в ходе реализации специализированного вида деятельности – Организационно – Технологическая Подготовка Производства (ОТПП). Модель представлена в форме композиции «Производственные документы».

Для каждого из документов комплекса разработаны его модель и процесс разработки документа.

В5. Все перечисленные результаты посредством реализации отношений наследования объединены в композицию «Модель эффективности производственной деятельности предприятия».

ГЛАВА 3. РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

3.1. Конструкция «Изделие – Технология – Производство» как представление модели деятельности

Под представлением модели в соответствии с [90] будем понимать отображение модели, которое особо выделяет некоторые конкретные аспекты модели и игнорирует другие.

Для определения возможных представлений разработанной модели производственной деятельности предприятия и вариантов ее реализации использован прогноз развития производственных систем предприятий, который приведен в отчете [121].

Прогнозируемым системам присвоено название «развитого производства» (advanced manufacturing). Рассмотрены два прогнозных горизонта: 2010...2020 и 2020...2030 годы.

Цель развитого производства заключается в улучшении существующих или создании принципиально новых материалов, изделий и процессов за счет активного использования в своей деятельности: научных знаний, передовых приемов инжиниринга и информационных технологий; высокоточных инструментов и методов; высококвалифицированной рабочей силы; инновационных хозяйственных процессов (бизнес-процессов) и организационных моделей.

Список характерных особенностей развитого производства имеет вид:

- Способность поставлять на рынок семейств изделий как малыми, так и большими партиями, обеспечивая в обоих случаях такие показатели эффективности, которые характерны для традиционного, массового, производства, и уровень гибкости, присущий производству индивидуализированных изделий (единичное производство), благодаря чему удается одновременно обеспечивать как

своевременную реакцию на запросы потребителей, так и запрашиваемый ими уровень качества изделий;

- Обеспечение устойчивого прогресса (как развивающего, эволюционного, так и замещающего, прорывного или революционного) по сравнению с существующим положением при производстве материалов и изделий. Такие улучшения касаются уровня совершенства производственных процессов и систем, причем основные предпосылки таких улучшений кроются в использовании современных достижений науки и инженерных дисциплин. Тем самым создаются новые производственные системы, именуемые «интеллектуальными» или разумными, для которых характерны вычисляемая «предсказуемость» и операционная эффективность;
- Возможность производства изделия с наименьшим из возможных уровней расхода материалов и ресурсов, обеспечивая при этом требуемое качество при конкурентоспособном уровне собственных издержек, а также возможность их сокращения.

Практическая реализация всех перечисленных особенностей возможна лишь в случае использования в развитом производстве широкого набора технических средств и методов моделирования объектов и процессов находящихся в распоряжении современной информатики.

В отчете выделены две области целевого использования моделей производственных объектов и процессов: координация совместного движения потоков материалов и ресурсов в пределах производственной системы и управление качеством решений, принимаемых на пространстве жизненного цикла продукции предприятия.

Успешное решение задач, образующих первую область, ведет к увеличению скорости движения предметов производства, уменьшению норм расхода необходимых материалов и ресурсов, сокращению затрат на контроль качества

продукции и пр. Совокупность таких усовершенствований процесса производства изделия ведет к росту его эффективности.

Решения задач второй группы направлены на рост конкурентоспособности продукции предприятия и его самого. Рост обеспечивается посредством достижения не только наиболее полного соответствия потребительских свойств изделия и цены его предложения на рынке, но и выгодной для потребителей стоимости реализации жизненного цикла продукции.

Основу успешного решения задач, входящих в состав обеих областей, составляют методы имитационного моделирования [64], [122], [123]. Они основаны на воспроизведении и исследовании процессов, сопровождающих существование объектов моделирования. Результаты имитационного моделирования позволяют ускорить движение изделия от стадии разработки к стадиям его производства и эксплуатации. Кроме того, они способствуют сокращению длительности самой стадии разработки, поскольку уже на ранних ее этапах позволяют существенным образом уменьшить необходимость проведения дорогостоящих и продолжительных процедур прототипирования разрабатываемых объектов и проведения различных испытаний. Как следствие, сокращаются и затраты на разработку изделия.

Модель эффективной производственной деятельности составляет основу для решения задач, характерных для обеих упомянутых областей. Действительно, входящее в состав модели представление производственных документов производственной системы служит основой процесса исполнения контракта на поставку продукции с наилучшей стоимостью качества последней. Модель взаимодействия инновационного цикла деловой активности с организацией «Основное производство» открывает перспективы для существенного сокращения продолжительности цикла разработки изделия и затрат на его реализацию.

Реализация разработанной модели должна иметь форму приложения [28]. Приложение – это группа процессов, предназначенных для формирования или использования данных о различных производственных объектах и процессах. В нашем случае решение каждой из задач целевого использования модели, равно как

и любого из возможных сочетаний этих задач, требует использования данных о двух объектах: изделии и элементах производственной системы.

Оценим возможность реализации приложения с точки зрения общности модели производственной системы [90].

Общность модели – это степень, до которой она может считаться родовым (общим) понятием. Поскольку основу модели составил исключительно метод дискретного машиностроительного производства, можно утверждать, что в пределах этого метода модель соответствует общему уровню представления метода, и потому может считаться основным понятием.

В отечественном машиностроении сложились несколько частных уровней реализации метода. Каждый из них характерен для групп предприятий, производящих однородные по своему функциональному назначению изделия. Такие группы предприятий принято называть отраслями. Для каждого из таких уровней характерна оригинальная модификация основного представления модели. Модель модифицируют посредством представления в ней характерных особенностей конструкции изделий отрасли, технологии их изготовления, организационной структуры и структуры средств производства. В результате формируется набор частных представлений модели.

Наконец, каждое из предприятий отрасли вправе выполнить дополнительную модификацию соответствующего частного представления модели для учета уникальных, характерных только для него особенностей реализации метода. Тем самым получают обособленные (конкретные) представления модели. Каждое из таких представлений может иметь две группы специализаций, каждая из которых соответствует базовой или контрактным конфигурациям изделия (специализированные экземпляры обособленного представления модели).

Таким образом, разрабатываемое приложение должно обеспечить необходимую гибкость его использования: общий уровень представления модели должен обеспечить возможность построения справочного каталога частных представлений, а те, в свою очередь, – набора представлений на обособленном уровне.

Для описания приложения был выбран язык RDF (Resource Description Framework – среда описания ресурса) [124], [72]. Он определяет модель представления данных о ресурсе, роль которого может выполнять любая из сущностей рассматриваемой предметной области. Данные о любом из ресурсов представляют в форме высказываний типа «субъект – предикат – объект» (подлежащее – сказуемое – определение). Множество утверждений образуют ориентированный граф, вершинам которого ставятся в соответствие субъекты или объекты, дугам – отношения между ними.

RDF-графы используют в тех случаях, когда необходимо:

- Объединить данные, инкапсулированные в различных объектах, не прибегая к разработке специализированных программных средств;
- Обеспечить многопользовательский доступ не только к данным, но и к процессу разработки структур данных;
- Декомпонировать данные по признаку их принадлежности разным владельцам.

Для обработки RDF-данных используют различные языки запросов.

Проведенный анализ возможностей языка RDF позволяет говорить об их достаточности для достижения поставленных целей.

Использовано объединение инновационного цикла деловой активности и процессов организации «Основное производство» (рисунок 2.3.1). Такой выбор обусловлен следующими соображениями:

- Во-первых, именно это объединение ответственно за конкурентоспособное положение предприятия и обеспечивает совместное (параллельное) развитие изделия и системы его производства;
- Во-вторых, номенклатуру и нормы расхода материалов и ресурсов, используемых в ходе производства изделия, также определяет рассматриваемое объединение;

- В-третьих, объединение выполняет роль одного из основных агентов выполнения контракта, поскольку оно предоставляет возможность для согласования контрактных конфигураций изделия и системы его производства.

Объект приложения проявляется в локальной области структуры организаций предприятия, которая выделена на рисунке 3.1.1.

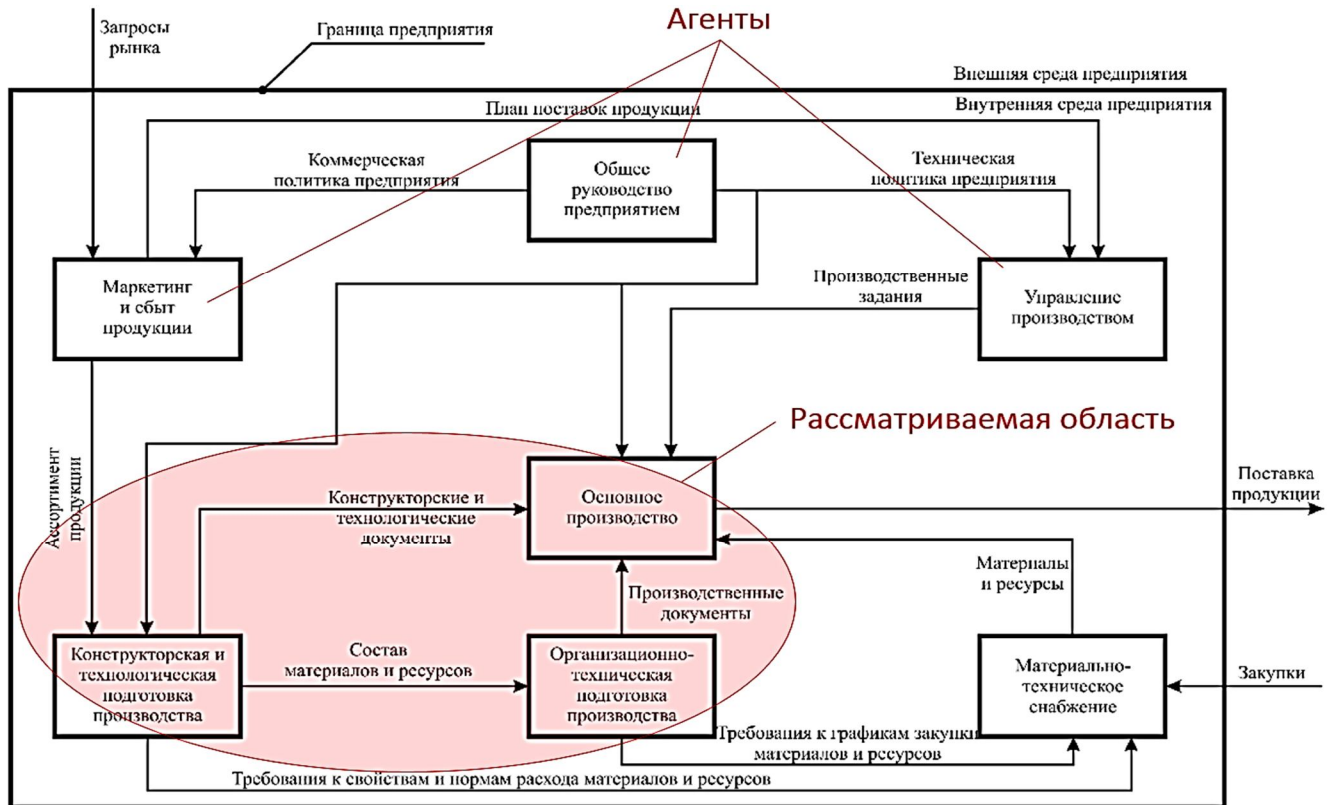


Рисунок 3.1.1 – Зона использования конструкции в структуре организаций предприятия

В этой области взаимодействуют три специализированных вида инженерной деятельности в совокупности обеспечивающие готовность предприятия к производству конкретной конфигурации изделия: конструкторская, технологическая и организационно-техническая подготовки производства. Достижимые при этом уровни результативности и эффективности деятельности предприятия зависят не только от степени совершенства каждого из этих видов деятельности, но и от условий их координации в интересах достижения наилучшего общего результата. Для представления совокупности

рассматриваемых видов деятельности, как и ранее, использована модель полиструктуры.

В соответствии с рекомендациями, приведенными в [125], для представления полиструктуры использован инструмент «Конструкция языка моделирования предприятия». Он применяется для упорядочения представления различной информации об общих свойствах и свойствах объектов, вовлеченных в состав рассматриваемого объединения.

Конструкция названа «Изделие – Технология – Производство». Первый элемент названия соответствует той информации, которая содержится в рабочих конструкторских документах, второй – в рабочих технологических документах, третий – в производственных.

Любой из перечисленных комплектов документов может существовать в двух конфигурациях: базовой и контрактной. Извлекаемые из конструкторских и технологических документов объекты подлежат объединению в RDF-граф в ходе разработки информационной модели производственной системы предприятия.

3.2. Рамочная структура конструкции «Изделие – Технология – Производство»

Рамочная структура (framework) в соответствии с ГОСТ Р ИСО 19439-2008 [90] представляет собой структуру, выраженную в диаграммах, тексте и формальных правилах, которая связывает составные части концептуальной сущности друг с другом.

Для разработки рамочной структуры использованы онтологический и объектно-ориентированный подходы к представлению сущностей предметной области. В пределах рамочной структуры сущность идентифицируется как объект-тип с присущим ему методом, т.е. той процедурой или функцией, которую может выполнять объект-тип. Поскольку все рассматриваемые в рамочной структуре объекты-типы имеют экземпляры, в дальнейшем они будут именоваться классами.

Результаты сравнительного анализа обоих использованных при разработке структуры подходов приведены в таблице 3.2.1. Онтологический подход использован для определения классов, объектно-ориентированный – для определения методов классов.

Таблица 3.2.1 – Сравнительный анализ онтологического и объектно-ориентированного подходов к представлению сущностей предметной области

Онтологический подход	Объектно-ориентированный подход
1. Более высокая степень формализации области исследования безотносительно к приложению	1. Область формализации ограничена интересуемыми процессами
2. Основное внимание уделяется структурным свойствам классов	2. Основное внимание уделяется методам классов
3. Формальное описание ориентировано на использование программно-информационными системами разных классов	3. Формальное описание ориентировано на программно-информационные системы одного класса

Для представления RDF-графа конструкции использован аппарат дескриптивной логики, в которой рассмотренные ранее субъекты и объекты определены как концепты, а предикаты – как роли. Концепт – это конструкция, состоящая из одного класса объектов. Роль рассматривается как объект, описывающий действия субъекта над объектом.

Основу конструкции «Изделие – Технология – Производство» составляют процесс и формы представления результатов обмена информацией между теми видами деятельности, которые обеспечивают готовность предприятия для производства изделия.

Широко распространенная в мировой практике концепция PPR (Product, Process, Resource) [66], [67] использует три области (домена), каждая из которых содержит характерную информацию: «Продукт», «Процесс» и «Ресурс».

Опираясь на ГОСТ 27.004-85 [110] были выделены характерные области хранения информации, используемой технологическими системами: предмет производства (изделие), производственный процесс (процессы изготовления изделия), средства производства (ресурсы и операторы). В соответствии с отечественной практикой эти области названы: «Изделие», «Процесс»/«Технология» и «Ресурс»/«Производство».

Для каждой из этих областей разработаны концептуальные схемы представления содержащейся в них информации.

А. Концептуальная схема представления информации области «Изделие»

Основу для разработки схемы составил ГОСТ 2.101-68* [52], в котором представлены и определены базовые понятия: деталь, сборочная единица, комплекс, комплект; а также их структура. Как отмечалось ранее, возможно образование дополнительных понятий, отражающих специфику отрасли и/или предприятия. Например, при делении планера самолета на составные части используют понятия: система, агрегат, узел, отсек, панель [48].

В области определены концепты:

– Базовые:

- *«Изделие» (И);*
- *«Сборочная единица» (СЕ);*
- *«Деталь» (Д);*
- *«Заготовка» (З);*

- «Основной материал» (ОМ);
- «Вспомогательный материал» (ВМ);
- Дополнительные:
 - «Система»;
 - «Агрегат»;
 - «Узел»;
 - «Отсек»;
 - «Панель»;
 - «Компонент».

Для указанных концептов справедливы терминологические компоненты (высказывания) общего уровня типа TBox (Terminological Box – запись термина). Они записывались на языке дескриптивной логики ALC (Attributive Language with Complement):

- «Система» \subseteq «СЕ»
- «Агрегат» \subseteq «СЕ»
- «Узел» \subseteq «СЕ»

Введем дополнительные концепты, необходимые для организации определенных ранее концептов:

- «Библиотека изделий»
- «Вариант исполнения изделия»

для которых справедливы высказывания:

- «Изделие» \subseteq «Библиотека изделий»
- «Вариант исполнения изделия» \subseteq «Изделие»

Запишем роли, действующие в пределах рассматриваемой области:

- «Составная часть» (СЧ)
- «Экземпляр класса» (ЭК)

Между концептами и экземплярами соответствующих им классов могут быть установлены высказывания частного уровня ABox (Association Box – запись связи). Они определяют отношения двух видов:

– Принадлежности экземпляров концепту, например:

«фланец» : «деталь» или

(фланец, деталь) : «экземпляр класса».

Первая запись читается как «фланец относится к концепту «Деталь», вторая – как «фланец – это экземпляр концепта «Деталь»;

– Отношений общности между экземплярами различных концептов. Такие высказывания реализуется с помощью ролей, например: (фланец, трубопровод) : «составная часть».

Приведенное высказывание читается как: «фланец и трубопровод – составные части».

Концепты, роли и суждения общего и частного видов систематизированы в таблице 3.2.2.

Таблица 3.2.2 – Концепты, роли, общие и частные суждения

<i>Концепты</i>	<i>Роли</i>	<i>ТВох</i>	<i>АВох</i>
Изделие	Составная часть (СЧ)	«Система» \subseteq «СЕ»	(эД, эСЕ) : СЧ
СЕ	Экземпляр класса (ЭК)	«Агрегат» \subseteq «СЕ»	
Д		«Узел» \subseteq «СЕ»	Д(эД) или эД : Д
З		«Изделие» \subseteq «Набор изделий»	
ОМ		«Изделие» \equiv «СЕ» \forall «Составная часть». \perp	
ВМ		«СЕ» \equiv { «К» $n \geq 2$, \neg «М» \neg «З» }	
ПКИ			
Компонент		«К» \equiv «СЕ» \vee «Д» \vee «ПКИ» \vee «ОМ» \vee «ВМ» \vee «З» \vee «С» \vee «А» \vee «У»	

Для исчерпывающего описания концептов использованы строгие суждения (ограничения) вида «субъект – предикат – объект», аналогично тому, как это описано в [70].

На рисунке 3.2.1 представлены концепты суперкласса «Изделие» в виде графа, отражающего иерархию понятий, и декомпозицию дочерних классов. Дуги

графа символизируют роли. Класс «Сборочная единица» на рисунке 3.2.1 обладает свойством рекурсии, т.е. может порождать объекты, подобные ему самому. Это свойство широко используется для агрегирования информации.

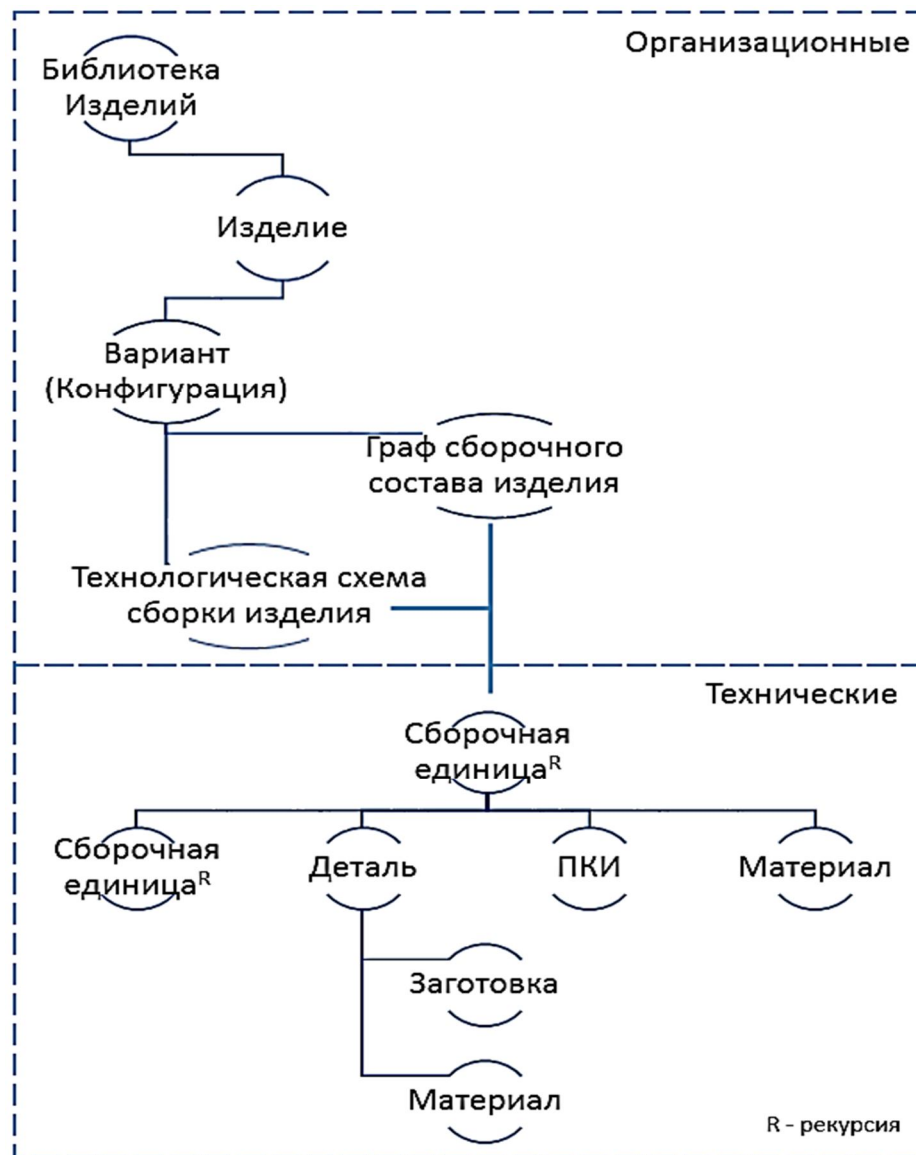


Рисунок 3.2.1 – Терминологические суждения для области «Изделие»

Для разграничения ролей «экземпляр класса» и «составная часть» выделенные классы сгруппированы по двум зонам: зона организационных классов и зона технических классов. Организационные классы характеризуются только ролью «экземпляр класса». Они необходимы для систематизации выделенных классов. Технические классы, помимо роли «экземпляр класса» дополнительно имеют отношения, выраженные с помощью роли «составная часть», что необходимо для описания природной структуры класса. Во избежание путаницы

для технических классов в рамках одной структуры две роли одновременно не приводятся.

Для определения технических классов, обладающих несколькими ролями, сформированы дополнительные структуры. Они образованы суждениями частного вида и представлены на рисунке 3.2.2 (их используют, например, для количественного анализа состава изделия). В ходе реализации концептуального представления области «Изделие» в информационных системах, интерфейсы структур, представленных на рисунках 3.2.1 и 3.2.2, должны быть разделены.

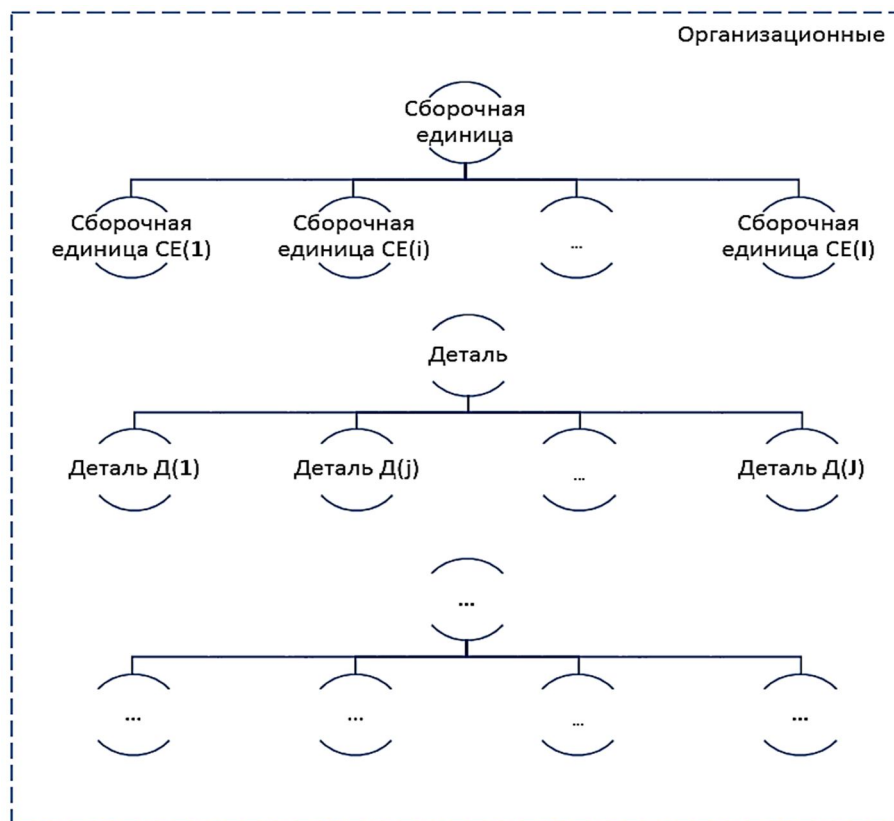


Рисунок 3.2.2 – Организационные графы технических классов области «Изделие»

Граф сборочного состава изделия (ГССИ) рассматривается как взаимно однозначное отображение спецификации финального изделия.

Разработаны две формы представления графа.

Первая форма графа изображена на рисунке 3.2.3. Вершинам графа поставлены в соответствие все те составные части изделия, которые определены в его спецификации. Они сгруппированы в слои (листы) графа, каждому из которых соответствует порядковый номер i , $0 \leq i \leq N$. Составным частям, входящим в состав

i -го слоя, за исключением корневого слоя, пронумерованы так, что $1 \leq K_{ij} \leq L(M; P; R; S)$. Дуги графа могут исходить из слоя i и входить в вершину определенную в слое $(i+1)$. Информация графа рисунка 3.2.3 в табличной форме, т.е. в форме, пригодной для обработки на ЭВМ, приведена в таблице 3.2.3.

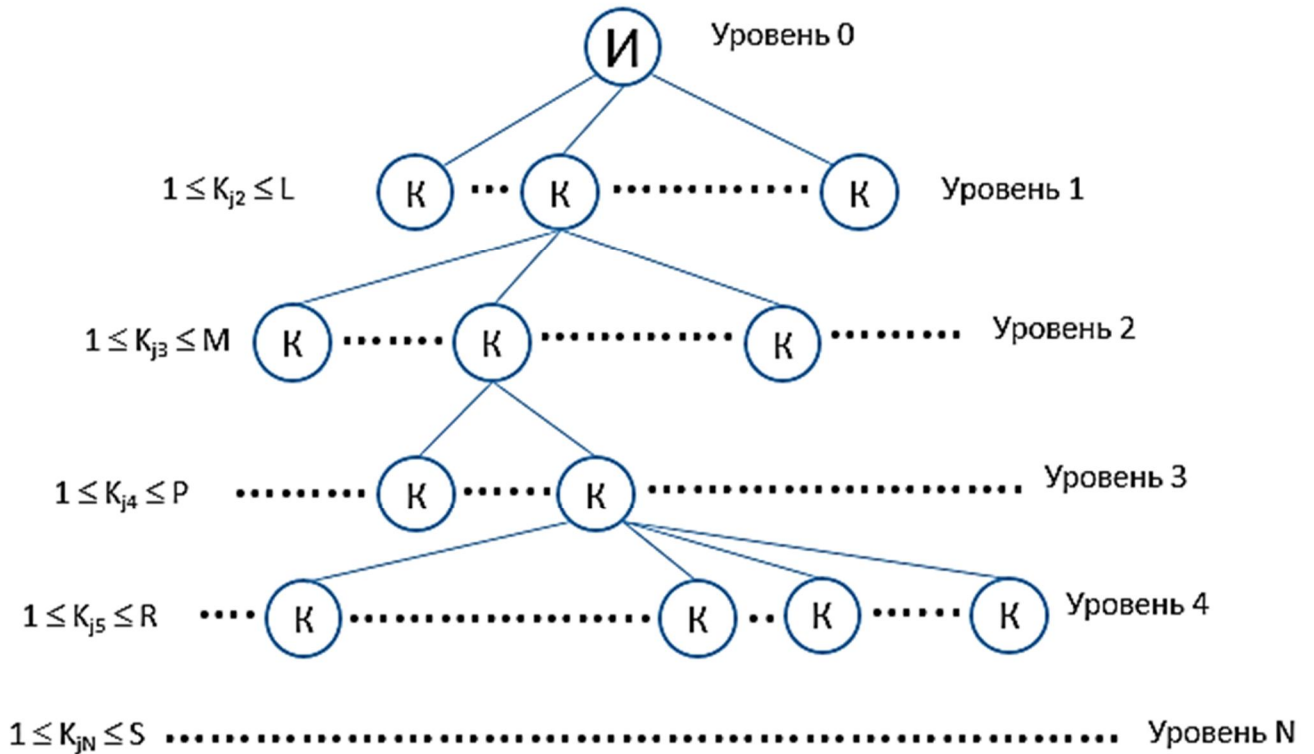


Рисунок 3.2.3 – Граф сборочного состава изделия. Форма представления 1

Табличная форма представления ГССИ (представление 1), которая удобна для обработки на ЭВМ, приведена в таблице 3.2.3.

Таблица 3.2.3 – ГССИ формы 1 в табличном виде

Наименование изделия или его компонента	Тип компонента изделия	Уровень иерархии	Количество
Изделие	Сборочная единица	0	1
Компонент изделия (K_{ji})	СЕ, Д, СИ, ПКИ, М	i	k
Компонент изделия (K_{ji})	СЕ, Д, СИ, ПКИ, М
Компонент изделия (K_{jN})	СЕ, Д, СИ, ПКИ, М	N	n

Вторая форма представления ГССИ [1], [16] показана на рисунке 3.2.4. Здесь, в отличие от первой формы представления, дуги могут связывать между собой вершины, принадлежащие любым слоям графа.

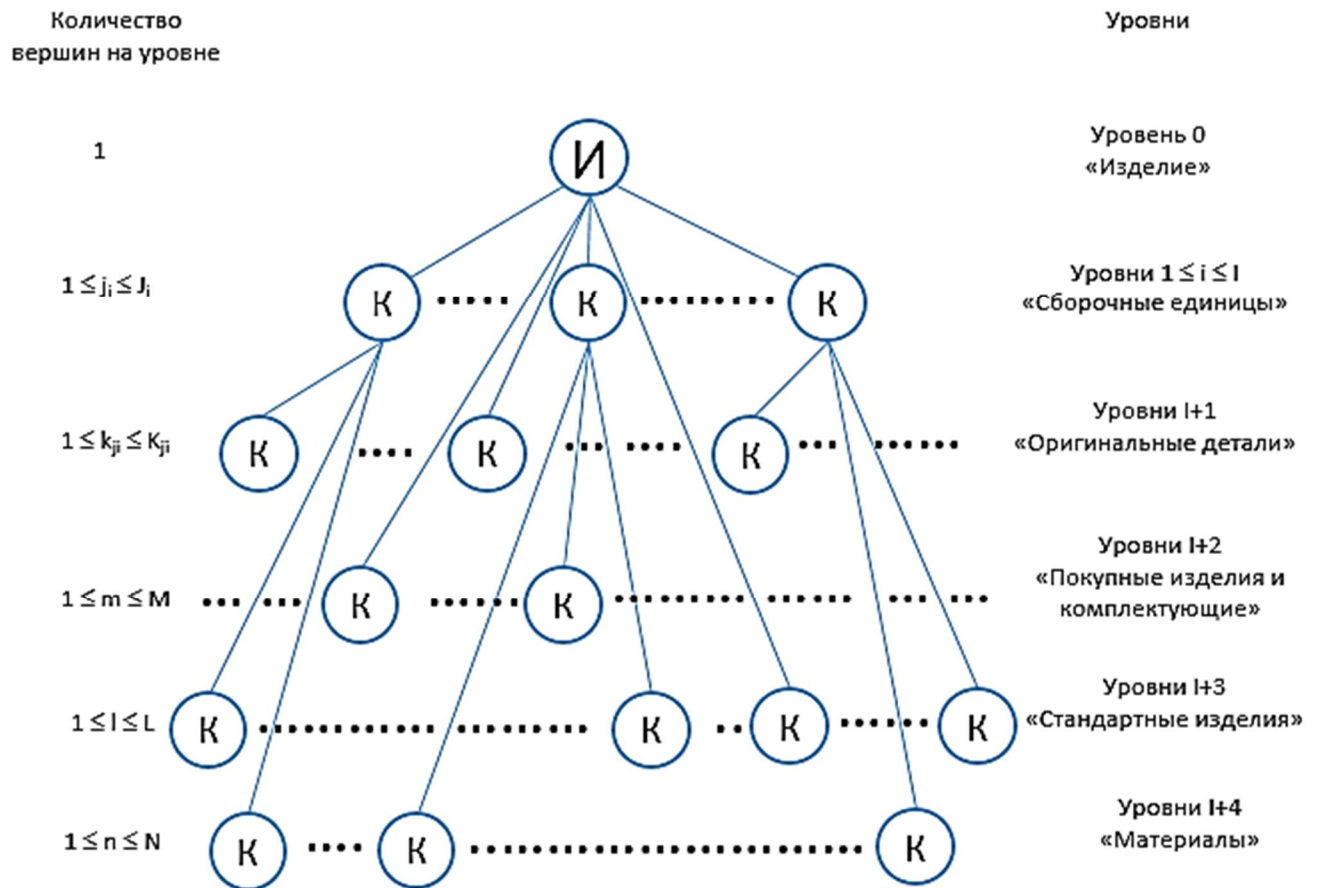


Рисунок 3.2.4 – Граф сборочного состава изделия. Форма представления 2

Обе формы представления ГССИ эквивалентны. Вторая форма представления ГССИ позволяет в рамках одной структуры отобразить обе роли технических классов: «составная часть» и «экземпляр класса». Однако вторая форма представления ГССИ допускает агрегацию информации. Эти особенности должны быть учтены при разработке интерфейсов информационных систем.

В рассматриваемую область также введен класс «Технологическая схема сборки», описывающий широко используемое в дискретном машиностроении понятие «технологическая схема процесса сборки» [126]. Сущность определена и рассмотрена ранее в разделе 2.4.

Концептуальная схема представления информации области «Изделие» рассматриваемой конструкции, изображена на рисунке 3.2.5, а состав используемых в ней концептов и ролей отображен в таблице 3.2.4.

Таблица 3.2.4 – Концепты и роли области «Изделие»

Концепт	Роль «Экземпляр Класса»	Роль «Составная часть»
Библиотека изделий	+	-
Изделие	+	-
Вариант исполнения изделия (конфигурация)	+	-
Граф сборочного состава изделия	+	-
Технологическая схема сборки изделия	+	-
Сборочная единица	+	+
Деталь	+	+
ПКИ	+	+
Материал	+	+
Заготовка	+	+
Компонент изделия	+	+

Экземпляры классов (объекты):

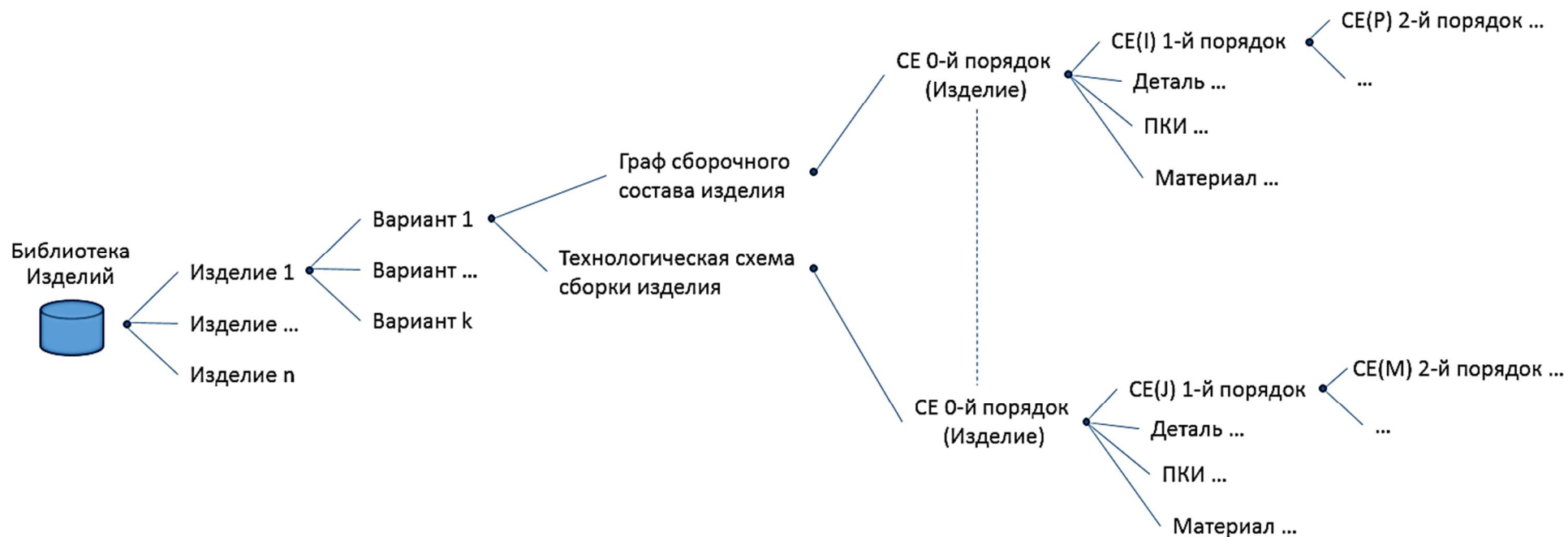


Рисунок 3.2.5 – Концептуальная схема представления информации области «Изделие». Суждения частного вида области «Изделие»

Б. Концептуальная схема представления области «Технология»

Базовым понятием рассматриваемой области является понятие операции. Понятие определено на основе термина «Технологическая операция» по ГОСТ 3.1109-82 [116]: законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте. Поскольку на одном рабочем месте может выполняться и комплекс операций, данное определение дополним ограничением непрерывности выполнения операции во времени.

Концепты суперкласса «Технология», организационные и технические классы определены аналогично тому, как это сделано для области «Изделие». Их структура представлена на рисунке 3.2.6. Здесь дуги характеризуют только отношение «экземпляр класса», а для технических классов введена роль «порядок следования». Она отображает организацию операций во времени, а для ее реализации использованы две формы: «нежесткая» (допускает возможность размещения между технологическими операциями операций ожидания) и «жесткая» (технологические операции линейно упорядочены). Концепт «процесс изготовления сборочной единицы» обладает свойством рекурсии.

Концептуальная схема технического класса «процесс производства изделия» представлена на рисунках 3.2.7 и 3.2.8. Поскольку представленные здесь классы суть абстракции, то для связи их экземпляров – физических процессов (операций) дополнительно выделены классы операций: начальная, конечная и промежуточная. Это позволяет связать абстрактные и физические классы, как это представлено на рисунке 3.2.8 посредством роли «порядок следования» (таблица 3.2.5).

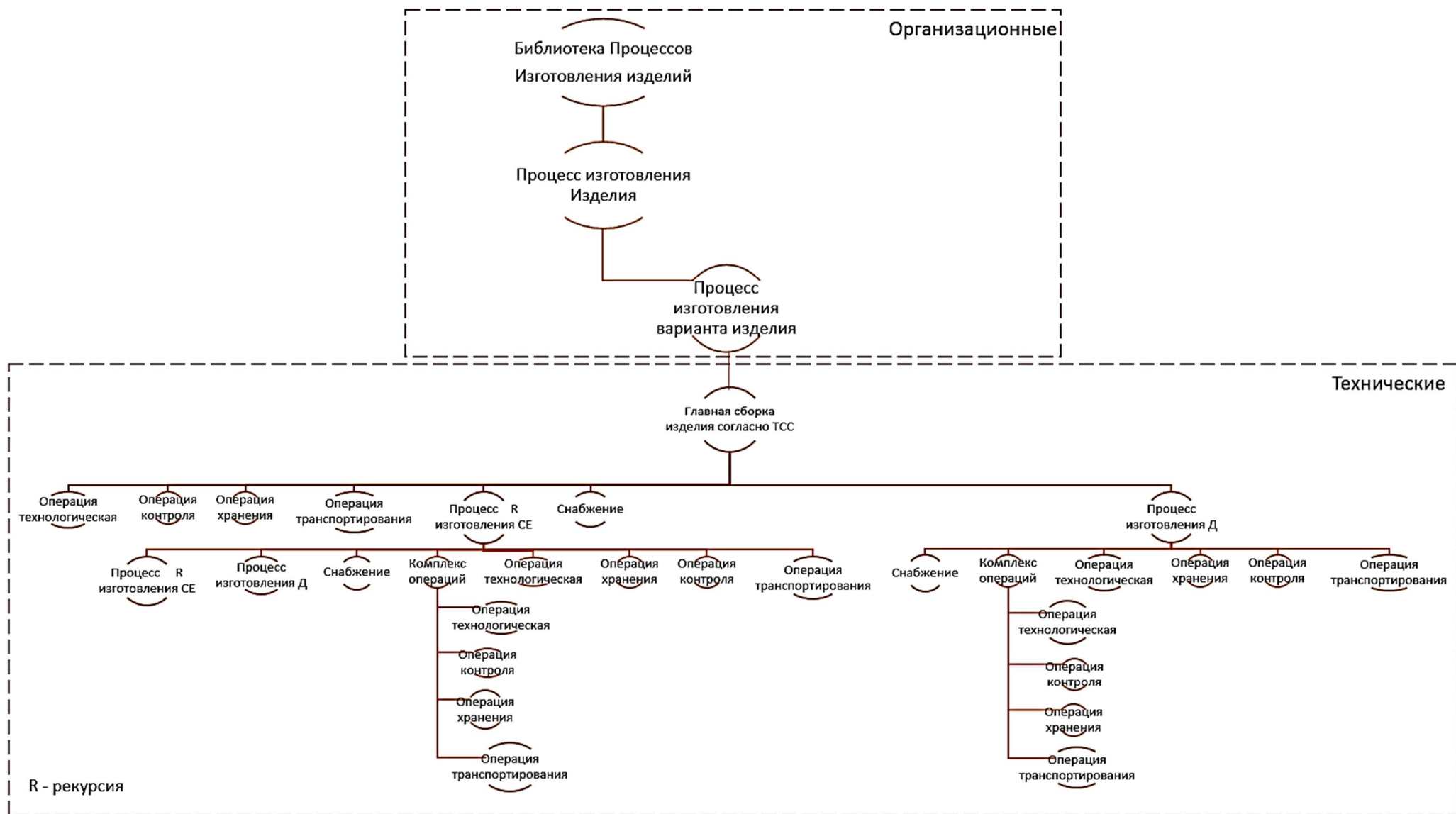


Рисунок 3.2.6 – Терминологические суждения для области «Технология»/«Процесс»

Таблица 3.2.5 – Концепты и роли области «Технология»

Концепт (Класс)	Роль «Экземпляр Класса»	Роль «Порядок выполнения»	
		Задержка времени недопустима	Задержка времени допустима
Библиотека процессов изготовления изделий	+	-	-
Процесс изготовления изделия	+	-	-
Процесс изготовления варианта изделия	+	-	-
Процесс главной сборки изделия согласно технологической схеме сборки (ТСС)	+	-	-
Процесс изготовления сборочной единицы (СЕ)	+	+	+
Процесс изготовления детали (Д)	+	+	+
Процесс снабжения	+	+	+
Комплекс операций	+	+	+
Операция технологическая	+	+	+
Операция контроля	+	+	+
Операция хранения	+	+	+
Операция транспортирования	+	+	+
Операция начальная	+	+	+
Операция промежуточная	+	+	+
Операция конечная	+	+	+

Экземпляры классов (объекты):

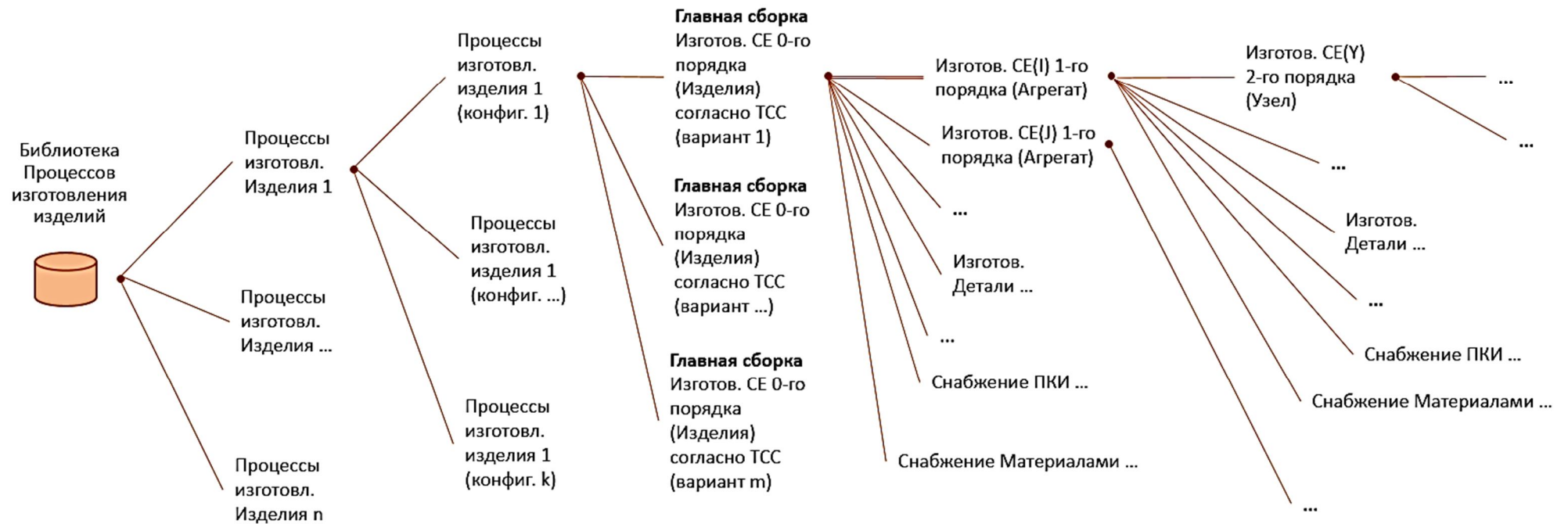


Рисунок 3.2.7 – Представление технического класса «процесс производства изделия». Суждения частного вида области «Технология»

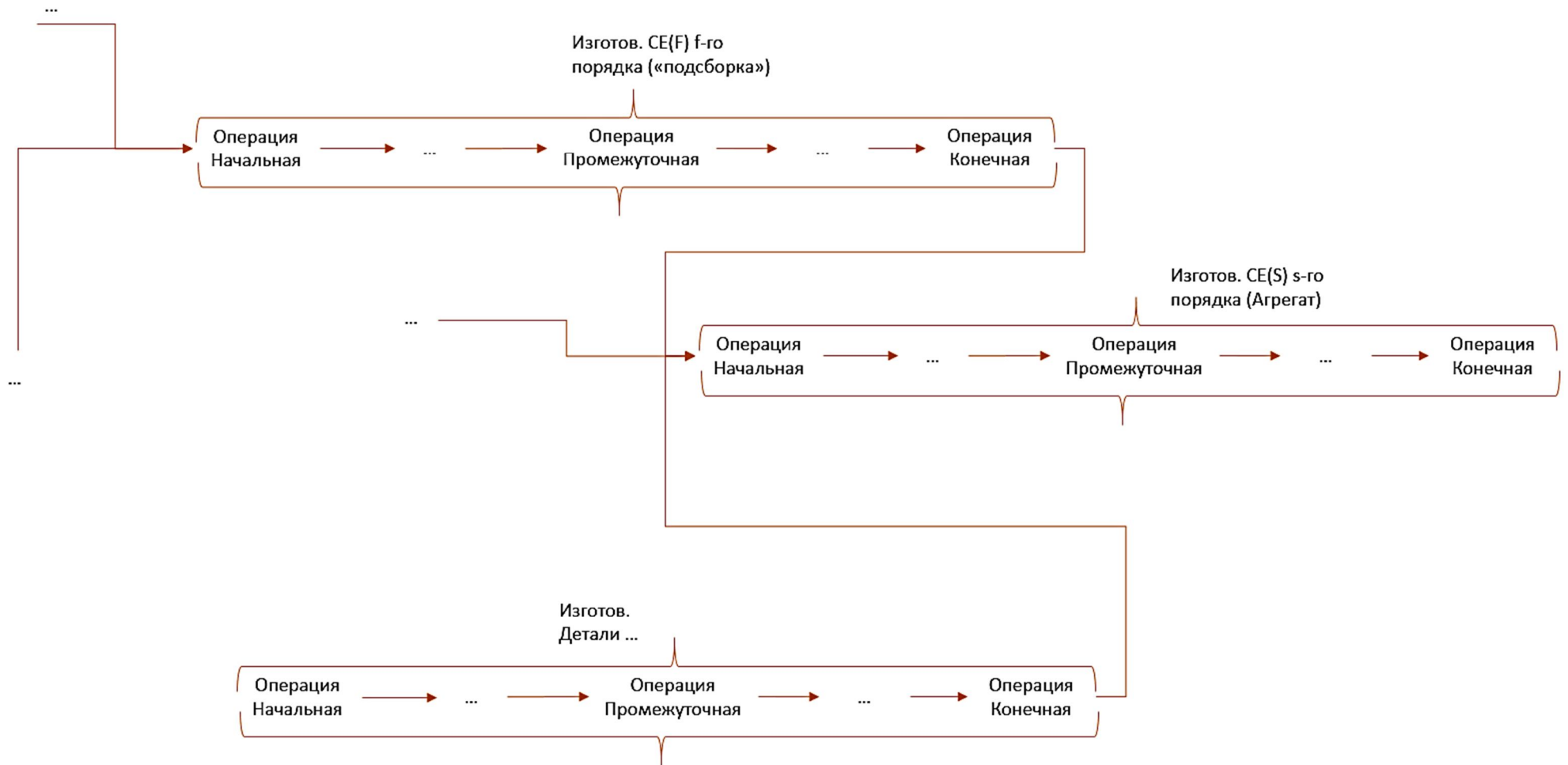


Рисунок 3.2.8 – Отношения между абстрактным и физическим представлениями технического класса «процесс производства изделия»

В. Концептуальная схема представления области «Производство»

В пределах рассматриваемой области обращаются ресурсы и связанные с ними объекты:

- Рабочее место и технологический маршрут (межцеховой, внутрицеховой) по ГОСТ 14.004-83 [56];
- Технологическая система рабочих мест, по ГОСТ 27.004-85 [110];
- Средства технологического оснащения (технологическое оборудование и технологическая оснастка) по ГОСТ 3.1109-82 [116].

Концептуальная схема представления ресурсов, необходимых для изготовления изделия представлена на рисунках 3.2.9 и 3.2.10. Соответствующие ей концепты и роли приведены в таблице 3.2.6.

Таблица 3.2.6 – Концепты и роли области «Производство»

Концепт	Роль «Экземпляр Класса»	Роль «Транспортное сообщение»
Библиотека ресурсов	+	-
Производственный поток изделия	+	-
Вариант реализации производственного потока	+	-
Технологический маршрут межцеховой	+	-
Технологический маршрут внутрицеховой	+	-
Технологическая система рабочих мест	+	+
Склад	+	+
Транспорт	+	+
Буфер (накопитель, зона хранения)	+	+
Рабочее место	+	+
Рабочий	+	+
Предприятие	+	+
Организация	+	+
Структурное подразделение	+	+

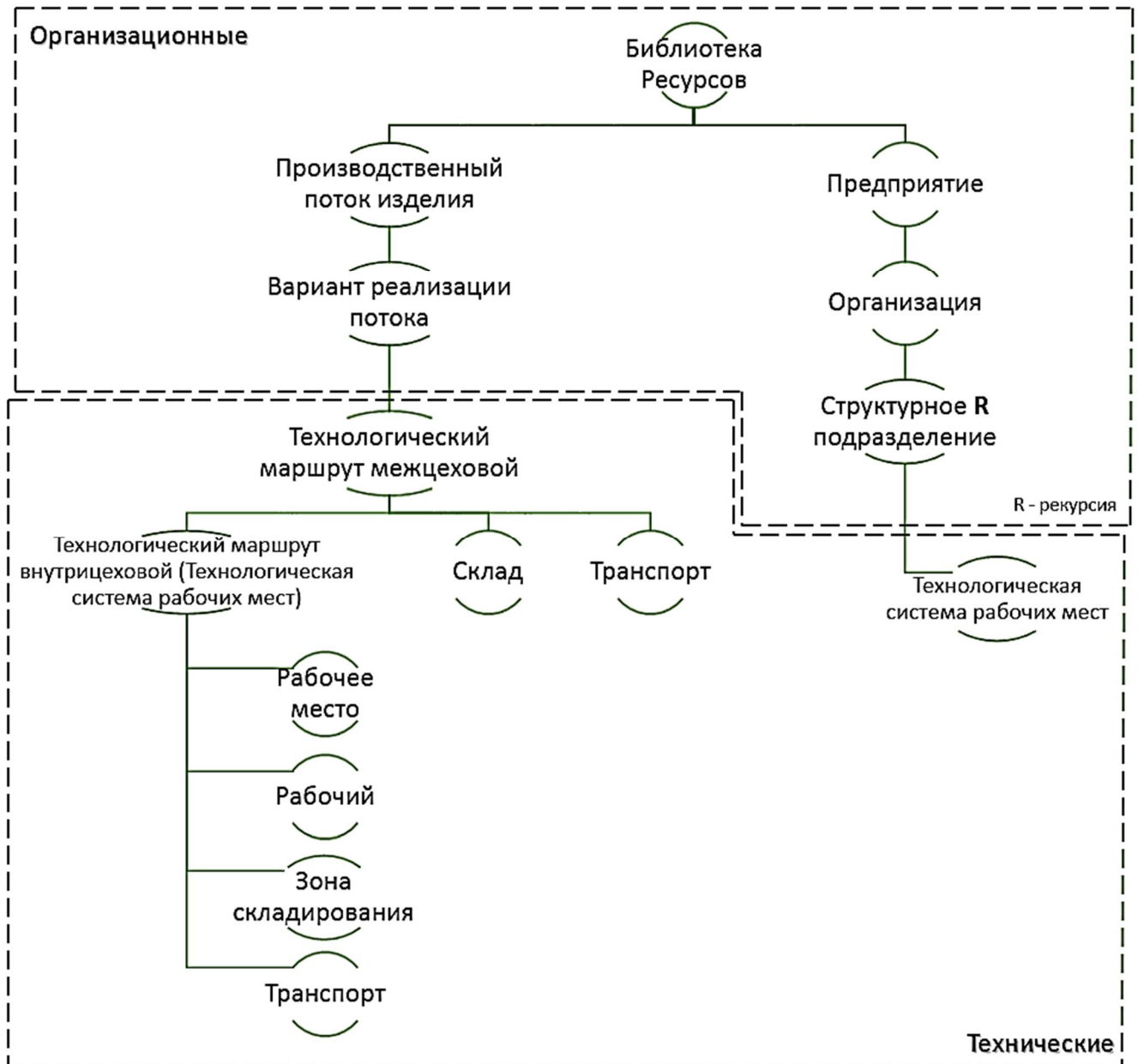


Рисунок 3.2.9 – Терминологические суждения для области «Производство»/«Ресурс»

Экземпляры классов (объекты):

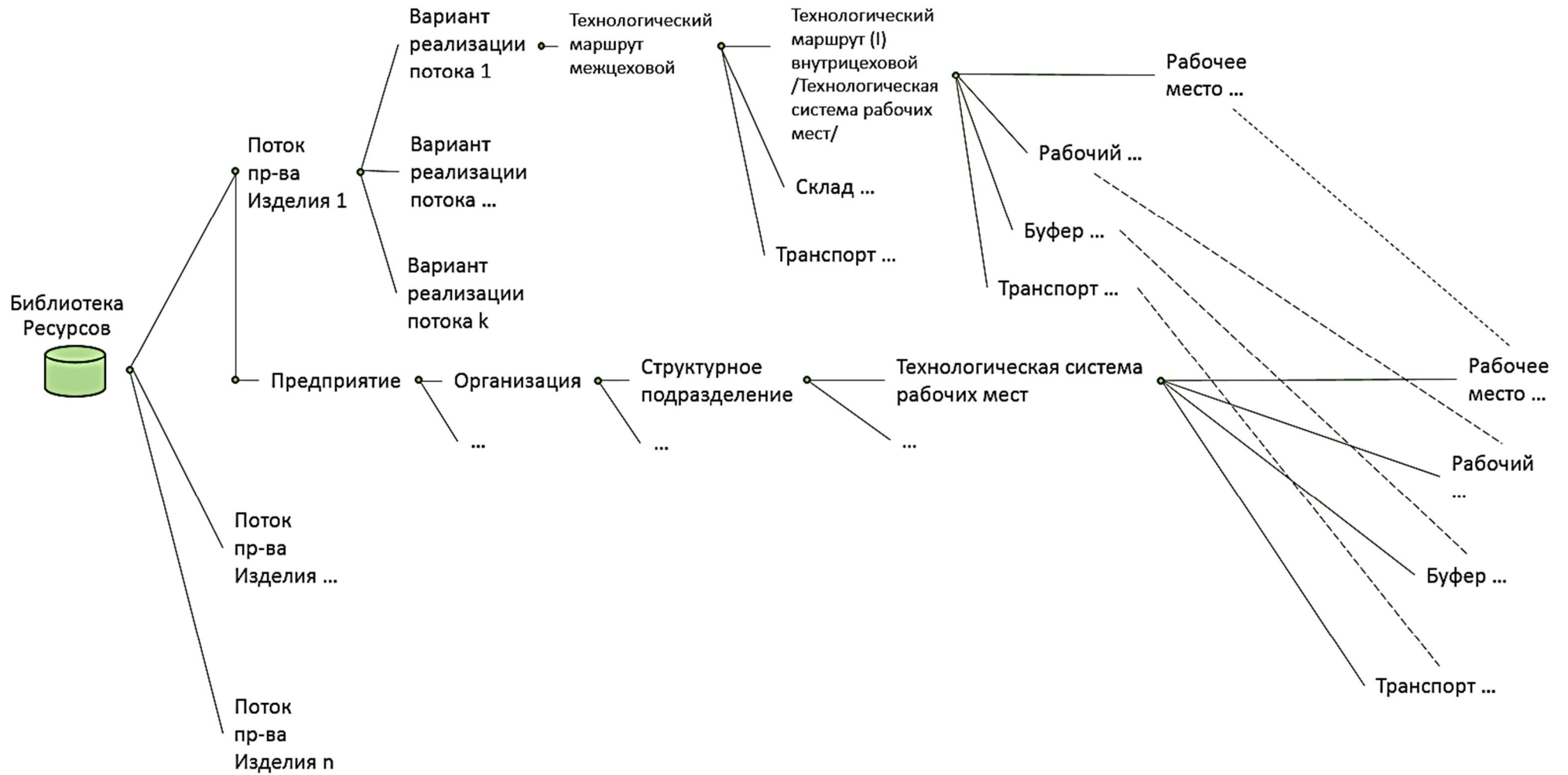


Рисунок 3.2.10 – Представление структуры ресурсов, обращающихся в области «Производство»/«Ресурс». Суждения частного вида области «Производство»/«Ресурс».

Д. Концептуальная схема представления конструкции «Изделие – Технология – Производство»

Концептуальная схема реализуется посредством установления отношений между сущностями концептуальных схем областей конструкции. Отношения необходимы для реализации в конструкции модели производственного потока, в котором сущности вступают во взаимодействие.

Связи между техническими классами в рамках каждой из рассмотренных ранее областей и между классами различных областей систематизированы и представлены в таблице 3.2.7. В левом и правом столбцах таблицы размещены триплеты «концепт – роль – концепт». Триплеты, расположенные в строке таблицы, эквивалентны друг другу в том смысле, что роли триплетов, расположенных в правой и левой ее частях, имеют прямое и обратное направления. Это сделано для того, чтобы каждый класс мог быть определен независимо от других классов.

Классы областей «Изделие» и «Производство» непосредственной связи друг с другом не имеют; они связаны через классы области «Технология».

Связи между классами определены следующим образом:

- В пределах области «Изделие» посредством отношения входимости;
- В пределах области «Технология» посредством отношения предшествования/следования;
- В пределах области «Производство» посредством отношения принадлежности, с одной стороны, конкретному производственному потоку и, с другой стороны, структурному подразделению организации «Основное производство».

Диаграмма, иллюстрирующая отношения между сущностями концептуальной схемы конструкции «Изделие – Технология – Производство», приведена на рисунке 3.2.11.

Таблица 3.2.7 – Отношения между техническими классами областей конструкции «Изделие – Технология – Производство»

Концепт	Роль	Концепт	↔	Концепт	Роль	Концепт
Между классами в составе области «ИЗДЕЛИЕ»						
«Компонент» (СЕ, Д, ПКИ, М, З)	«Составная часть»	«Компонент» (СЕ, Д, ПКИ)	↔	«Компонент» (СЕ, Д, ПКИ)	«Включает в свой состав»	«Компонент» (СЕ, Д, ПКИ, М, З)
Между классами в составе области «ТЕХНОЛОГИЯ»						
«Операция»	«Предшествует»	«Операция»	↔	«Операция»	«Выполняется после»	«Операция»
«Операция»	«Предшествует незамедлительному выполнению»	«Операция»	↔	«Операция»	«Выполняется незамедлительно после»	«Операция»
Между классами в составе области «ПРОИЗВОДСТВО»						
«Ресурс» (РМ, Ск, Т)	«Имеет транспортную доступность в прямом направлении»	«Ресурс» (РМ, Ск, Т)	↔	«Ресурс» (РМ, Ск, Т)	«Имеет транспортную доступность в обратном направлении»	«Ресурс» (РМ, Ск, Т)
«Ресурс» (РМ, Ск, Т)	«Для выполнения функции использует»	«Оборуд-е технолог.», «Оборуд-е складское», «Оборуд-е трансп.»	↔	«Оборуд-е технолог.», «Оборуд-е складское», «Оборуд-е трансп.»	«Используется в качестве»	«Ресурс» (РМ, Ск, Т)
Между классами областей «ИЗДЕЛИЕ» и «ПРОЦЕССЫ»						
«Компонент» (СЕ, Д, ПКИ, М, З)	«Используется в процессе»	«Операция»	↔	«Операция»	«Потребляет в ходе процесса»	«Компонент» (СЕ, Д, ПКИ, М, З)
«Компонент» (СЕ, Д, ПКИ, М, З)	«Является результатом процесса»	«Операция»	↔	«Операция»	«Создает в процессе»	«Компонент» (СЕ, Д, ПКИ)

Таблица 3.2.7 (Продолжение)						
Концепт	Роль	Концепт	↔	Концепт	Роль	Концепт
Между классами доменов «ТЕХНОЛОГИЯ» и «ПРОИЗВОДСТВО»						
«Операция»	«Выполняется на объекте»	«Ресурс» (PM, Ск, Т)	↔	«Ресурс» (PM, Ск, Т)	«Является местом выполнения»	«Операция»
«Операция»	«Для выполнения необходимы»	«Оснастка»	↔	«Оснастка»	«Требуется в ходе процесса»	«Операция»

Кроме того, концепты связаны между собой организационными связями, сущность которых была приведена ранее.

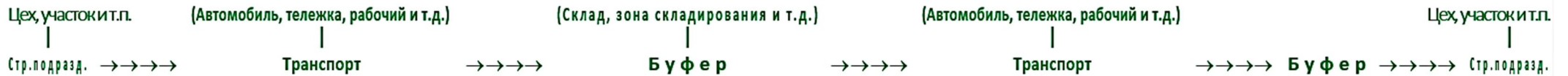
И з г о т о в л е н и е д е т а л и



И з г о т о в л е н и е с б о р о ч н о й е д и н и ц ы и л и п о д с б о р к и



М е ж ц е х о в о й т е х н о л о г и ч е с к и й м а р ш р у т



В н у т р и ц е х о в о й т е х н о л о г и ч е с к и й м а р ш р у т



- Связь «вход/выход» или «потребляет в ходе процесса»/«создает в ходе процесса»
- Связь «предшествования/следования» или «предшествует»/«выполняется после»
- | Связь «выполняется на объекте»/«является местом выполнения»
- | Связь «для выполнения функции использует»/ «используется в качестве»
- Связь «транспортно-логистическая» или «имеет транспортную доступность в прямом/обратном направлении»

Рисунок 3.2.11 – Отношения между сущностями концептуальной схемы конструкции «Изделие – Технология – Производство»

3.3. Атрибуты объектов конструкции «Изделие – Технология – Производство»

Определение атрибутов сущностей конструкции «Изделие – Технология – Производство» выполнено на основании анализа концепции бережливого жизненного цикла сложных технических систем (СТС) [127], рисунок 2.1.1. Значения самих атрибутов используются при вычислениях в представленных ранее выражениях 2.1.2, 2.4.2 – 2.4.19.

Декомпозиция стоимости изделия приведена на рисунке 3.3.1.

$C_{\text{Изд}}$												
$C_{\text{пп}}$										$C_{\text{дс}}$		
$C_{\text{пп}}$							$C_{\text{зап}}$			$P_{\text{рес}}$	$t_{\text{рес}}$	R
$C_{\text{мат}}$		$C_{\text{сто}}$		t_k	Δt_k	K	I	J	$C_{\text{мат}}$	$C_{\text{сто}}$	$t_{\text{зап}}$	γ
$C_{\text{мат}}^{\text{уд}}$	$N_{\text{расх}}^{\text{мат}}$	$C_{\text{рес}}^{\text{уд}}$	$T_{\text{расх}}^{\text{сто}}$									

Рисунок 3.3.1 – Декомпозиция стоимости изделия

На рисунке 3.3.1 использованы обозначения:

- $C_{\text{Изд}}$ – стоимость изделия;
- $C_{\text{пп}}$ – стоимость производственного потребления;
- $C_{\text{дс}}$ – добавленная стоимость изделия;
- $C_{\text{зап}}$ – стоимость содержания запасов;
- $P_{\text{рес}}$ – стоимость ресурса;
- $t_{\text{рес}}$ – время потребления ресурса;
- $C_{\text{мат}}$ – стоимость материала;

- $C_{\text{СТО}}$ – стоимость средств технологического оснащения;
- t_k – время выполнения операции;
- Δt_k – время, расходуемое на потери;
- K – количество операций;
- I – количество позиций материала;
- J – количество позиций средств технологического оснащения;
- t_k – время нахождения в запасе;
- γ – ставка рефинансирования (учетная ставка);
- $C_{\text{мат}}^{\text{уд}}$ – удельная стоимость материала;
- $N_{\text{расх}}^{\text{мат}}$ – норма расхода материала;
- $C_{\text{рес}}^{\text{уд}}$ – удельная стоимость ресурса;
- $T_{\text{расх}}^{\text{СТО}}$ – время использования средств технологического оснащения.

Атрибуты сведены к трем группам показателей:

- Показатели Времени;
- Показатели Количества;
- Показатели Удельной стоимости.

При этом показатели Удельной стоимости подвержены рыночным колебаниям, и далее не рассматриваются. Рассмотрению подлежит характеристика расхода (показатели Количества), которая при умножении на показатели Удельной стоимости определяет стоимость израсходованных ресурсов.

Сведем выявленные атрибуты в таблицы 3.3.1 и 3.3.2 для показателей Времени и Количества соответственно.

Таблица 3.3.1 – Состав показателей Времени

Наименование	Обозначение
Время изготовления изделия (длительность производственного цикла)	τ
Время операции	t_k
Время на исправление брака и доработку	Δt_k
Время использования ресурса	$t_{рес}$
Время нахождения в запасе материала	$t_{зан}^{mat}$
Время нахождения в запасе ресурса	$t_{зан}^{рес}$
Время использования СТО	$T_{СТО_{расх}}$

Таблица 3.3.2 – Состав показателей Количества

Наименование	Обозначение
Расход материала	$N_{расх}^{mat}$
Количество операций	K
Количество позиций материала (используемых материалов)	I, m_m
Количество позиций оборудования	J
Количество деталей в изделии	$\eta_{дет}$
Количество используемых технологий	m_T

3.4. Алгоритмическое и процедурное обеспечение конструкции «Изделие – Технология – Производство»

В данном разделе рассмотрены вопросы упорядочения элементов конструкции во времени и пространстве.

Упорядочение во времени выполнено в контексте процессов жизненного цикла изделия, поскольку стадия «Производство» является его частью. Упорядочение в пространстве, опирается, во-первых, на упорядочение элементов в рамках производственного потока, и, во-вторых, – в рамках организационных единиц предприятия.

Подвергнем предметную область конструкции алгоритмической и процедурной декомпозиции [73].

А. Алгоритмическая декомпозиция предметной области конструкции

Результаты алгоритмической декомпозиции предметной области конструкции представлены на схеме, изображенной на рисунке 3.4.1.

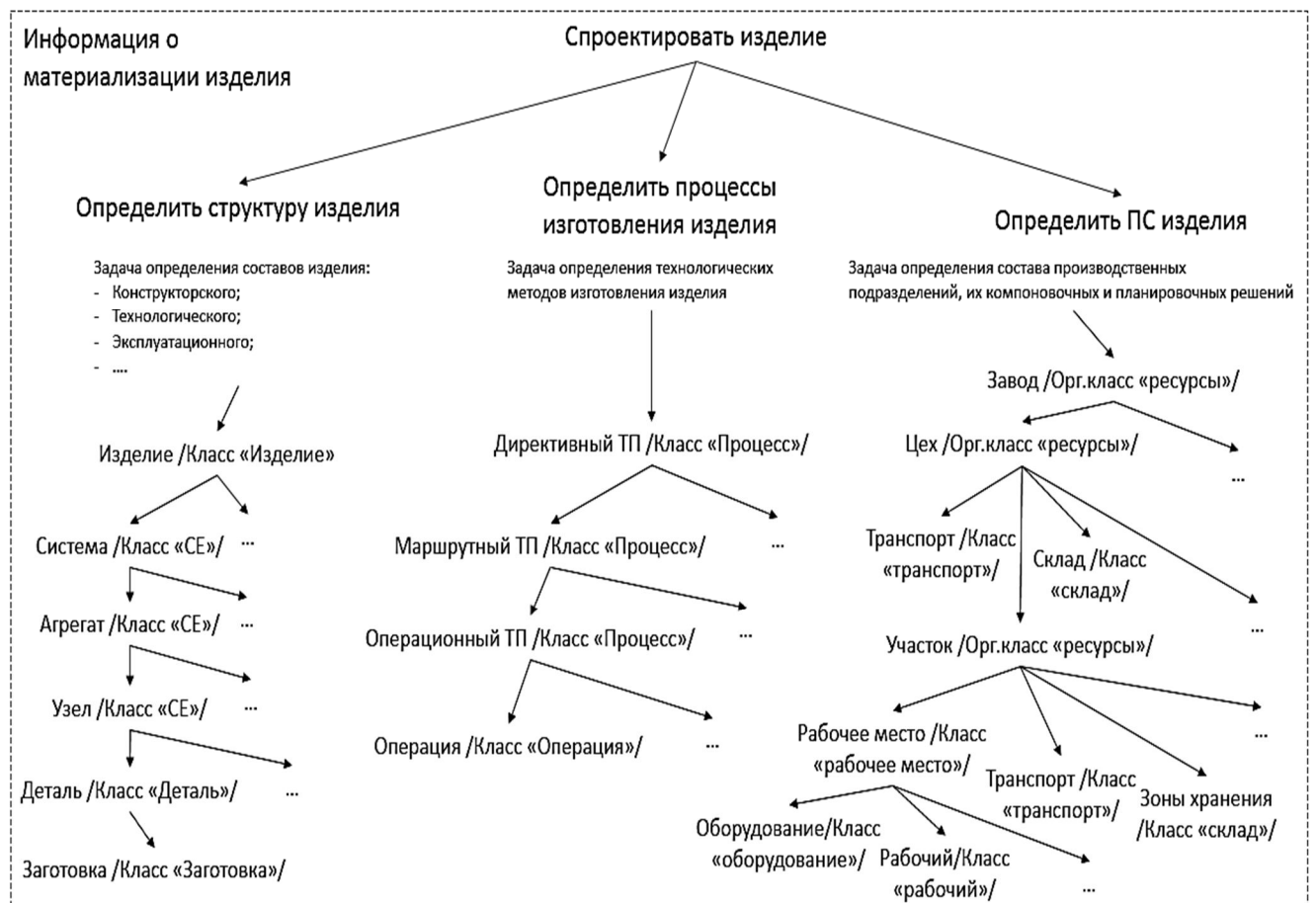


Рисунок 3.4.1 – Алгоритмическая декомпозиция классов предметной области

Б. Процедурная декомпозиция предметной области конструкции

В основу процедурной декомпозиции, положено явление наследования. Согласно гипотезе о явлении наследования, запросы и ожидания потребителей наследуются в конструкторских документах, после чего происходит наследование этой информации в технологических документах, которые устанавливают процессы изготовления изделия.

Процесс наследования иллюстрируется на рисунке 3.4.2. На нем показано, как объекты области суперкласса «Изделия» эволюционируют в объекты суперкласса «Процессы», а те, в свою очередь, – в объекты суперкласса «Процессы», а затем и в объекты суперкласса «Ресурсы».

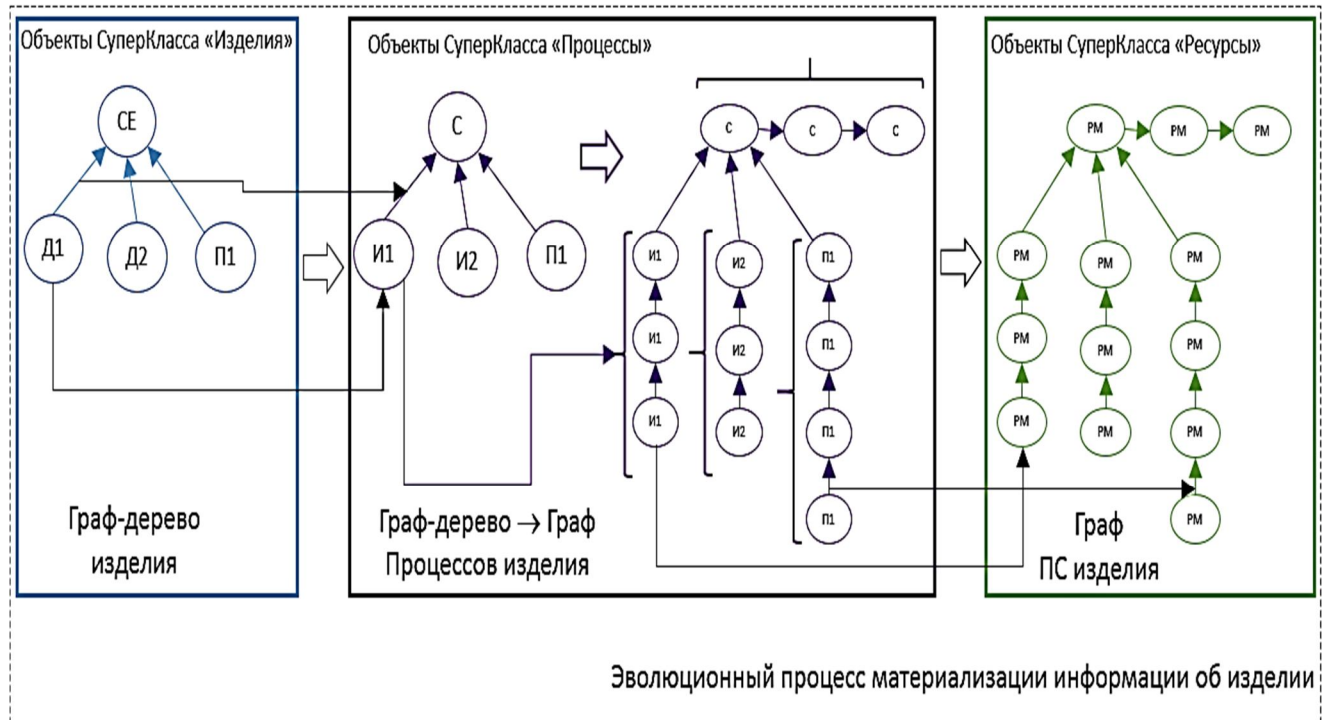


Рисунок 3.4.2 – Процедурная декомпозиция классов и объектов предметной области

Рассмотрим структуру процесса на примере сборочной единицы (СЕ), состоящей из деталей Д1 и Д2 и покупного изделия П1. Декомпозиция заключается в последовательной реализации следующих процедур.

Процедура 1. Используя ГССИ, строится сетевой график процессов производства изделия: С – сборочный процесс, И1, И2 – изготовление деталей Д1, Д2; П1 – процедура закупки покупного изделия П1. Полученный таким образом

сетевой график унаследовал структуру ГССИ. Между объектами классов установлены четкие соответствия: объекту «деталь» соответствует объект «процесс изготовления детали»; «сборочная единица» – «сборочный процесс»; «покупное изделие» – «процесс закупки». Кроме того, трансформировались и связи внутри классов: связи входимости, характерные для класса «изделия», трансформировались в связи предшествования/следования между процессами.

Выход процедуры 1 – ассоциативные отношения между объектами суперклассов «Изделия» и «Процессы».

Процедура 2. Получение достоверных данных о временных и других характеристиках процессов производства с целью «образмеривания» сетевого графика. Основаниями такой декомпозиции служат технологические процессы изготовления элементов изделия и технологическая схема сборки изделия. Структура сетевого графика при этом в полной мере наследуется (сохраняется), а его вершины трансформируются в линейные последовательности операций, между которыми установлены связи предшествования/следования.

Кроме того, межклассовые связи также сохранились и эволюционировали. Для их описания воспользуемся процессным подходом. Так, для первой операции изготовления детали, например Д1, входом служит объект класса «заготовка» – экземпляр З1; выходом для заключительной – непосредственно сама деталь Д1 как экземпляр класса «деталь». Промежуточные входы и выходы – полуфабрикаты, которые определяются путем дополнения обозначения заготовки номером соответствующей операции процесса изготовления/производства изделия. Тем самым каждый из полуфабрикатов рассматривается как уникальный образец изделия.

Сказанное поясняется рисунком 3.4.3. Здесь декомпозиция материального потока производства происходит последовательно до уровня комплексов операций, а в конечном счете до уровня операций. Тем самым удается установить соответствие между объектом «рабочее место» и другими классами, а затем и другими экземплярами суперкласса «ресурсы».

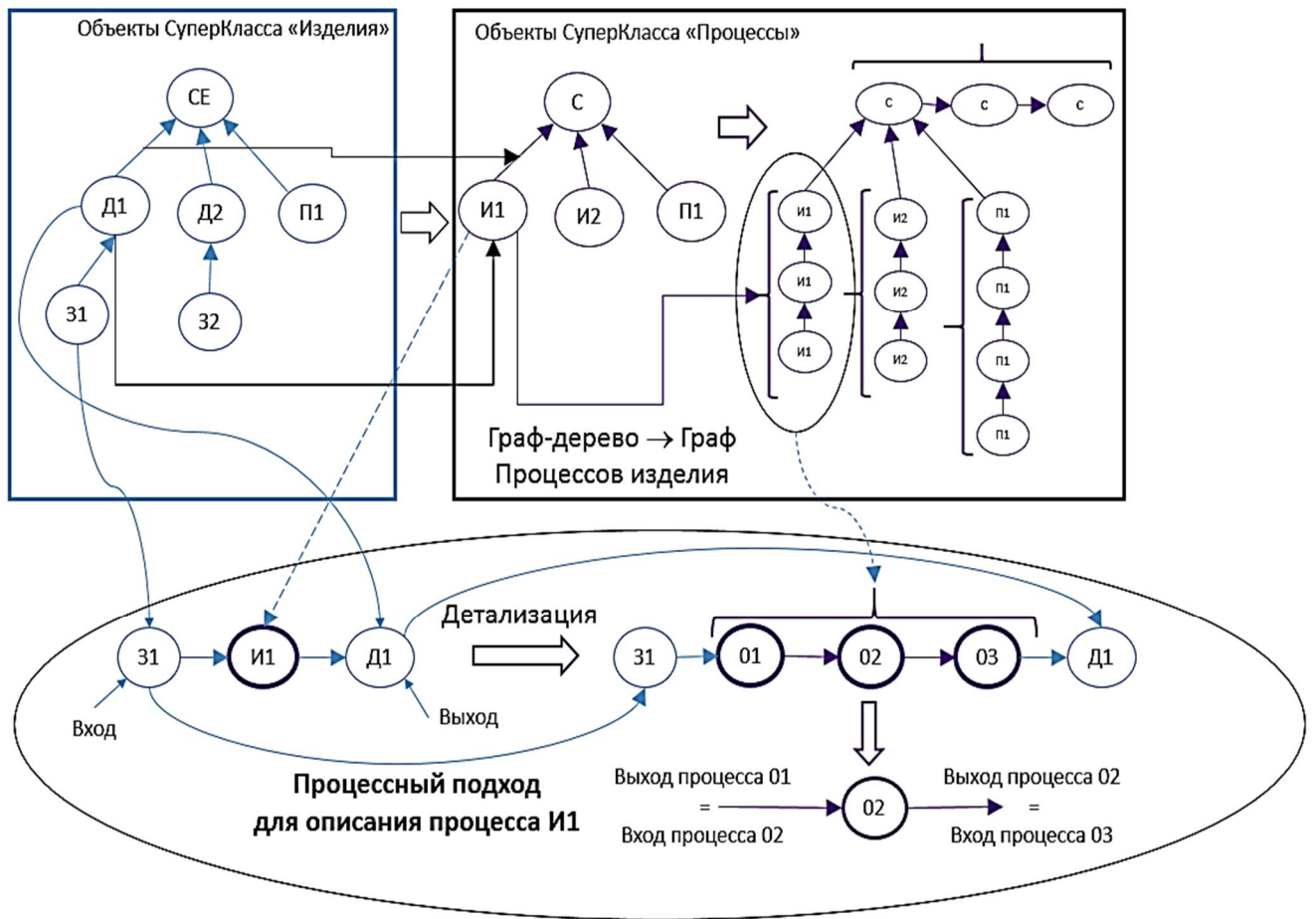


Рисунок 3.4.3 – Процедурная декомпозиция классов и объектов предметной области на этапе перехода от изделия к процессам его изготовления

Из рисунка 3.4.3 видно, что вновь полученный сетевой график унаследовал структуру предыдущего. Он служит основой для разработки/модернизации производственной системы предприятия. Каждому вновь полученному объекту «рабочее место» соответствует объект «операция», которая, унаследовав соответствующую информацию, сохранила информацию об объектах класса «изделия».

В конечном итоге всегда можно получить модель, в которой все три введенных ранее в рассмотрение суперкласса увязаны между собой. Модель характеризует производственную систему в статическом представлении.

Для понимания динамики процесса производства изделия необходимо разработать имитационную модель, для которой характерны специфические классы объектов в рамках выбранной парадигмы и языка моделирования [128], [129]. Далее приведен пример таких объектов для дискретно-событийного

имитационного моделирования [64]. Перечислим их и одновременно установим соответствие классов разработанной объектной модели и имитационной модели:

- Классы Source – Исток и Sink (Drain) – Сток, – классы, используемые для генерирования и удаления заявок из системы. Под заявками понимаются объекты класса «изделие»;
- Класс «рабочее место» суперкласса «ресурсы» может иметь разные обозначения для учета специфических особенностей (Machine, Assembler, Assembly и др.). Однако все они сводятся к классам обрабатывающих, монтажных, испытательных элементов;
- Классы Buffer – Буфер и Queue – Склад (Очередь), – классы, используемые для обозначения «склада» или «зоны хранения». Предназначены для мест хранения соответственно складских и буферных (промежуточных) запасов.
- Класс «транспорт» включает широкий набор объектов: Conveyor – Конвейер, AGV (Automatic Guide Vehicle) – автоматические тележки, Worker – рабочий в качестве транспорта и др.

Таким образом, объекты разработанной статической модели производства изделия однозначно сводятся к объектам классов имитационной/динамической модели. В ходе использования конкретной системы имитационного моделирования должна быть сформирована таблица соответствия указанных объектов, ориентированных на определенную парадигму и язык моделирования. На рисунке 3.4.4 приведен пример такой таблицы для системы имитационного моделирования DELMIA QUEST.

Объектная модель, представленная на рисунке 3.3.4, служит примером наиболее полной модели производства изделия, которая обеспечивает возможность исследования производственной системы как в статическом, так и динамическом аспектах.

В рамках настоящей работы предпочтительней является парадигма агентного моделирования.

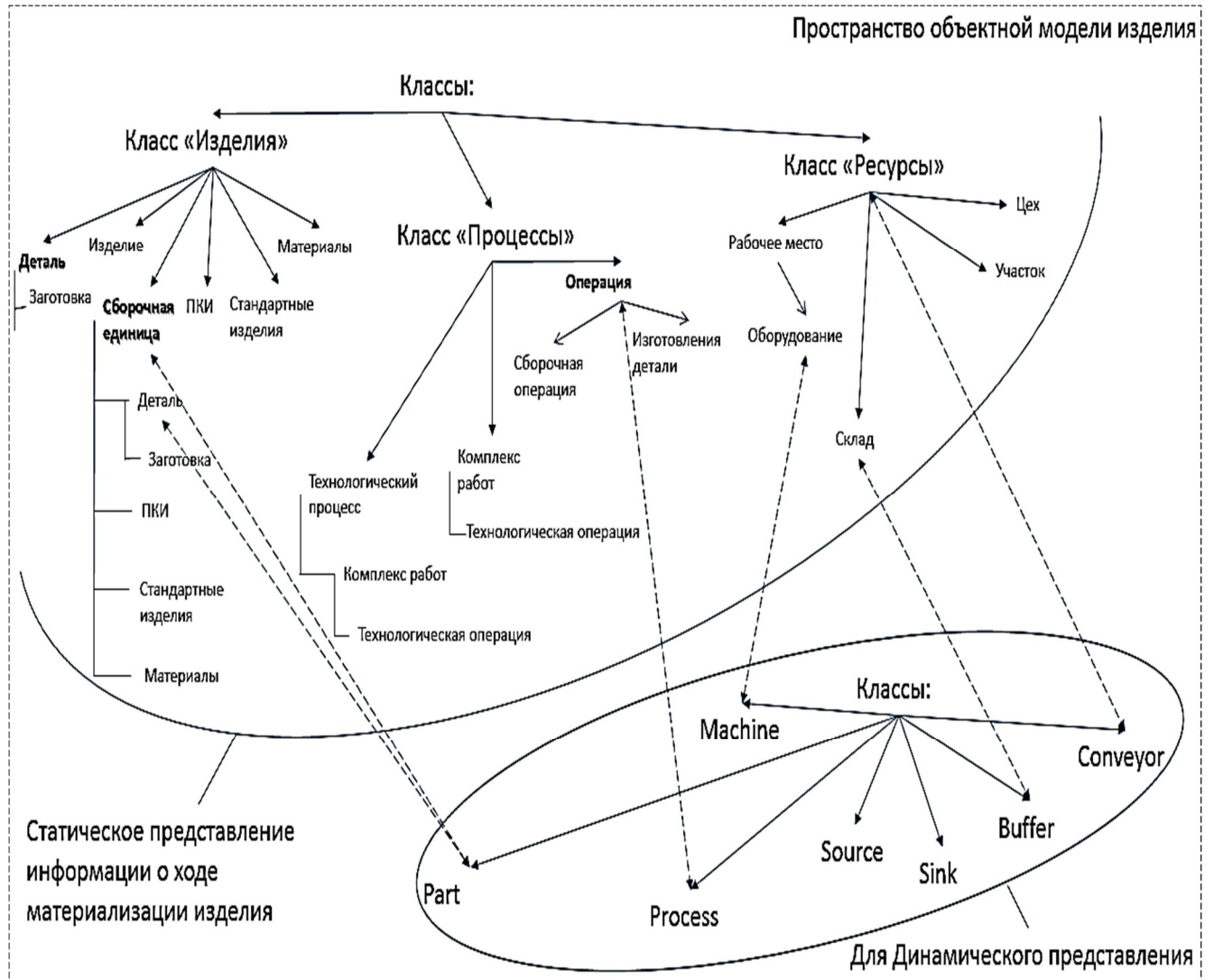


Рисунок 3.4.4 – Представления объектной модели изделия и системы его производства (конструкции «Изделие – Технология – Производство»), используемые для статического и динамического моделирования

3.5. Использование конструкции «Изделие – Технология – Производство» при разработке изделия и системы его производства. Методика построения конструкции

Разработка конструкции «Изделие – Технология – Производство» сопровождает процесс разработки изделия и системы его производства. Каждой стадии жизненного цикла изделия соответствует собственное состояние конструкции и ее обеспечение (алгоритмическое, процедурное, методическое), обеспечивающие возможность оценки стоимости варианта КТР в рамках данной стадии. Чем больше степень проработки решений по изделию и системе его производства, тем точнее оценки стоимости с использованием конструкции «Изделие – Технология – Производство». Текущий уровень точности оценок определяется наличием исходной информации для построения и использования соответствующей конструкции. Таким образом процессы разработки изделия/системы его производства и соответствующей конструкции неразрывно связаны.

На рисунке 3.5.1 определено место использования конструкции в контексте разработки изделия и системы его производства:

- Разработчик формирует исходное множество вариантов КТР;
- Далее, каждый из вариантов проходит процедуру валидации путем оценки его стоимости (алгоритм оценки стоимости приведен на рисунке 3.5.2). При получении неудовлетворительных оценок, процедура позволяет сформировать направления поиска необходимого решения;
- Окончательное решение о принятии и утверждении варианта КТР (и, как следствие, системы его производства) принимает ответственный разработчик.

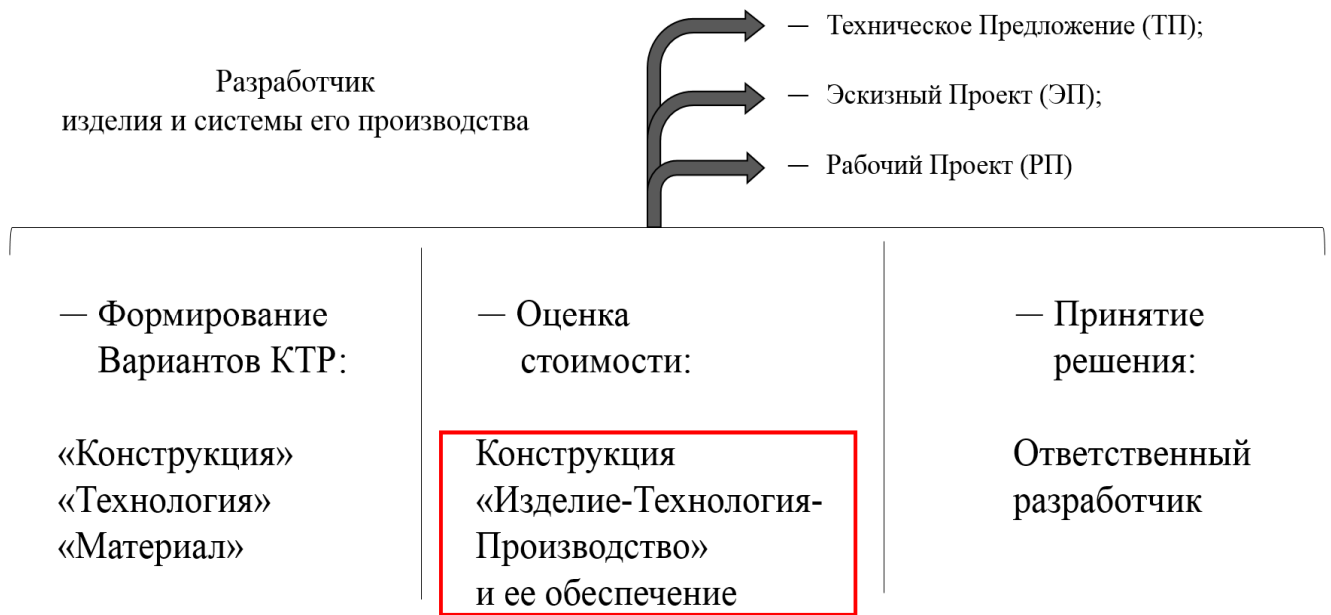


Рисунок 3.5.1 – Процедуры оценки эффективности деятельности предприятия в контексте разработки продукции

На вход алгоритма рисунка 3.5.2 поступают: заданное целевое значение стоимости I -го изделия $C_{зад I}$ и текущая конфигурация (данные по составу ее элементов и их атрибутов: количество, удельная стоимость, размеры и др.) производственной системы предприятия $S_{зад}$ или опорная конфигурация $S_{опорная}$ – в случае ее проекта.

Полученное $КТР_{i I}$ (i -й варианта КТР для I -го изделия и системы его производства) из множества $\{КТР_{i I}\}$ проверяют на удовлетворение ограничения по целевой заданной стоимости $C_{зад I}$ путем прямого расчета его стоимости $C_{i I}$.

В случае неудовлетворения – переходят к следующему варианту КТР. Если все варианты КТР исчерпаны, то принимают решение об увеличении $C_{зад I}$ на приемлемую допустимую величину $\Delta_{доп I}$.

Если определенный таким образом прирост стоимости не достигается для всего множества $\{КТР_{i I}\}$ в рамках заданной производственной системы $S_{зад}$, то переходят к ее корректировке $S_{коррект}$ (на практике это означает процесс модернизации производственной системы под требуемые показатели).

Если и в этом случае не найдены допустимые сочетания KTP_{i_I} и $S_{\text{коррект}}$, то следует вывод о том, что текущий технический уровень производства не обеспечивает целевое значение стоимости, информация для принятия решения передается другим организациям предприятия.

При удовлетворении KTP_{i_I} для всех изделий I предприятия в рамках фиксированной конфигурации производственной системы (исходной или скорректированной), принимается решение об утверждении найденного множества $\{KTP_I\}$ в рамках системы производства S .

Порядок оценки стоимости на различных стадиях разработки изделия и соответствующих им этапам разработки конструкции «Изделие – Технология – Проектирование» приведен на рис. 3.5.3. Данный порядок согласован с методикой построения модели конструкции «Изделие – Технология – Проектирование», систематизированной в рамках процесса робастного проектирования [31].

В рамках поэтапного определения Областей конструкции предусмотрены процедуры системного (определение структуры), параметрического («образмеривание» элементов структуры) и допускового (расчет диапазонов отклонения параметров элементов структуры) проектирования.

Каждому из этапов соответствует своя методика оценки стоимости в зависимости от степени проработки решений и наличия исходной информации.

Так, на этапе определения Области «Изделие» конструкции «Изделие – Технология – Проектирование» возможна экспертная оценка стоимости на основании сравнения со стоимостью инновационно-идеального изделия и его компонентов: каждому из объектов Области «Изделие» (ДСЕ) присваивается атрибут стоимости, определенной как стоимость соответствующего компонента инновационно-идеального изделия (идеально-инновационное изделие представляет собой условное изделие, характеристики которого удовлетворяют лучшим характеристикам изделий-аналогов). Далее, вычисляется стоимость всего изделия, на основании стоимостей компонентов лучших аналогов.

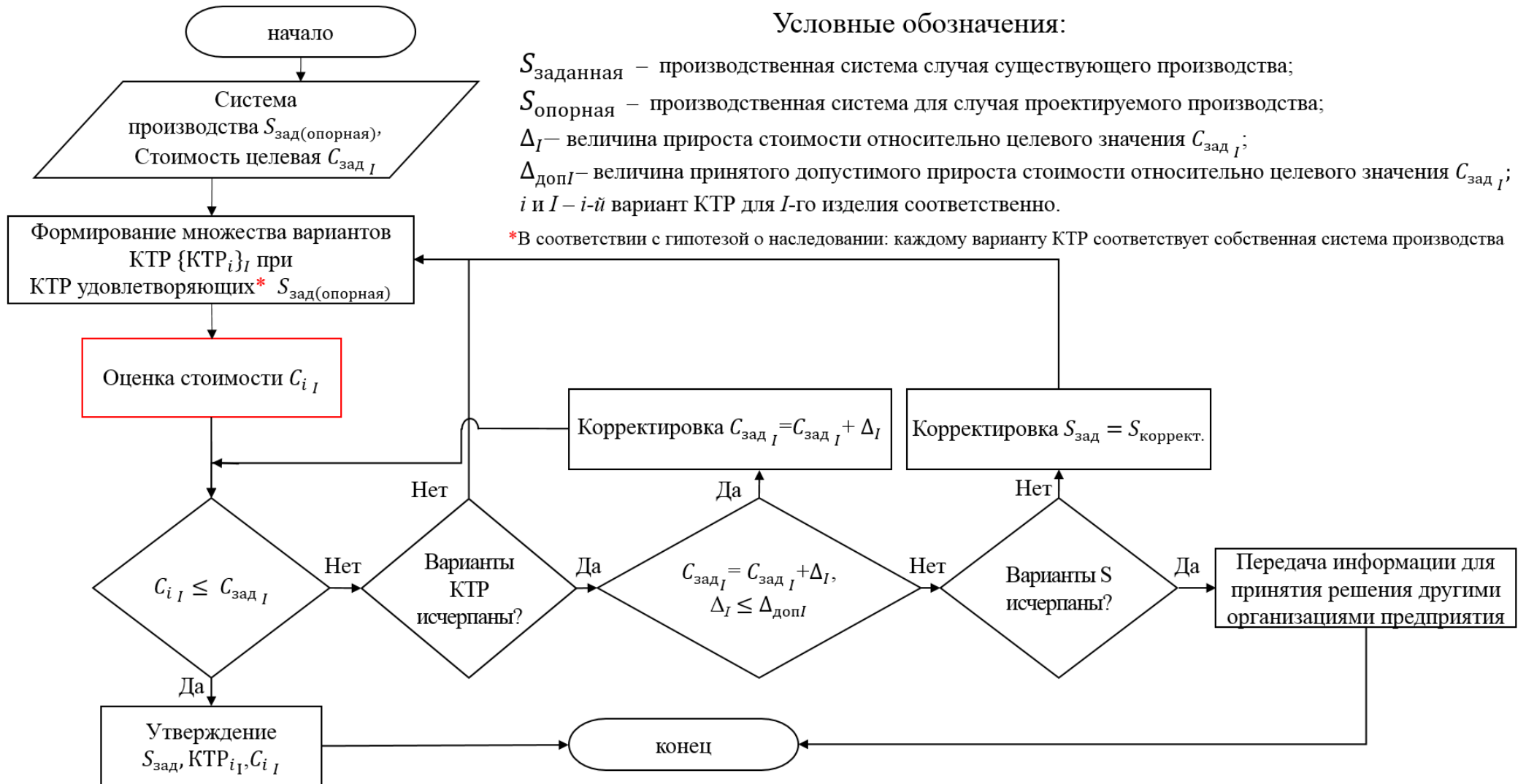


Рисунок 3.5.2 – Типовой алгоритм проектирования изделия и системы его производства

Выбранные варианты (обычно 2, 3), удовлетворяющие целевой стоимости, фиксируются и происходит переход к следующему этапу.

В рамках определения Области «Технология» для каждого из вариантов разрабатываются директивные технологические процессы их изготовления. Методами сетевого моделирования (здесь определено как статическое моделирование) вычисляют технологические циклы изготовления и производные от них компоненты стоимости. Происходит отбор валидных вариантов по заданному ограничению целевой стоимости, и далее – на следующий этап.

Область «Производство» конструкции имеет ключевое значение для конструкции «Изделие – Технология – Производство» в рамках отдельно взятого изделия. На этом этапе уже известны ресурсы, необходимые для изготовления изделия, и, поэтому, возможно определение наиболее точных оценок времени на основании постановки экспериментов с имитационной моделью производства отдельно взятого изделия (динамическое моделирование), и, как следствие, оценок стоимости.

Область «Производство» конструкции рассматривается как результат компромисса между системами производства каждого изделия, определенными в ходе предыдущего этапа, каждый из которых удовлетворяет своему целевому значению заданной стоимости. Временные и производные от них компоненты стоимости проходят валидацию на имитационной модели производства предприятия.

Каждый из этапов определения Областей конструкции разрабатывается в соответствии с алгоритмом, приведенным на рисунке 3.5.2.

Связность моделей конструкции «Изделие – Технология – Производство» каждого изделия номенклатуры предприятия и организации «Основное производство» предприятия приведена на рисунке 3.5.4.

Далее рассмотрена методика построения конструкции «Изделие – Технология – Производство».

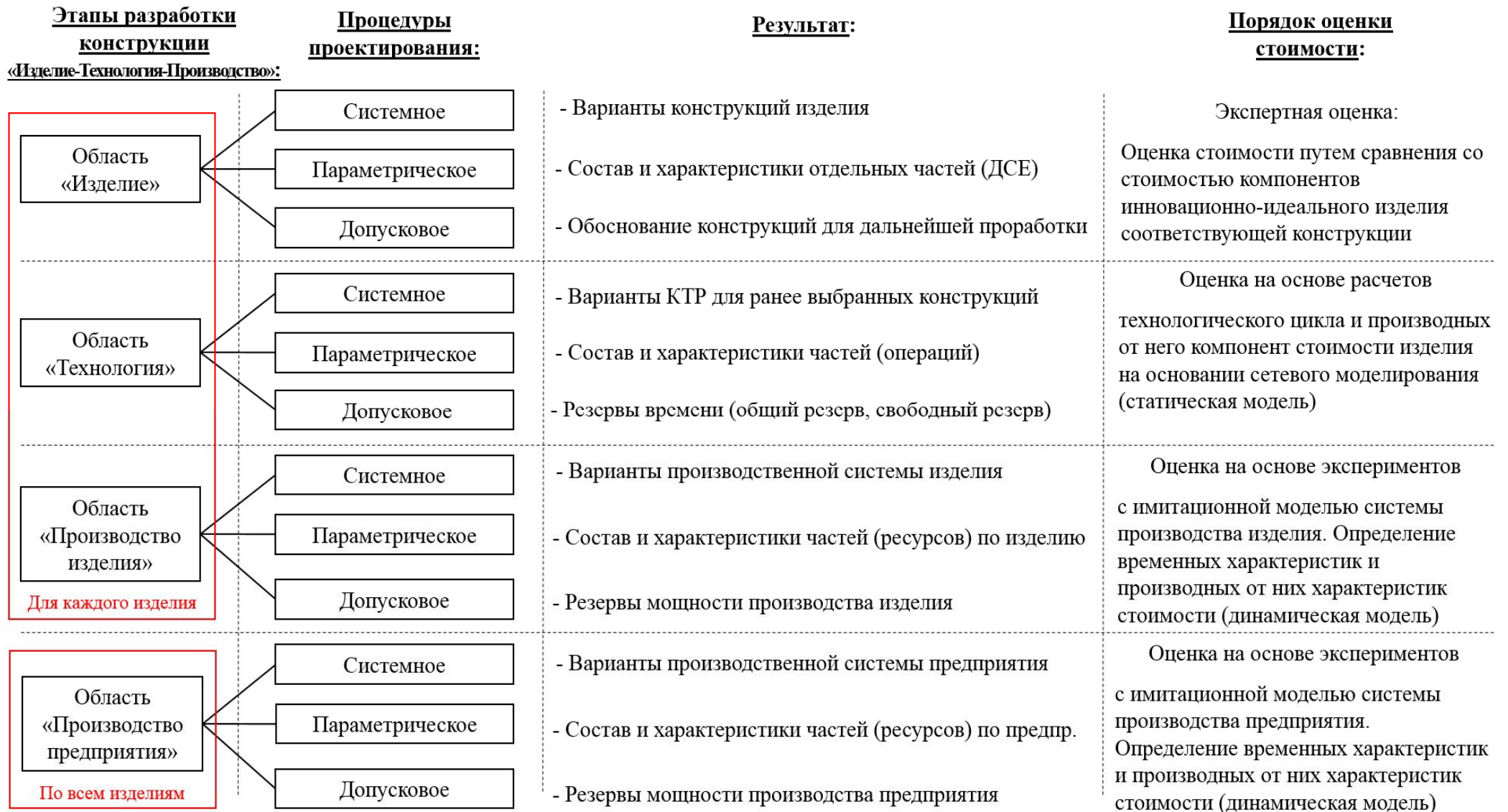


Рисунок 3.5.3 – Порядок оценки стоимости на различных этапах разработки конструкции «Изделие-Технология-Производство»

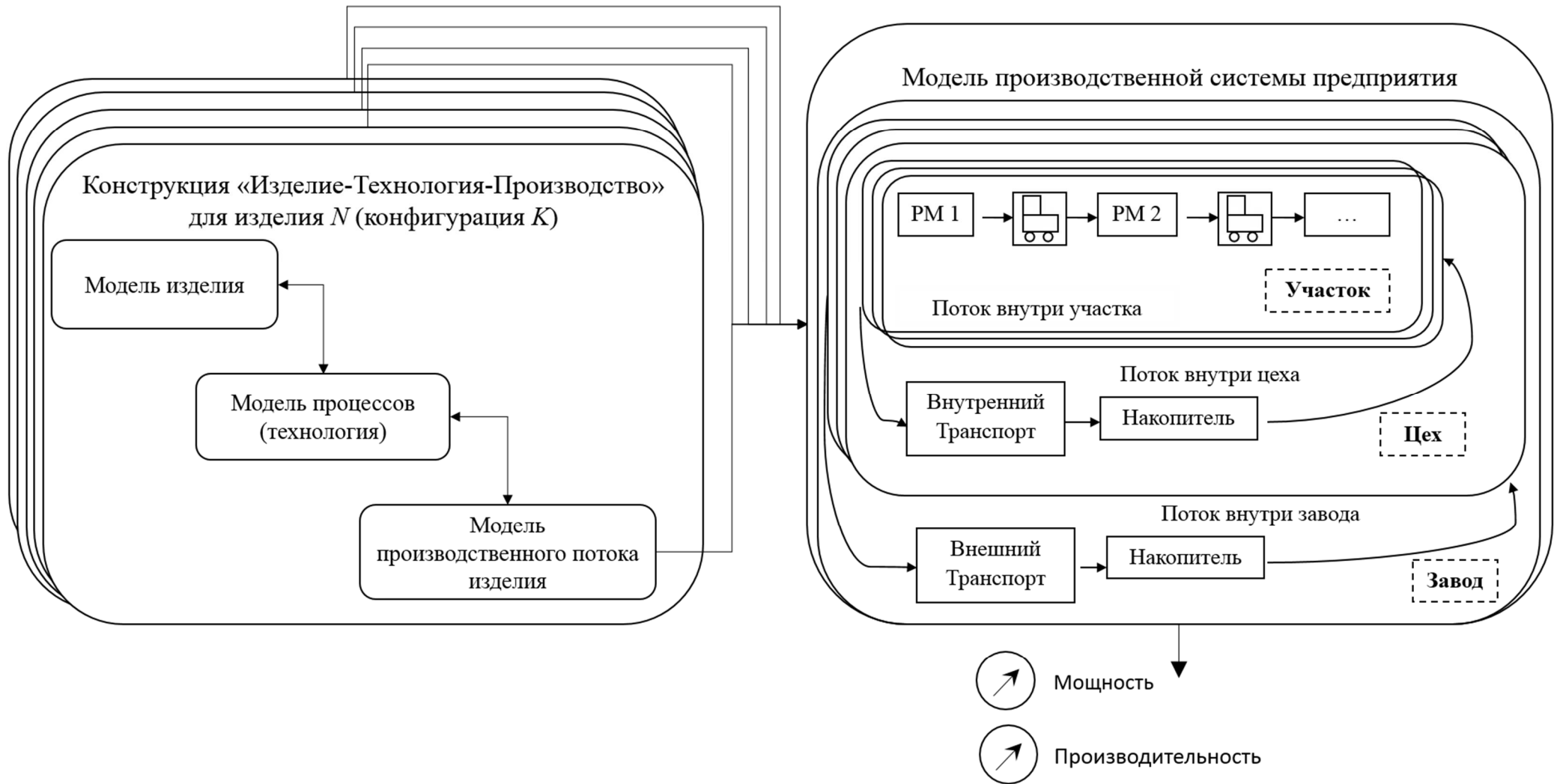


Рисунок 3.5.4 – Связность моделей: конструкции «Изделие-Технология-Производства / модель производства предприятия

Правила построения конструкции «Изделие – Технология – Производство» систематизированы в рамках процесса робастного проектирования [31].

Процесс разработки конструкции состоит из следующих этапов.

1. Этап описания изделия. Выход: устойчивая промежуточная форма [73] «Изделие».

1.1. Процедура системного проектирования. Выход: модель изделия.

Процедура реализуется в ходе разработки графа сборочного состава изделия (ГССИ) посредством установления связей между сущностями: «изделие», «сборочная единица», «деталь», «ПКИ», «заготовка», «основной материал», «вспомогательный материал», «стандартное изделие».

Источник данных: конструкторские спецификации изделия. Роль «является частью» (класс связей «входимость») формируется в полном соответствии со спецификацией изделия.

Разработка графа сборочного состава изделия, соответствующего технологической схеме сборки последнего, реализуется посредством ввода в ГССИ дополнительных промежуточных узлов, идентифицирующих технологические под сборки. Промежуточные узлы описываются сущностью «сборочная единица». Класс связей «является частью» расширяется в соответствии с технологической схемой сборки изделия.

1.2. Процедура параметрического проектирования. Выход: определение свойств вершин ГССИ.

Свойства вершин ГССИ устанавливаются посредством определения атрибутов: габаритные размеры, масса, трехмерная геометрическая модель, характер производства (собственное, покупное) и др. На основании установленных свойств могут быть сформированы различные перечни (списки типа ВОР) по категориям: «Детали», «Сборочные единицы», «ПКИ» и др. Возможно формирование списков и внутри категорий, например, «листовые детали», «валы и оси» и т.д.

1.3. Процедура допускового проектирования. Выход: границы допусков на критические параметры изделия.

Границы допусков определяются на основе разрешения противоречия между стремлением производителя сократить стоимость качества за счет сведения к разумному минимуму количества применяемых марок материалов, типоразмеров исходных материалов, используемых стандартных изделий и пр. и желанием потребителя приобрести за фиксированную цену наиболее выгодное для него качество изделия.

Разрешение противоречия достигается посредством:

- создания модульных конструкций (например, семейство ракет-носителей «Ангара»). Как результат – разброс характеристик группы «Количество» минимальный, при удовлетворении широкого диапазона по массе выводимой полезной нагрузки;
- разработки базовой конфигурации изделия и набора его модификаций (например, увеличение пассажироместимости самолета посредством удлинения фюзеляжа базовой конфигурации).

2. Этап разработки процессов изготовления изделия. Выход: устойчивая промежуточная форма «Технология».

Процедуры: базовая форма «Технология» есть результат наследования формы «Изделие» в варианте технологической схемы сборки. В результате выполнения процедуры формируются ассоциативные отношения между объектами классов: «изделия» и «процессы».

2.1. Процедура системного проектирования. Выход: технологический поток для каждой из вершин ГССИ.

Процедура реализуется посредством разработки двух вариантов технологического потока:

- *Поток I-go рода* представляет процесс трансформации исходного материала в изделие (в число технологических операций включаются только операции трансформации).

В этом случае при формировании пакета работ для каждой вершины графа сборочного состава изделия соответствующего вершине процесса изготовления унаследованного графа процессов ассоциативные связи «процесс-изделие»

сохраняются. Промежуточные входы и выходы (класс «изделие») инициализируются путем добавления в качестве префикса номера операции. Данные объекты являются полуфабрикатами и не имеют описания в виде соответствующих конструкторских документов. Эти объекты должны быть дополнительно сгенерированы как экземпляры класса «изделие» для учета факта изменения характеристик полуфабриката в результате выполнения соответствующей операции. Выход предыдущей операции является входом последующей. Таким образом операции можно связывать и без указания жесткой последовательности.

- *Поток II-го рода* включает в себя весь спектр технологических операций, в том числе и не добавляющих ценности (non value add): хранения, контроля качества, транспортирования.

В этом случае соответствующие связи ассоциативности с соответствующими компонентами изделия сохраняются, однако входы и выходы этих операций не генерируют новые компоненты (полуфабрикаты), поскольку изменения состояния полуфабриката при этом не происходит, т.е. вход и выход один и тот же. Исключение составляют компоненты, срок работоспособного состояния которых сильно ограничен процессами старения. Здесь необходимо генерирование новых дополнительных компонентов, а срок хранения (перемещения) строго лимитируется.

2.2. Процедура параметрического проектирования. Выход: «образмеренная» сетевая модель производства изделия.

«Образмеривание» сетевой модели производится посредством определения атрибутов: наименование процесса, краткая характеристика, время выполнения. В ходе анализа сетевой модели выявляется критический путь и производится расчет длительности цикла производства изделия. Затем формируются списки по типам операций для последующего анализа в интересах определения: количества используемых технологий (технологических методов), количества операций, типов операций, операций, имеющих примерно одинаковую длительность, количества экологически вредных технологий и т.д.

2.3. Процедура допускового проектирования. Выход: границы допусков критически важных параметров процессов.

Процедуры: Анализ технологий. Разброс параметра «количество технологий» также должен удовлетворять разрешению противоречия аналогично п.1.3. При реализации процедуры устанавливаются технологические методы (параметр длительность операции), при которых длительность технологического цикла не превышает аналогичных характеристик изделий-конкурентов или инновационно-идеального изделия [127]. В противном случае технологические методы подлежат пересмотру, или происходит возврат на 1-й этап для корректировки структуры изделия.

Процедура реализуется посредством управления операциями, лежащими на критическом пути и оценивания возможных отклонений длительности выполнения операций от номинальных значений. Кроме того, анализу подвергают связи «предшествования/следования» двух видов: без резерва времени и с резервом времени. Преимущество связей второго типа состоит в возможности регулирования хода производства. В методологии проектного управления [130], [131] эти связи отнесены соответственно к жесткому и нежесткому типам.

Номиналы операций должны быть подобраны таким образом, чтобы свести к минимуму разброс времени (потери), однако, запас времени означает резерв управления. Таким образом, границы допусков также устанавливаются посредством разрешения противоречия.

3. Этап описания производственных ресурсов, необходимых для изготовления изделия. Ресурсное описание изделия. Выход: устойчивая промежуточная форма «Производство» изделия.

3.1. Процедура системного проектирования. Выход: ресурсное описание технологического потока II-го рода.

Процедура реализуется посредством определения для каждой из операций трансформации – соответствующего рабочего места, операции хранения – зоны хранения, транспортной операции – транспортного средства (тележка, электрокар, рабочий как транспортный элемент, кран и т.д.).

3.2. Процедура параметрического проектирования. Выход: «образмеренные» ресурсы потока II-го рода.

Процедура реализуется посредством определения атрибутов:

- Рабочих мест (наименование; технические характеристики; состав и характеристики потребляемых ресурсов, стоимость владения (часовая ставка) и т.д.);
- Зон хранения и буферов (наименование, размеры зоны, тип и т.д.);
- Транспортных средств (наименование, грузоподъемность, габаритные размеры и т.д.).

По результатам параметрического проектирования разрабатывают перечни: необходимых ресурсов и их характеристик; номинальных значений производственной мощности для каждого из производственных потоков; ресурсов и норм их расхода для гарантированного выполнения производственной программы выпуска по изделию.

Каждый из производственных потоков может быть подвергнут анализу независимо от других.

3.3. Процедура допускового проектирования. Выход – границы допусков критически важных параметров ресурсов.

Допусковое проектирование является результатом устранения противоречия между минимально необходимой для выполнения производственной программы выпуска производственной мощностью, и тем ее значением, которое требуется для удовлетворения всплесков потребительского спроса. Противоречие разрешается посредством анализа состава виртуальных производственных потоков, и каждого из виртуальных потоков с учетом ограничений на состав альтернативных и замещающих рабочих мест. Управляемые параметры: размер партии, сменность работы, работа в выходные дни. Решение задачи возможно как инструментами сетевого планирования, так и имитационного моделирования.

4. Этап описания производственных ресурсов, необходимых для изготовления номенклатуры изделий. Ресурсное описание номенклатуры изделий. Выход: Устойчивая промежуточная форма «Производство» номенклатуры изделий.

4.1. Процедура системного проектирования. Выход процедуры: организованные производственные подразделения.

В рамках этапа решается задача формирования производственных подразделений предприятия (организация) на основании объединения потоков I-го рода по каждому из изделий номенклатуры. Формирование подразделений осуществляется по функциональному признаку, для чего однородные рабочие места разных потоков объединяются в рамках организуемого производственного подразделения. Результатом проектирования является организация производственных подразделений, в которых количество рабочих станций обусловлено их потребностью для каждого из производственных потоков. Таким образом, производственный поток все еще носит характер виртуального (хотя и частично материализованного), однако потоки пока еще не пересекаются.

4.2. Процедура параметрического проектирования. Выход процедуры: «образмеренные» производственные подразделения из состава по п.4.1.

В рамках параметрического проектирования решается задача установления номинальной мощности каждого из выделенных производственных подразделений. При этом однородные работы объединяют для выполнения на одном рабочем месте. До настоящего этапа моделирование производственной системы проводилось без наложения ограничений на ресурсы, в качестве ограничения выступал только фактор времени. Начиная с текущего этапа вводятся ограничения и на ресурсы. Потоки начинают пересекаться. В этом состоит отличие от этапа 3.2. Однако, хотя речь и идет об ограничениях на ресурсы, но, по сути, оно выливается в новое ограничение по времени (предыдущее ограничение по времени корректируется в меньшую сторону), поскольку достаточный состав рабочих станций в плане функциональных возможностей ранее уже определен.

Количественный состав рабочих станций определяется на основании валового подхода, т.е. из наличия фонда времени.

4.3. Процедура допускового проектирования. Выход – границы допусков критически важных параметров ресурсов.

Мощность, полученная в результате п. 4.2, вычислена из расчета, что работы, выполняемые на рабочих станциях не зависят от технологической последовательности их выполнения и в рамках рабочего места выполняются последовательно без перерывов. На самом деле, поскольку работы выстроены согласно технологического потока I-го рода, перерывы в однотипных работах как одного, так и различных потоков, на рабочих местах неизбежны. Следовательно мощности по п. 4.2 будет недостаточно. Очевидно, номинальное значение мощности по п. 4.2 будет нижней границей допуска, которая практически не достижима. Задача настоящей процедуры – определение верхней границы разброса мощности, с учетом производства различных изделий и изделий различных конфигураций. Получить аналитическое решение поставленной задачи для рассматриваемых производственных систем дискретного машиностроения довольно трудно, поэтому прибегают к помощи имитационного моделирования и постановки имитационных экспериментов. На основании раздела 3.2, имитационная модель может быть получена в автоматизированном режиме, поскольку все сущности рассматриваемой задачи к этому моменту уже формализованы. Модель должна быть настроена под начальные условия и план эксперимента, которые определяются преследуемыми целями, классификация которых приведена в разделе 4.1 Главы 4. В рамках настоящей процедуры, на имитационных моделях исследуется устойчивость (чувствительность) производственной системы к параметрам. Среди них: сбои в работе рабочих станций, вызванные как отказом оборудования, так и сбоями в обеспечении необходимой оснасткой, рабочим персоналом и т.д.; брак и др.

Результаты систематизации процедур построения конструкции «Изделие-Технология-Производство» приведены в таблице 3.5.1. Механизмы наследования устойчивых форм [10], использованные в правилах разработки конструкции «Изделие – Технология – Производство», приведены на рисунке 3.5.5.

Пример программной реализации конструкции «Изделие – Технология – Производство» в системе имитационного моделирования AnyLogic приведен на рисунке 3.5.6.

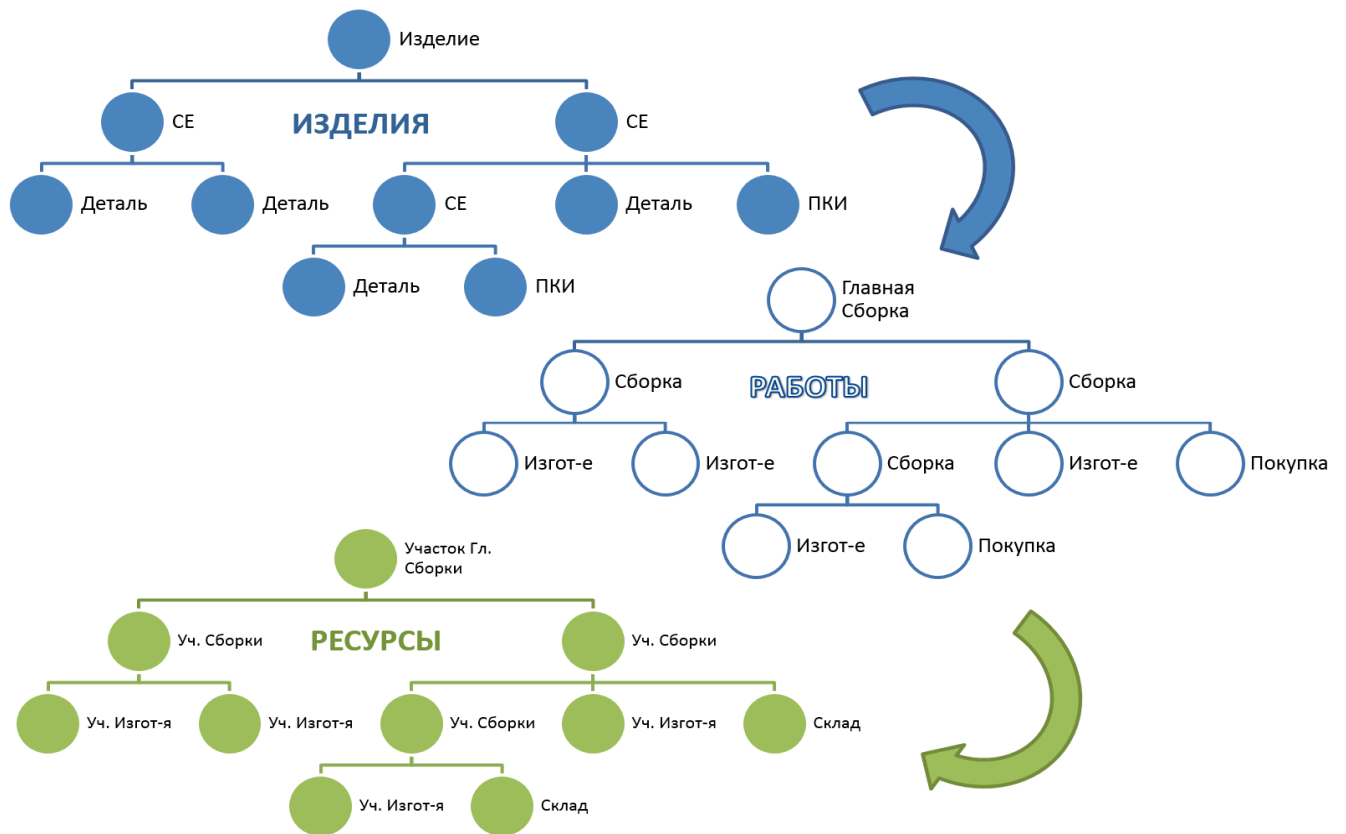


Рисунок 3.5.5 – Механизм наследования устойчивых форм конструкции «Изделие – Технология – Производство»

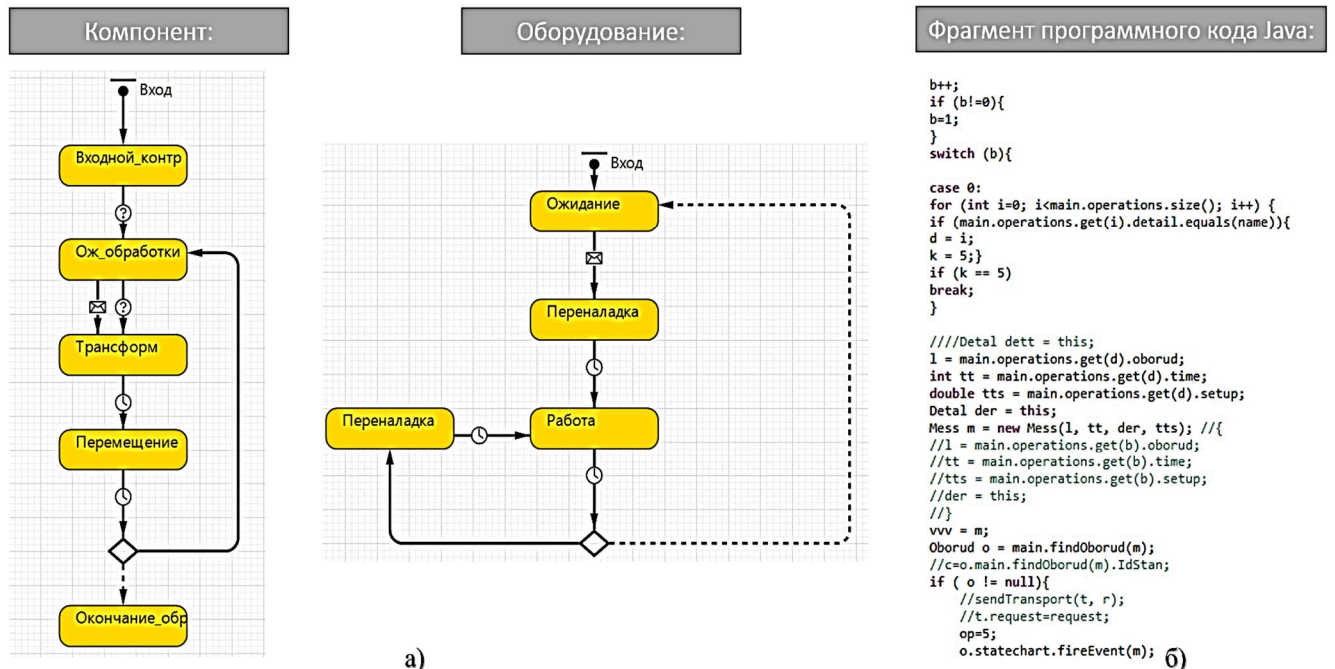


Рисунок 3.5.6 – Пример программной реализации в системе имитационного моделирования AnyLogic: а – состояние агентов модели; б – часть программного кода реализации алгоритма взаимодействия агентов

Таблица 3.5.1 – Порядок построения конструкции «Изделие-Технология-Производство»

№ Этапа	Этапы разработки устойчивых промежуточных форм	Процедуры проектирования в рамках устойчивой формы	Формируемая структура (модель) / управляемые параметры / диапазон изменения управляемых параметров	Объект исследования	Применяемые техники моделирования
1	Устойчивая промежуточная форма «Изделие» (Область «Изделие»)	Процедура системного проектирования	Граф сборочного состава изделия (ГССИ)	Структура изделия	Графическое моделирование структур на основании атрибутов собственных систем координат
		Процедура параметрического проектирования	Количество деталей, ПКИ, стандартных изделий, марок материалов		
		Процедура допускового проектирования	Диапазон допусков для критических компонентов изделия		
2	Устойчивая промежуточная форма «Технология» (Область Процессов изготовления изделия) Процессное описание изделия	Процедура системного проектирования	Сетевая модель	Технологический процесс	Сетевое моделирование без учета ресурсов. Процессный подход. Диаграмма PERT. Метод критического пути
		Процедура параметрического проектирования	Количество технологий, операций. Время операции		
		Процедура допускового проектирования	Общее резервное время, свободное резервное время		
3	Устойчивая промежуточная форма «Производство» (Область Ресурсов, необходимых для изготовления изделия) Ресурсное описание изделия	Процедура системного проектирования	Сетевая модель производственного потока по каждому анализируемому изделию	Поток I-го рода, Поток II-го рода	Сетевое моделирование с учетом ресурсов. Процессный подход. Метод критического пути. Диаграмма PERT. Диаграмма Ганта. Имитационное моделирование
		Процедура параметрического проектирования	Размер партии, график работы (сменность)		
		Процедура допускового проектирования	Диапазон допусков для критически важных параметров ресурсов		
4	Устойчивая промежуточная форма «Производство» (Область Ресурсов, необходимых для изготовления изделий предприятия) Ресурсное описание системы производства предприятия	Процедура системного проектирования	Иерархическая модель производственной системы	Поток II-го рода	Имитационное моделирование. Оптимизация
		Процедура параметрического проектирования	Размер межоперационного задела. Запас ресурсов. Сбои в работе рабочих станций, технический уровень ресурсов, запас материалов		
		Процедура допускового проектирования	Диапазон допусков для критически важных мощностей предприятия		

3.6. Выводы по Главе 3. Основные результаты исследования процесса реализации конструкции «Изделие – Технология – Производство»

На основании выполненного исследования процесса реализации разработанных методик и моделей эффективной производственной деятельности получены следующие результаты:

В1. Разработанные методики и модели эффективной производственной деятельности реализованы в форме конструкции «Изделия – Технология – Производство», во внутренней среде которой формируется информационное представление полиструктурной модели деятельности.

В2. Внутренняя среда конструкции «Изделия – Технология – Производство» декомпозирована на три самостоятельные области: «Изделие», «Технология» и «Производство». Между ними установлены связи, посредством которых обеспечивается целостность информации, отображенной в конструкции.

Область «Технология» выполняет роль процессора преобразующего информацию о структуре изделия и свойствах его элементов (составных частей) в состав операций, необходимых для производства изделия, и порядок их выполнения, а также состав и нормы расхода материалов и ресурсов.

В3. Для представления данных о производственной деятельности выбрана модель RDF (Resource Description Framework – среда описания ресурса).

Аргументами в пользу такого выбора стали: возможность обработки RDF-данных с использованием разнообразных языков запросов. Автономность представления RDF-данных перспективна с точки зрения создания самостоятельного программного приложения для решения задач управления эффективностью предприятия.

Разработаны концептуальные схемы представления информации для каждой из областей конструкции. В основу этих схем положены понятия, определенные в национальных стандартах РФ, а соответствующие им данные представлены в форме ориентированных RDF-графов. Связи о понятиях образуются посредством высказываний о ресурсах типа «субъект-предикат-объект».

В4. Каждой из вершин RDF-графа поставлен набор ее свойств, которые представляются в форме атрибутов данных. Установлен состав атрибутов, необходимых для оценивания результатов деятельности с экономической точки зрения. Тем самым для любой области внутреннего пространства конструкции могут быть созданы условия для прямого постатейного расчета затрат на выполнение любой из работ.

Таким образом, модель производственной деятельности приобретает метрику, необходимую и достаточную для оценивая последствий любых решений, принимаемых в интересах управления потерями. Точность таких оценок определяется только совершенством используемых технико-экономических моделей и качеством данных.

В5. Разработан процесс построения конструкции «Изделия – Технология – Производство» для двух случаев:

- Разработки модели производственной деятельности функционирующего предприятия;
- Параллельной разработки изделия и системы его производства. Частный случай – процесс модернизации (модификации) изделия и системы его производства.

Предложена методика разработки конструкции, обеспечивающая заданный уровень эффективности производственной деятельности предприятия.

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ КОНСТРУКЦИИ «ИЗДЕЛИЕ – ТЕХНОЛОГИЯ – ПРОИЗВОДСТВО»

4.1. Методика проведения экспериментальных исследований

Цель экспериментальных исследований

Цель экспериментальных исследований заключалась в оценивании функциональных характеристик множества возможных вариантов использования разрабатываемых методик и моделей. Были выбраны два показателя качества множества вариантов:

- Работоспособность;
- Функциональность.

Под работоспособностью понимается мера возможности каждого из элементов множества вариантов удовлетворять запросы и ожидания заказчиков в ходе решения поставленных ими задач в части повышения эффективности производственной деятельности предприятий.

Функциональность рассматривается как мера способности всего множества вариантов соответствовать широте запросов и ожиданий предприятий – заказчиков.

Множество вариантов использования отображает особенности тех реальных задач, в ходе решения которых оценивалась эффективность конкретных вариантов организации производственной деятельности предприятий и разрабатывались мероприятия для роста эффективности.

Задача оценивания точности разрабатываемых методик и моделей не ставилась, поскольку данные, потребляемые ими, порождаются вне области определения методик и моделей. Показатели эффективности во всех случаях получены аналитическими методами, и поэтому оценки эффективности в точности соответствовали использованным данным. Поэтому результаты экспериментальных исследований достоверны ровно в той степени, насколько достоверны использованные данные.

Предмет экспериментальных исследований

Предметом исследования выступали либо отдельно взятый производственный поток, либо их любая совокупность, актуальная для предприятия. При этом в тех примерах, где рассмотрен отдельно взятый производственный поток, это стало возможным в силу того, что в состав производственных документов включена структура сети поставок. Таким образом каждому из компонентов изделия всегда может быть поставлен временной промежуток наступления событий начала и завершения поставки.

В разных задачах были использованы разные показатели эффективности, но во всех случаях они рассматривались как функции времени, технологически необходимого для выполнения операций производственного потока. Стоимостные показатели использовались исключительно в тех случаях, когда в число переменных характеристик вариантов потока включались марки материала, виды заготовок, ресурсы.

Процесс решения каждой из исследованных задач разбивался на два этапа:

- Разработка обособленного (частного) представления конструкции «Изделие – Технология – Производство», которое в каждом случае учитывало и особенности производимого изделия, и собственно процесса его изготовления;
- Исследование разработанного представления конструкции для получения решения поставленной задачи. Исследование выполнялось с помощью совместно используемых и согласованных аналитических методов и постановки и выполнения имитационных экспериментов над конструкцией «Изделие – Технология – Производство».

Исследуемые задачи

В соответствии с высказанным предположением о том, что каждому варианту конструкторско-технологического решения изделия соответствует система его производства, в ходе выполнения второго этапа решалась одна из двух, или же обе исследовательские задачи:

- *Задачи I-го уровня*, в ходе решения которых выполнялось оценивание конструкторско-технологических решений на предмет их реализации в рамках рассматриваемой производственной системы.

Оценивание решений носило итеративный характер, т.е. в решения вносились изменения вплоть до достижения либо заданного уровня стоимости качества изделия, либо вплоть до принятия решения о нецелесообразности дальнейшего совершенствования конструкторско-технологического решения и необходимости модернизации производственной системы;

Например:

- I.1. Задачи, связанные с выбором (оценкой) конструкторско-технологических решений проектируемых изделий (их составных частей), обеспечивающих достижение заданных показателей.

Возможные показатели оценки КТР:

- Стоимость;
- Технологически необходимое время изготовления;
- Дополнительные затраты на технологическое оснащение;
- Окупаемость затрат на технологическую подготовку производства и дополнительное оснащение.
- и др.

- I.2. Задачи, связанные с определением конструктивно-технологических решений изделия и организации его серийного производства, обеспечивающих реализацию практик бережливого производства.

Возможные показатели оценки КТР:

- Объем незавершенного производства:

$$C_{\text{нзп}} \rightarrow \min \quad (4.1.1)$$

- Затраты на технологическую подготовку производства, технологическое оборудование и оснащение:

$$Z_{\Sigma} \rightarrow \min \quad (4.1.2)$$

- Производственный цикл изготовления изделий:

$$T_{\text{пр.ц}} \rightarrow \min \quad (4.1.3)$$

- Планировочные решения:

$$S_{\text{пр.п}} \rightarrow \min \quad (4.1.4)$$

где $S_{\text{пр.п}}$ – площади производственных подразделений.

- А также состав и количество СТО, планировочные решения по их размещению, объем запуска изделий в производство и др.

Возможный критерий оценки КТР:

- Эффективность производства [127]:

$$K_e = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{\sum_{j=1}^k G_j} \rightarrow \min \quad (4.1.5)$$

где $\sum_{i=1}^n C_i$ – стоимость всех видов ресурсов, необходимых для изготовления в течение года изделий (собственного изготовления) массой $\sum_{j=1}^k G_j$.

I.3. Задача оценки интегральных характеристик эффективности конструкции «Изделие – Технология – Производство».

Возможные критерии оценки КТР:

- Критерий инновационности системы «Изделие – Технология – Производство [127]:

$$K = \varphi_1 K_1 + \varphi_2 \frac{K_e^{ии}}{K_e^и} + \varphi_3 K_2^* + \varphi_4 \frac{\tau_{ии}}{\tau_и} \quad (4.1.6)$$

где K_1 – показатель инновационности (полезности) анализируемого изделия:

$$K_1 = \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{\chi_i}{\chi_{ии}} \quad (4.1.7)$$

где λ_i – весовые коэффициенты ($\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$);

χ_i ; $\chi_{ии}$ – существенные параметры i -го изделия и соответствующего идеально-инновационного изделия;

$K_e^{ии}$; $\tau_{ии}$ – показатель эффективности производства и время изготовления анализируемого изделия;

$K_e^и$; $\tau_и$ – показатель эффективности производства и время изготовления идеально-инновационного изделия;

K_2^* – показатель инновационности производства с точки зрения его экологичности:

$$K_2^* = \sum_{j=1}^u \beta_j \frac{\gamma_j}{\gamma_{jии}} \quad (4.1.8)$$

где β_i – весовые коэффициенты ($\sum_{i=1}^n \beta_i = 1$);

γ_j ; $\gamma_{jии}$ – параметры экологичности j -го проектируемого (модернизируемого) производства изделия и соответствующего идеально-инновационного производства;

φ_i – весовые коэффициенты ($\sum_{i=1}^n \varphi_i = 1$).

– Критерий конкурентоспособности [127]:

$$\eta = \frac{C_{жц}^A}{C_{жц}^B} \cdot \frac{\Pi^B}{\Pi^A} \quad (4.1.9)$$

где, $C_{жц}^A$; $C_{жц}^B$ – стоимости жизненного цикла изделий А и Б;

P^A ; P^B – показатели полезности изделий А и Б, например, по выражению (4.1.7).

Критерии и показатели (4.1.6 – 4.1.9) используются преимущественно на ранних этапах разработки конструкции и экспертных оценок стоимости изделия (см. рисунок 3.5.3).

- *Задачи II-го уровня*, цель решения которых заключалась в организационном совершенствовании существующей организации «Основное производство». Основу такого совершенствования составили практики и приемы бережливого производства, цель которых – достижение минимального уровня остаточных потерь.

Решение задач этого уровня возможно и в условиях разработки новой или существенной модернизации организации «Основное производство».

Например:

- II.1. Разработка производственной системы: задача проектирования производственной системы под заданное значение производственной мощности (среднее значение и допустимые отклонения от среднего значения).

Возможные показатели оценки решений производственной системы (ПС):

- Минимизация объема незавершённого производства;
- Минимизация запаса ресурсов;
- Минимизация транзакционных издержек.

- II.2. Модернизация производственной системы: задача модернизации производственной системы под заданный

диапазон значений производственной мощности (среднее значение и допустимые отклонения от среднего значения).

Возможные показатели оценки способов модернизации производственной системы (ПС):

- Минимизация ресурсов при сохранении пропускной способности;
- Максимизация (расширение) пропускной способности при наличии ограничений на ресурсы.

В том случае, когда задачи обоих уровней решаются одновременно, можно говорить о параллельной разработке изделия и производственной системы предприятия.

Решение каждой из задач оценивания эффективности производственной деятельности и разработки мероприятий для ее повышения, квалифицировали на предмет удовлетворения запросов и ожиданий заказчиков решения задачи.

Функциональность разработанных методик и моделей оценивали качественно посредством анализа ширины спектра функциональной направленности исследованных вариантов использования методик и моделей.

Практическая основа экспериментальных исследований

Исследованное множество вариантов использования разработанных методик и моделей состояло из элементов – реальных задач повышения эффективности производственной деятельности предприятий:

- Задача выявления и сравнительного анализа приемов управления стоимостью качества изделия «Жаровая труба» и ритмом его внутренних поставок (Пример 1);
- Задача модернизации производственной системы для увеличения производственной мощности цеха (Пример 2);
- Задача планового совершенствования производственной деятельности предприятия (Пример 3);
- Задача аудита ремонтного производства (Пример 4).

В целях оценки применимости программных средств к выполняемым экспериментальным исследованиям дополнительно рассмотрен:

- Программно-информационный комплекс для проведения экспериментов с конструкцией «Изделие – Технология – Производство».

Средства проведения экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводились посредством выполнения компьютерных экспериментов с моделями производственной деятельности предприятия.

4.2. Программно-информационный комплекс для проведения экспериментов с конструкцией «Изделие – Технология – Производство»

Поскольку ядро экспериментального исследования составляет разработка конструкции «Изделие – Технология – Производство» и компьютерные имитационные эксперименты с ней, выполнено сравнительное исследование программных продуктов для этих целей.

Исследовались следующие программные продукты:

1. ВИП Производство (разработчик ООО «Алмаз-Антей Управленческое Консультирование», Россия), рисунок 4.2.1;
2. SAP R/3 (разработчик SAP AG, Германия), рисунок 4.2.2;
3. DELMIA Process Engineer (разработчик Dassault Systemes, Франция), рисунок 4.2.3.

Характеристики исследованных программных продуктов приведены в таблице 4.2.1.

Таблица 4.2.1 – Характеристика программных средств

Наименование системы, решаемые задачи	Класс системы	Ориентация на область конструкции «Изделие-Технология-Производство»
ВИП Производство – прикладная конфигурация программной платформы ВИПРОС, предназначенная для разработки производственного расписания, формирования заданий, учета на производстве	Элементы MRP, MES - систем	«ПРОИЗВОДСТВО»
SAP R/3. Решаемые задачи – по классу ERP-систем	ERP – система	«ПРОИЗВОДСТВО»
DELMIA Process Engineer. Решаемые задачи – по классу CAPP-систем	CAPP – система, один из модулей PLM-системы Dassault Systemes	«ИЗДЕЛИЕ»

Наименование	№ операции	Описание	Длительность относительная	Структурный элемент	Тип процесса	Единица измерения
_Коллектор			0	[нет данных]	Производство	Секунды
_010_Заготовительная	010	Заготовительная	34 560	Цех 11	Производство	Секунды
_020_Промывочная	020	Промывочная	8 640	Цех 50	Производство	Секунды
_030_Слесарная	030	Слесарная	57 600	Цех 50	Производство	Секунды
_040_Слесарная	040	Слесарная	57 600	Цех 50	Хранение	Секунды
_050_Контрольная	050	Контрольная	2 880	Цех 50	Производство	Секунды

Процессор процесса нормативного | Вход процесса нормативного | Выход процесса нормативного | Процесс расчетный | Условие применимости | Сеть процессов {Процесс}

Вход процесса нормативного

Входы	Наименование	Количество	Актуальность	Единица измерения времени
Труба 8x1x4500	Труба 8x1x4500	40,00000	<input checked="" type="checkbox"/>	Секунды

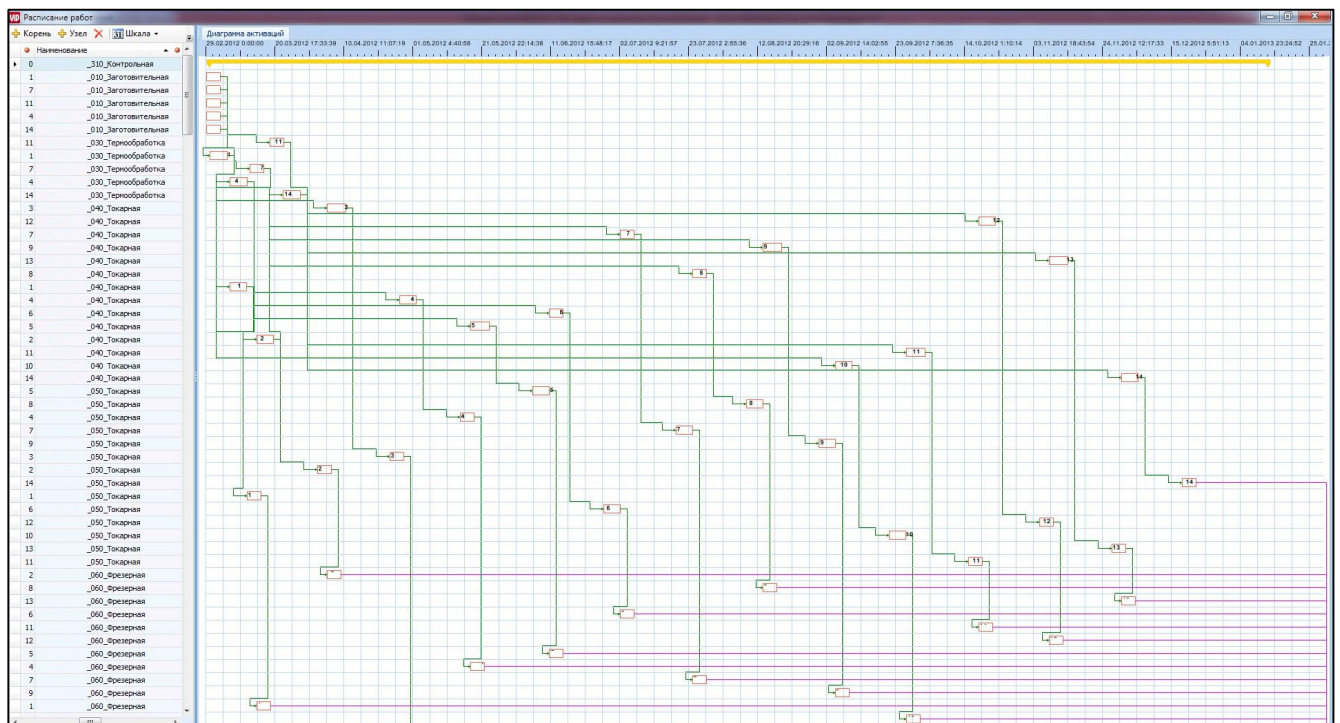


Рисунок 4.2.1 – Описание технологических операций изделия «Коллектор» в системе «ВИП Производство»

Единичная технологическая карта Обработать Перейти к Подробно Дополнительная информация Среда Система Справка

Единичная техкарта: Просмотреть: обзор операций

Материал Коллектор СчГрТехр1
 Пслдв 0

Обзор операций

Оп...	Пд...	Рабоче...	Э-д	Уп...	Ключ об...	Описание	И...	В...	К...	О...	Э...	В...	П...	БазисКолич	Е...	Трудонорм...	Е...	Вид р...	П...	
0010	110102	2000	PP21			Заготовительная								1	шт	1		МИН	179283	0
0020	506109	2000	PP21			Промывочная								1	шт	0,300		МИН	184662	0
0030	506107	2000	PP21			Слесарная								1	шт	8		МИН	184664	0
0040	506107	2000	PP21			Слесарная								1	шт	12		МИН	184664	0
6010	K110102	2000	PP11			Нарезная								600	шт	9,600		Ч		
6020	K506109	2000	PP11			Слесарная								200	шт	34,400		Ч		

Запись 1 из 6

Сетевой график Обработать Перейти к Подробно Параметры настройки ДопИнфо Система Справка

Изменение сетГрафика: 4000221: Сроки операции (Базис)

Операции... ОС... СПП-элемент Сетевой график Рабочее место

сетГрафик коллектор

Рабочее место 1101PS Рабочее место 5061PS Рабочее место 5049PS

10 PS01 1,2 ДЕН
нарезной
06.10.2005 0 06.10.2005
06.10.2005 0 06.10.2005

20 PS01 4,3 ДЕН
слесарный
06.10.2005 0 06.10.2005
06.10.2005 0 06.10.2005

30 PS01 0,1 ДЕН
контрольный
06.10.2005 0 06.10.2005
06.10.2005 0 06.10.2005

СетГрафик 4000221 коллектор

Данные устарели; необходимо новое КалендПланир!

Рисунок 4.2.2 – Описание технологических операций изделия «Коллектор» в системе SAP R/3

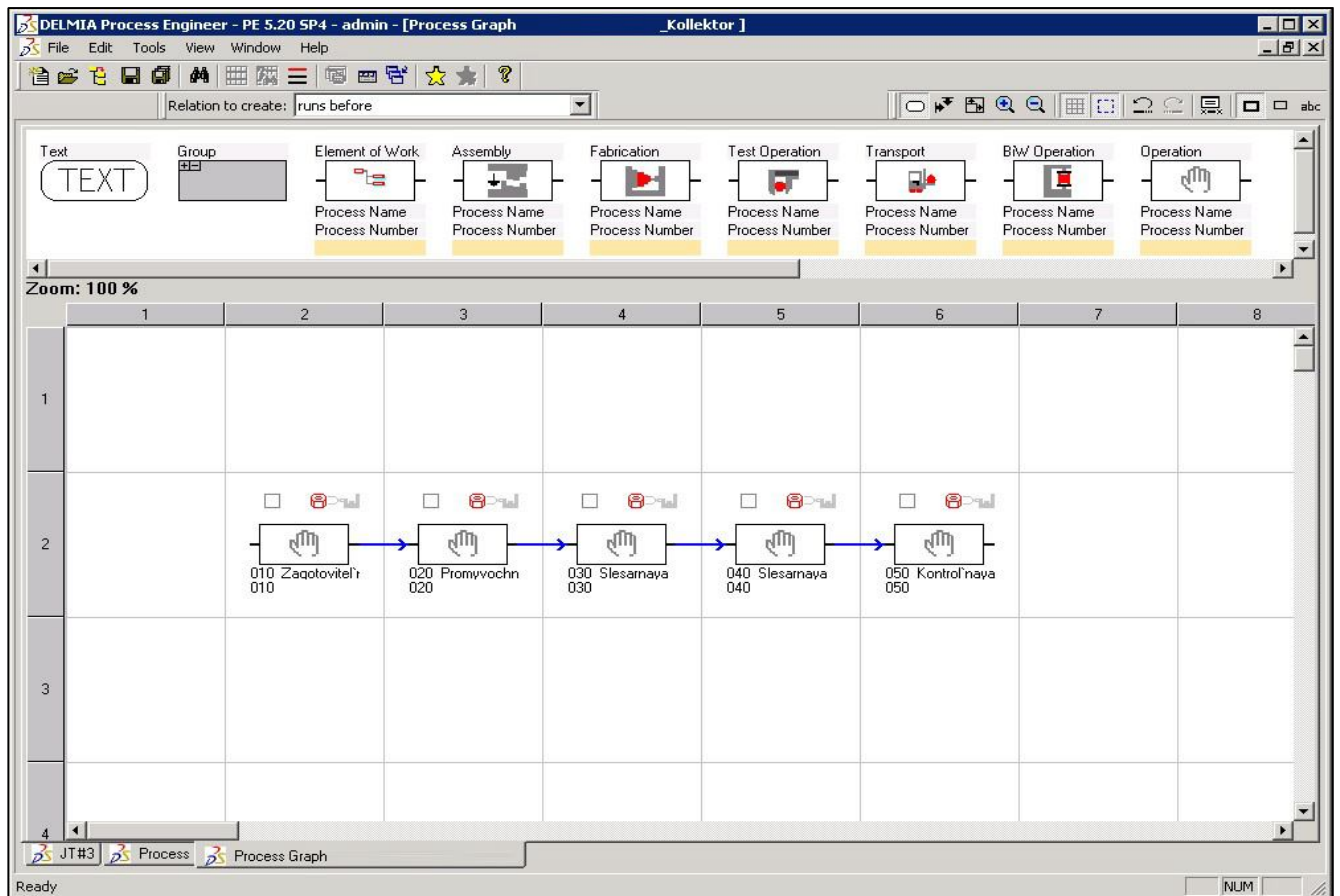
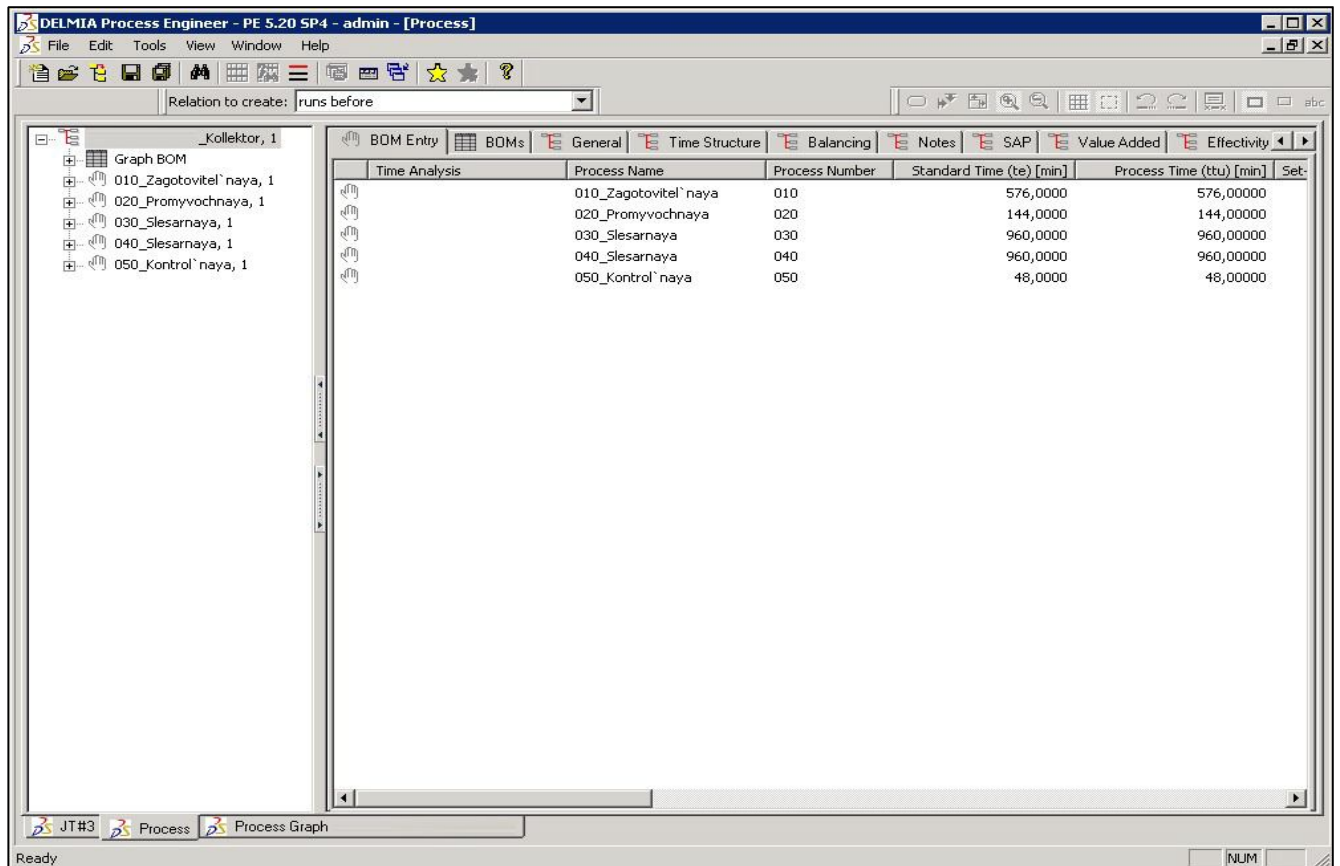


Рисунок 4.2.3 – Описание технологических операций в системе DELMIA Process Engineer

Сравнение выполнено по трем показателям качества: возможность работы с сетевыми моделями, пригодность для выполнения имитационных экспериментов, удобство работы с данными. По каждому из показателей продукту выставились оценки по 100-балльной шкале. Сравнение приведено на рисунке 4.2.4.

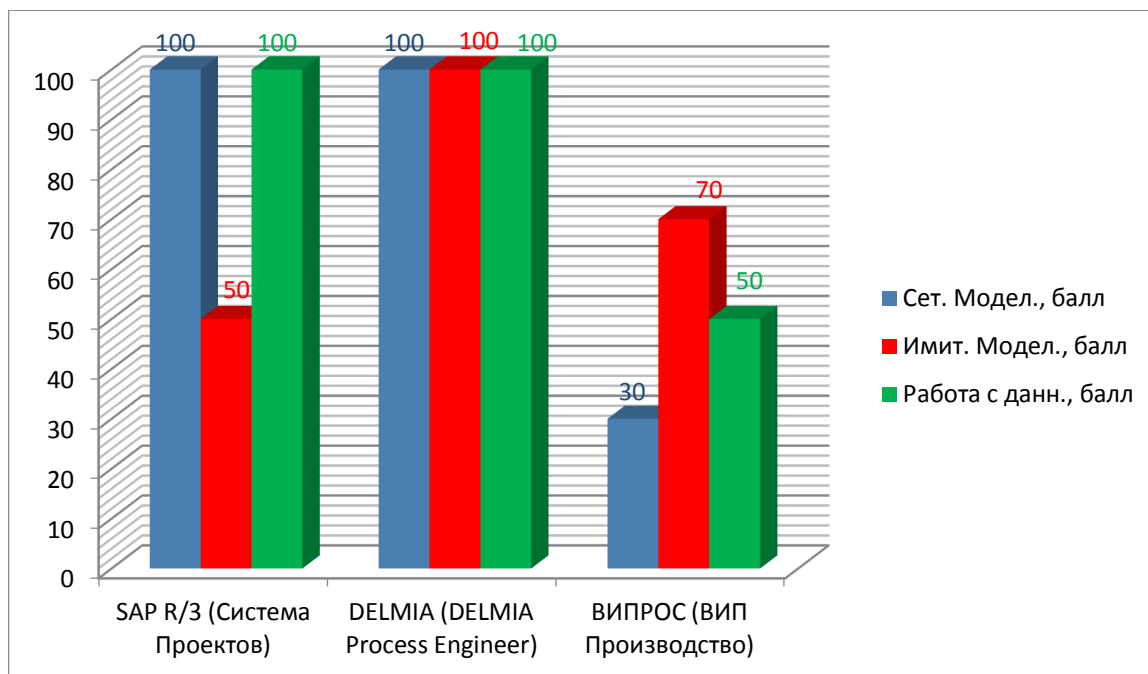


Рисунок 4.2.4 – Качественное сравнение исследованных программных продуктов

Наиболее пригодным для целей настоящего исследования оказался продукт DELMIA. Продукт SAP R/3 (Система проектов) уступил ему только по показателю пригодности для выполнения имитационных экспериментов. Отчасти это обусловлено классом соответствующих программных платформ, ориентированных на разработку изделия или производственной системы (таблица 4.2.1).

В таблице 4.2.2 приведены результаты квалификации исследованных программных продуктов по признаку их пригодности для решения специфических задач разработки конструкции «Изделие – Технология – Производство».

Для квалификации программных продуктов были использованы альтернативные оценки: +(ДА) – полная пригодность; - (НЕТ) – полная непригодность; +/- (ДА/НЕТ) – частичная пригодность. И в этом случае лидерство сохранил программный продукт DELMIA.

Таблица 4.2.2 – Результаты квалификации программных продуктов

	I	II	Сравниваемые программные продукты		
			SAP R/3 (Система Проектов)	DELMIA (DELMIA Process Engineer/ QUEST)	ВИПРОС (ВИП Производство)
Признаки квалификации	Представление конструкции «Изделие – Технология – Производство»		+/-	+	+/-
	Интерфейс ввода		+/-	+	+/-
	Интерфейс вывода		+	+	+/-
	Работа с вариантами систем		-	+	-
	Построение производственного расписания		+	-	+
	Пригодность к задачам моделирования	Конструкторско- технологическая поддержка проектирования	-	+	-
		Проектирование потока предметов производства	+	+	+
		Проектирование производственных систем	+/-	+	+/-

Таким образом, наиболее пригодным для целей настоящего исследования следует считать программный продукт DELMIA. Он, наряду с продуктом Teamcenter-Manufacturing/Tecnomatix (разработчик Siemens AG, Германия) является мировым лидером в своем классе. Оба программных продукта оснащены интерфейсами для поставки им данных, необходимых для выполнения имитационных экспериментов, от специализированных систем класса САПР (Computer Aided Process Planning) – систем, отчасти аналогичных классу отечественных САПР технологических процессов [132]. Для отображения результатов имитационных экспериментов, оба программных продукта используют мультимедийные средства.

Таким образом, оба специализированных программных продукта с точки зрения предоставляемых ими возможностей исследования моделей производственных систем практически эквиваленты друг другу. Выбор из этих продуктов следует делать исходя из их доступности.

Отечественный программный продукт AnyLogic (разработчик и поставщик ООО «Экс Джей Текнолоджис или же XJ Technologies, Россия) с точки зрения предоставляемых функциональных возможностей для имитационного моделирования во многом превосходит оба рассмотренных специализированных продукта. Однако он лишен возможности сопряжения с системами класса САРР и оснащен существенно менее богатыми средствами отображения результатов, полученных в ходе исследования моделей производственных систем.

Поскольку не удалось подобрать программный продукт, который в полной мере предоставил бы возможности, необходимые для выполнения расчетов и экспериментов в рамках данного исследования, был разработан специализированный программно-информационный комплекс. Важнейшими составными частями комплекса стали:

- RDF-граф (см. раздел 3.2), как инструмент представления конструкции «Изделие – Технология – Производство»;
- Программный продукт DELMIA, как средство выполнения расчетов и постановки экспериментов над конструкцией.

Виды обеспечений программно-информационного комплекса.

Основу лингвистического обеспечения составили разработанные концепты и роли предметной области (см. Главы 2 и 3).

Для программно-информационного комплекса в полном соответствии с ГОСТ 34.003 – 90 были разработаны: математическое (таблица 4.2.3), информационное (таблица 4.2.4) и методическое (таблица 4.2.5) обеспечения.

Таблица 4.2.3 – Математическое обеспечение программно-информационного комплекса

Модели	Назначение моделей
Область «Изделие» конструкции	
Граф сборочного состава изделия	Предназначен для описания структуры изделия
Трехмерная геометрическая модель	Трехмерная геометрическая интерпретация изделия
Примечание: ГССИ и 3D модель увязаны посредством собственных систем координат: собственные системы координат каждого компонента 3D модели определяются в собственной системе координат компонентов вышестоящих уровней иерархии в соответствии с ГССИ	
Область «Процессы» конструкции	

Процессный подход	Используется для формализации понятий работ
Сетевая модель выполняемых работ	Используется для определения последовательности выполнения процессов
Метод критического пути	Используется для определения и анализа критических путей сетевых моделей
Область «Ресурсы» конструкции	
Конечный автомат, машина	Используется в качестве модели структурных единиц (рабочее место, участок и т.д.) предприятия и предприятия в целом
Виртуальный конвейер, циклический автомат	Является моделью производственного потока изделия
Трехмерная геометрическая модель	Трехмерная геометрическая интерпретация объектов области «ресурсы»
Сетевая модель	Используется для описания иерархии структурных подразделений предприятия и транспортно-логистических связей между ними
Имитационная модель	Используется для исследования совместного движения материальных потоков в производственной системе

Формы существования информации, составляющие суть информационного обеспечения определяют интерфейсы программно-информационного комплекса.

Таблица 4.2.4 – Информационное обеспечение программно-информационного комплекса

№ п/п	Альтернативные формы представления информации	Назначение альтернативных форм
Область «Изделие» конструкции		
1	Граф-дерево	Используется при формировании интерфейса для представления изделия. Позволяет рассматривать различные уровни иерархии. Корневая вершина – изделие
2	Таблица	Форма используется для представления компонентов изделия и их свойств, сгруппированных по целевым группам
Область «Процессы» конструкции		
1	Граф-дерево	Предназначен для отображения иерархии работ. Корневая вершина – процесс изготовления изделия
2	Таблица	Форма используется для представления процессов (операций) изготовления изделия и их свойств, сгруппированных по типам процессов (операций)
3	Диаграмма PERT (Project Evaluation and Review Technique – техника оценки и анализа проектов) (процессное описание) [131], [130]	Графическое отображение последовательности работ в виде вершин и ориентированных дуг. В рамках рассматриваемой области предпочтительно использовать PERT-диаграммы, в которых посредством вершин интерпретируются работы
4	Диаграмма Ганта	Графическое отображение последовательности выполнения работ, при котором работы изображаются

		отрезками, длина которых пропорциональна их длительности
Область «Ресурсы» конструкции		
1	Граф-дерево	Предназначен для отображения структуры подразделений предприятия. Корневая вершина - предприятие
2	Таблица	Форма используется для представления групп ресурсов и их свойств
3	PERT-диаграмма (ресурсное описание)	Вершины интерпретируют состав рабочих мест, дуги – транспортно-логистические связи между ними

Методическое обеспечение программно-информационного комплекса включает в себя процессы последовательного определения областей предметной области и выполнения их преобразований в соответствии с алгоритмической и процедурной декомпозицией задачи определения конструкции (модели). Оно состоит из общего алгоритма по определению областей конструкции; процедур, выполняемых в рамках исследования каждой из областей; переходных процедур, необходимых для установления связей между компонентами различных областей.

Таблица 4.2.5 – Методическое обеспечение программно-информационного комплекса

Алгоритмическая декомпозиция	Процедуры
1. Определение области «Изделие» конструкции	
Разработка вариантов конструкторско-технологических решений изделия. Определение состава изделия: конструкторского, технологического, эксплуатационного и др.	Исследование изделия. Процедуры анализа изделия и его компонентов
Переходная процедура	Процедура формирования структуры и взаимосвязей процессов изготовления изделия на основании состава изделия в соответствии с предложенной гипотезой о наследовании
2. Определение области «Технология» /Процессы/ конструкции	
Определение технологических методов изготовления изделия	Исследование процессов. Процедуры анализа процессов изготовления изделия
Переходная процедура	Процедура формирования производственных потоков для каждого изделия на основании процессов изготовления изделия в соответствии с предложенной гипотезой о наследовании
3. Определение области «Производство» /Ресурсы/ конструкции	
Определение вариантов производственного потока. Определение состава производственных подразделений, их компоновочных и планировочных решений.	Процедуры исследования мощности производственной системы

Требования к организации внешней информационной среды комплекса

Существуют два способа представления входной информации для программно-информационного комплекса:

- Посредством ее поставки из специализированных информационных систем: PDM-систем [132] в части, относящейся к области «Изделие» конструкции и ERP-систем [132] – в части, относящейся к области «Производство» конструкции;
- Посредством представления коллекций данных, заимствованных из различных проектных документов и ввода их в программный продукт DELMIA.

В работе был использован второй способ. Шаблон структуры данных представлен в таблице 4.2.6. Ввод данных был реализован с помощью таблиц MS Excel в форматах xls, csv или размеченных xml файлов.

Таблица 4.2.6 – Шаблон представления входных данных

Наименование компонента процесса изготовления изделия	Тип процесса	Приоритет или Очередность	К о л.	Процесс потребляет	Процесс производит	Процесс использует	Св -ва
...

Состав и формы представления отчетов о результате выполнения операций над конструкцией

Состав и формы отчетов классифицированы по областям разработанной конструкции. Шаблоны отчетов приведены в таблице 4.2.7.

Таблица 4.2.7 – Шаблоны отчетов о результатах выполнения операций над конструкцией

№ п/п	Отчет	Форма отчета	Результат
Область «Изделие» конструкции			
1	Характеристика номенклатуры изделия и свойств единиц номенклатуры	Таблица с полями свойств класса (наименование, обозначение, габаритные размеры, масса, тип и др.)	Показатели группы «Количество»: единиц номенклатуры (СЕ, Д, М, ПКИ). Выборка номенклатуры по любому из признаков
2	Характеристика структуры изделия	Сетевой граф	Граф-дерево по форме 2
Область «Технология» /Процессы/ конструкции			
1	Характеристика номенклатуры процессов изготовления изделия и свойств единиц номенклатуры	Таблица с полями свойств класса (наименование, обозначение, время, тип и др.)	Показатели группы «Количество»: единиц номенклатуры. Выборка номенклатуры по любому из типов. Показатели группы «Время».
2	Характеристика очередности выполнения работ	Сетевая модель по форме PERT-диаграммы и диаграммы Ганта	Критические, околочитические пути
Область «Производство» /Ресурсы/ конструкции			
1	Характеристика номенклатуры ресурсов (и единиц номенклатуры), необходимых для изготовления изделия. Рассматриваются ресурсы производственного потока изготовления изделия.	Таблица с полями свойств класса (наименование, обозначение, габаритные размеры, масса, тип, стоимость владения, и др.) Графическая форма: Сетевой граф (виртуальный конвейер)	Показатели группы «Количество» и его производные: единиц номенклатуры, объема незавершенного производства. Выборка по любому из признаков. Показатели группы «время» и его производные: время нахождения в запасе, время использования, коэффициенты загрузки оборудования и время простоев, загрузка транспортной системы.
2	Характеристика номенклатуры ресурсов (и единиц номенклатуры), необходимых для изготовления изделий. Рассматриваются ресурсы совокупного производственного потока изготовления номенклатуры изделий.	Таблица с полями свойств класса (наименование, обозначение, габаритные размеры, масса, тип, стоимость владение, размещение на плане и др.) Графическая форма: Сетевая модель	Показатели группы «Количество» и его производные: единиц номенклатуры, объема незавершенного производства. Выборка по любому из признаков. Показатели группы «время» и его производные: время нахождения в запасе, время использования, коэффициенты загрузки оборудования и время простоев, загрузка транспортной системы.
3	Планировочные решения	Геометрическая 3D модель, чертеж	Трехмерная модель (3D) и технологическая планировка (2D, чертеж) на ее основе. Спецификация оборудования.

4.3. Задача выявления и сравнительного анализа приемов управления стоимостью качества изделия «Жаровая труба» и ритмом его внутренних поставок

Задача решена на примере производства изделия «Жаровая труба» – составной части семейства ракет тактического назначения.

Цель решения задачи. Демонстрация возможности применения разработанных методик и моделей для решения задач повышения эффективности производственной деятельности предприятия за счет организации взаимодействия между инновационным циклом деловой активности с внутренними процессами организации «Основное производство» предприятия. Выходной результат задачи: набор приемов управления стоимостью качества изделия и обеспечения заданного ритма внутренних поставок изделия, их сравнительный анализ. Выбор приемов для практического использования оставлен на усмотрение заинтересованных сторон.

Методика решения задачи:

1. Разработка обособленного (частного) представления конструкции «Изделие – Технология – Производство» для базовой конфигурации изделия «Жаровая труба»;
2. Решение исследовательской задачи II-го уровня для выявления критического пути в сетевом графике производства базовой конфигурации изделия и выявления критичных, с точки зрения стоимости качества и длительности цикла производства изделия, его составных частей.

Критичные компоненты изделия отбирали по критерию относительной длительности цикла их производства:

$$T_{ц.отн.}^i = \frac{T_{ц}^i}{\sum_{i=1}^n T_{ц}^i} \rightarrow \max, \quad (4.3.1)$$

где $T_{ц.отн.}^i$ – относительная длительность производства i -го компонента, лежащего на критическом пути ($1 \leq i \leq n$);

$T_{ц}^i$ – длительность производства i -го компонента, лежащего на критическом пути;

n – число компонентов, лежащих на критическом пути.

3. Разработка множества вариантов конструкторско-технологических решений (КТР) компонента, для которого $(T_{ц,отн.}^i)_{max}$. Каждый из таких вариантов рассматривается как перспективный с точки зрения достижения цели решения задачи;
4. Разработка модификаций конструкции «Изделие – Технология – Производство», каждой из которых ставится в соответствие конкретный вариант КТР;
5. Решение исследовательской задачи I-го уровня для получения оценок стоимости качества для каждого из вариантов КТР и выполнение сравнительного анализа всего множества КТР;
6. Решение исследовательской задачи II-го уровня с целью получения для каждого из вариантов КТР оценок:

объема незавершенного производства:

$$V_{нзп} \rightarrow \min \quad (4.3.2)$$

длительности производственного цикла

$$T_{пр.ц} \rightarrow \min \quad (4.3.3)$$

7. Сравнение длительности производственного цикла для каждого из вариантов КТР с заданным ритмом $R_{пост}$ внутренних поставок и разработка рекомендаций для обеспечения условия:

$$R_{пост} \leq [R_{пост}] \quad (4.3.4)$$

где $[R_{пост}]$ – заданное значение ритма поставки, шт./промежуток времени.

Граф Сборочного Состава Изделия (ГССИ) «Жаровая труба» приведен на рисунках 4.3.1, 4.3.2. Характеристика структуры ГССИ «Жаровая труба» представлена на рисунке 4.3.3.

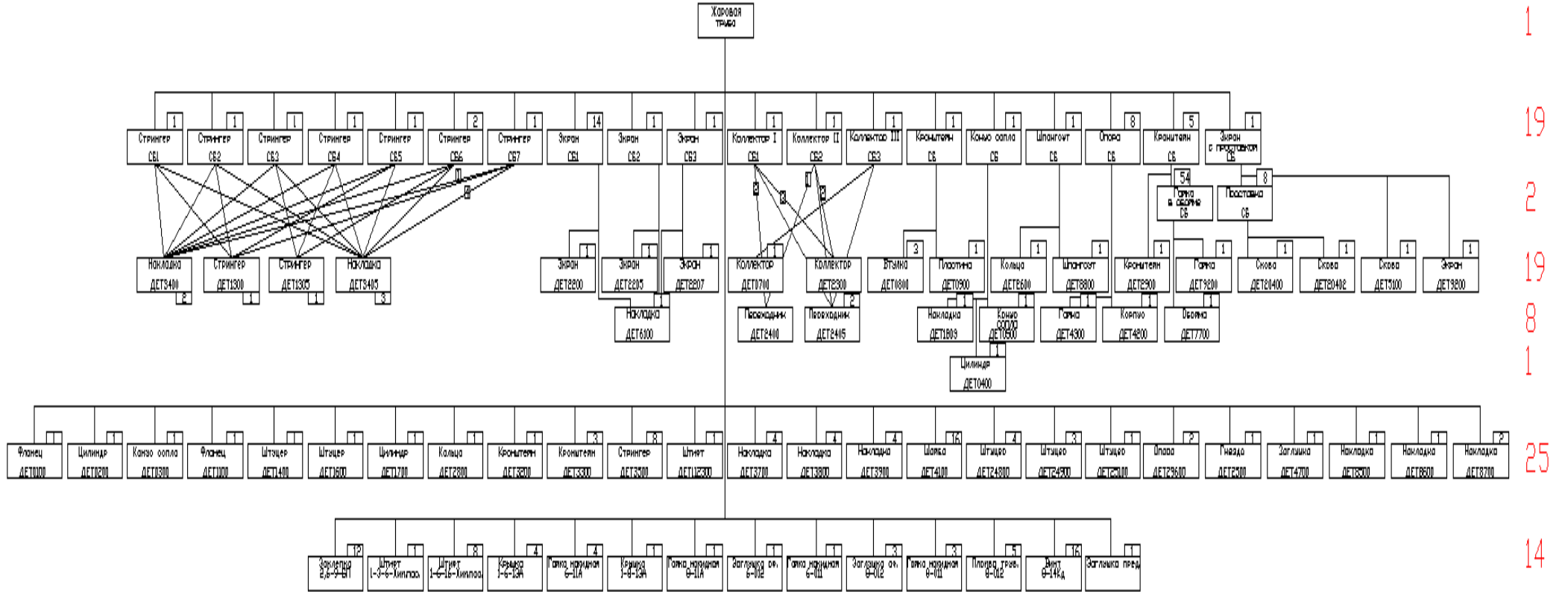


Рисунок 4.3.1. – Граф Сборочного Состава Изделия «Жаровая Труба»

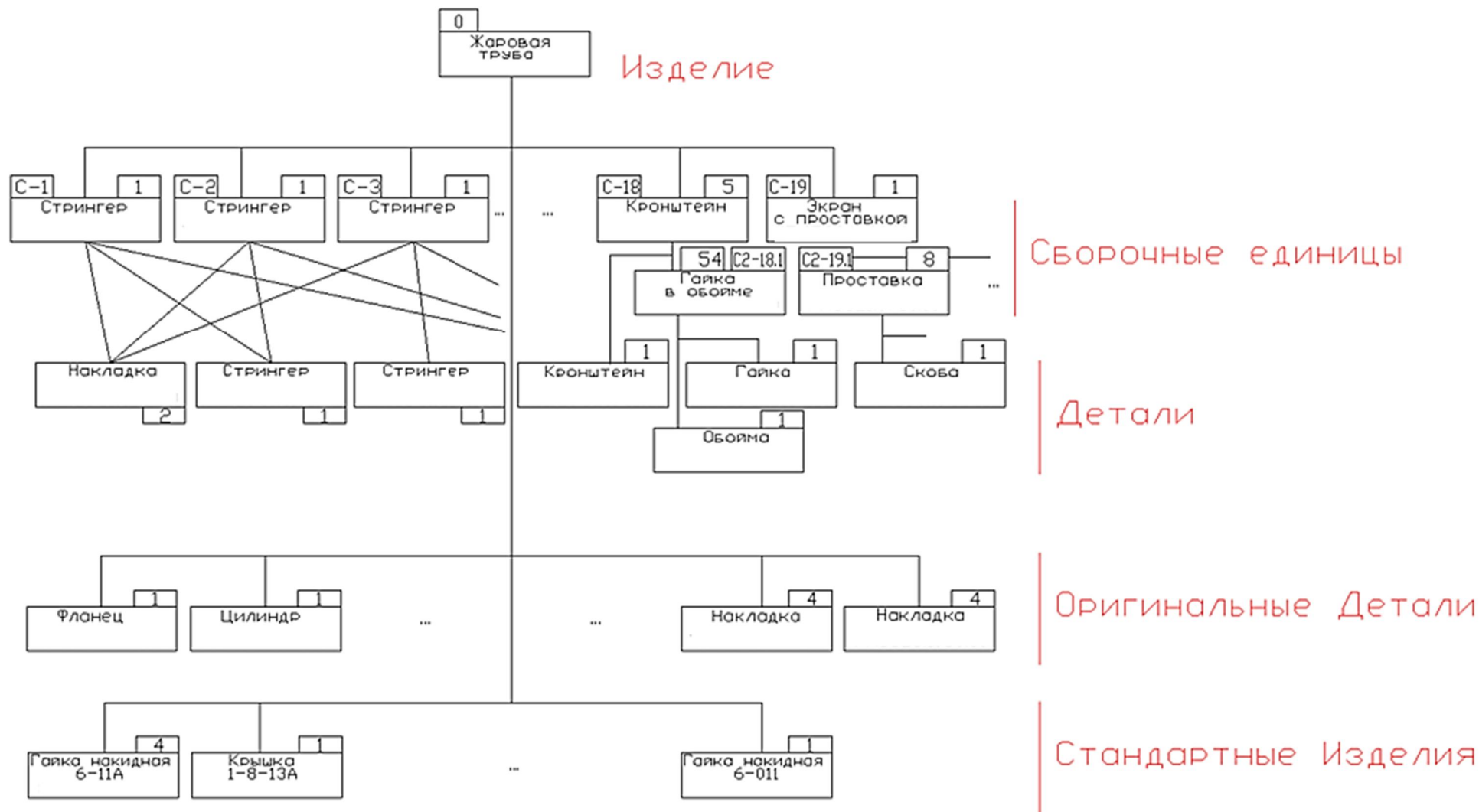


Рисунок 4.3.2 – Граф Сборочного Состава Изделия «Жаровая труба» (фрагмент, увеличено)

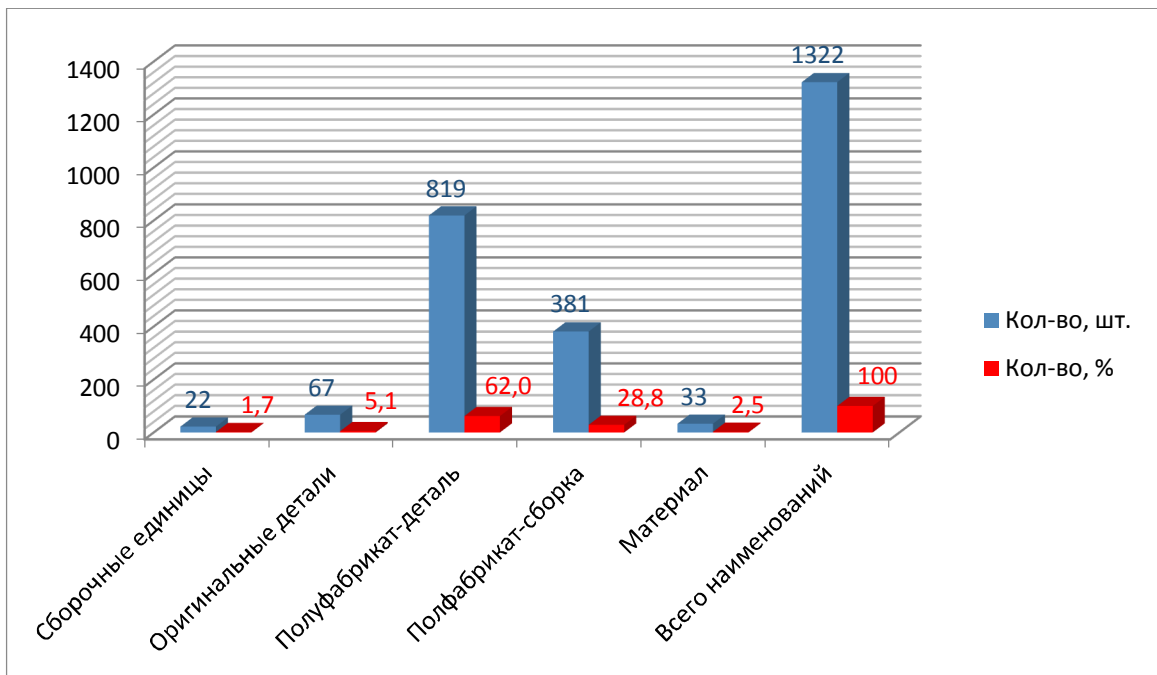


Рисунок 4.3.3 – Характеристика структуры ГССИ «Жаровая труба»

Для базовой конфигурации изделия был построен сетевой график производства и диаграмма распределения $T_{ц.отн.}^i$ для всех компонентов структуры ГССИ (рисунок 4.3.4, для сравнения $T_{ц.отн.}^i$ использованы значения длительностей как технологического, так и производственного циклов, поэтому диаграмма имеет две шкалы). На критический путь попали следующие компоненты работ: [комплекс операций главной сборки изделия Жаровая Труба] → [комплекс операций сборки изделия Шпангоут] → [комплекс операций изготовления изделия (детали) Шпангоут]. То же, для изделия «Шпангоут в сборе» приведено на рисунке 4.3.5.

Таким образом, компоненту «Шпангоут в сборе» базовой конфигурации изделия «Жаровая труба» был присвоен статус «критического» с точки зрения критериев (4.3.2) и (4.3.3). То же, для изделия «Шпангоут» в рамках компонента «Шпангоут в сборе».

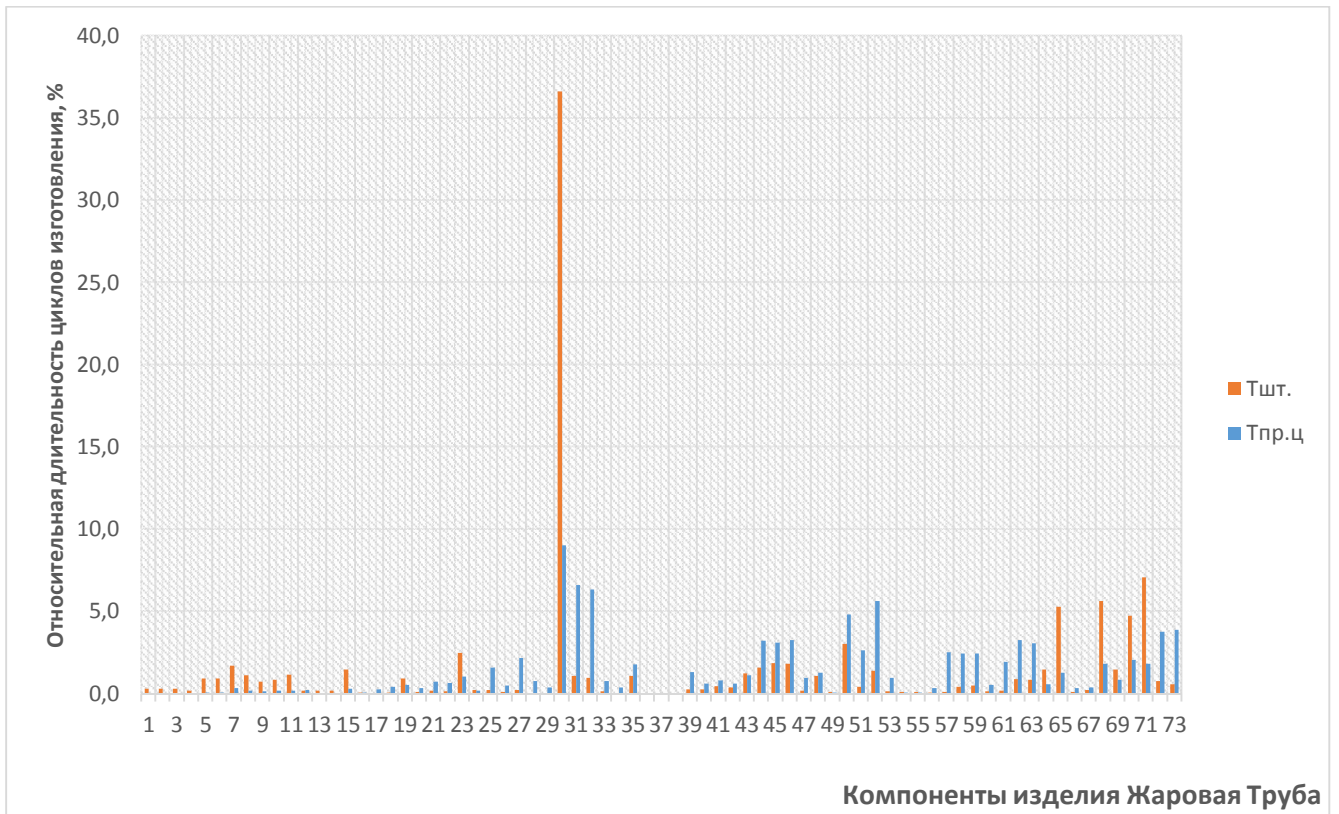


Рисунок 4.3.4 – Диаграмма $T_{ц,отн.}^i$ к определению «критичных» с точки зрения эффективности производства компонентов изделия «Жаровая Труба»

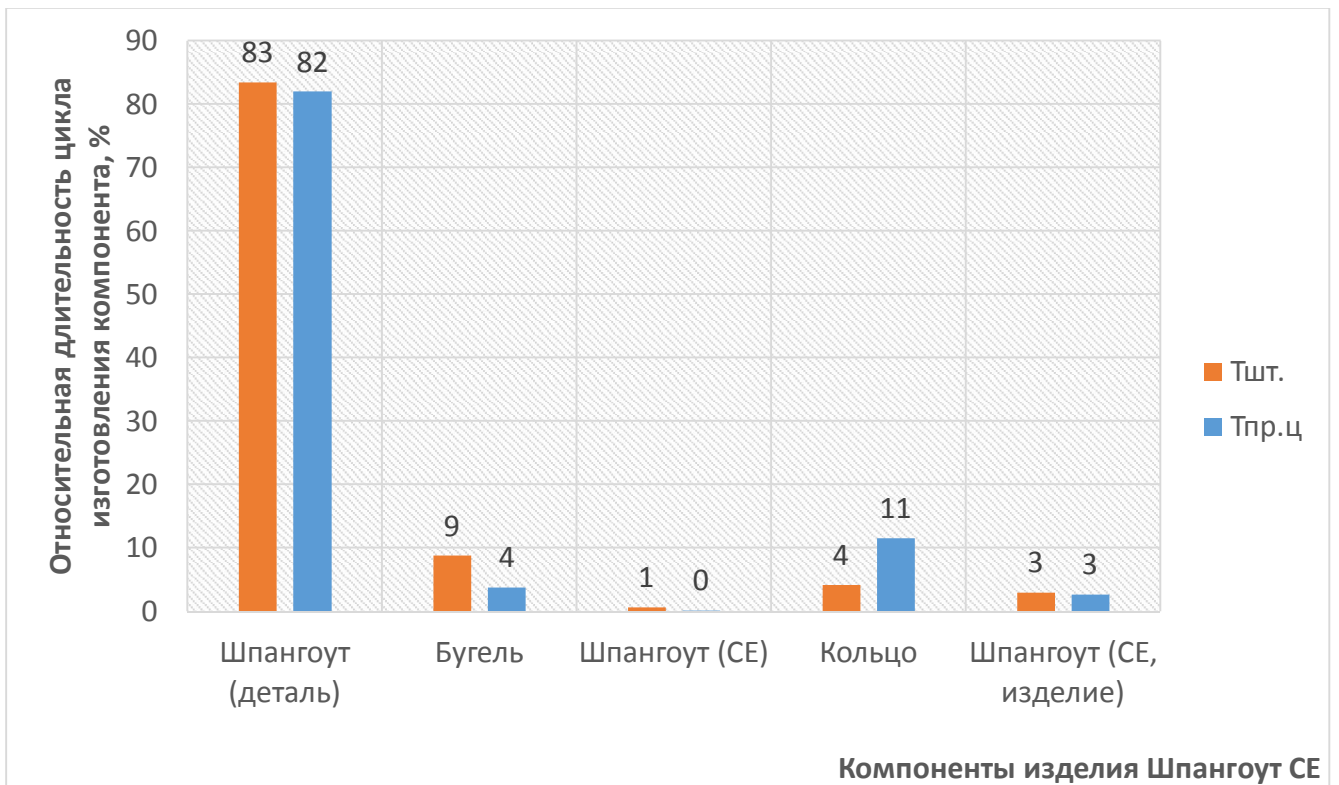


Рисунок 4.3.5 – Диаграмма $T_{ц,отн.}^i$ к определению «критичных» с точки зрения эффективности производства компонентов изделия «Шпангоут в сборе»

Для дальнейшего рассмотрения были выбраны следующие варианты конструкторско-технологических решений компонента «Шпангоут в сборе»:

- I. КТР1, основу которого составляет монолитный вариант исполнения детали «Шпангоут», из-за чего она не является телом вращения;
- II. КТР2, в котором деталь «Шпангоут» разделена на детали: собственно «Шпангоут», и деталь «Бугель». Шпангоут и бугель соединяются друг с другом посредством винтов.
- III. КТР3, отличающийся от второго варианта тем, что деталь «Шпангоут» выполнена полностью симметричной с последующим вырезом окна для организации сварного соединения ее с бугелем.

Структуры конструкторско-технологических решений представлены на рисунках 4.3.6 – 4.3.8. Все структуры представлены в форме ориентированных графов, каждый из которых включает в себя уровни: исходных материалов в состоянии поставки (терминальные вершины) и заготовок собственного производства; деталей, сборочных единиц (промежуточные вершины); компонента «Шпангоут в сборе» (корневая вершина). Во всех структурах предусмотрена деталь «Кольцо», которая предназначена для усиления жесткости компонента. Кольцо устанавливается во внутреннюю полость компонента, после чего сваривается с ним.

Характеристика вариантов конструкторско-технологических решений шпангоута представлена в таблице 4.3.1, элементов КТР – в таблице 4.3.2.

Структура первого решения предусматривает возможность использования альтернативных заготовок: штамповки или поковки.

В структурах второго и третьего вариантов предусмотрено использование технологических подборок «Шпангоут с бугелем», которые размещаются на соответствующих уровнях (местах) графа.

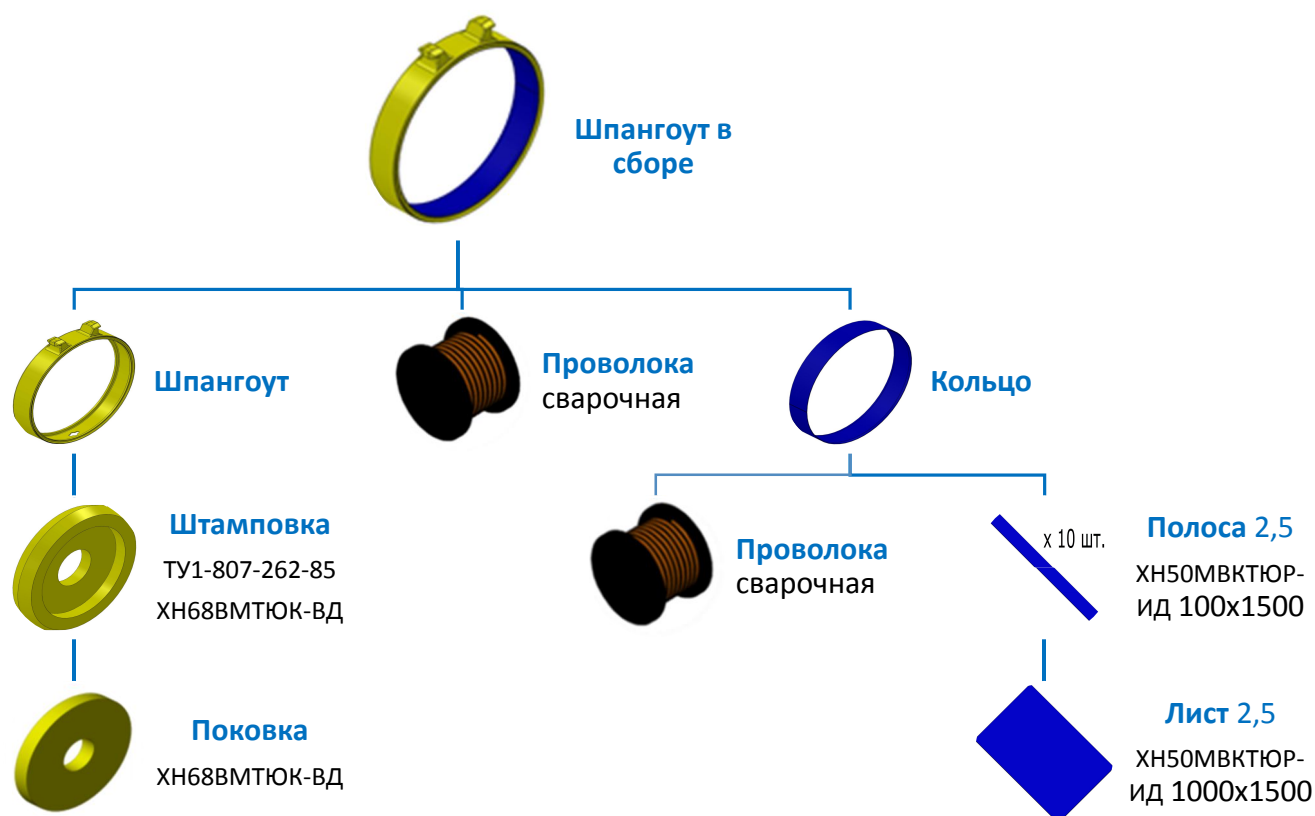


Рисунок 4.3.6 – Граф сборочного состава изделия «Шпангоут в сборе» для КТР1

Второй и третий варианты КТР разработаны исходя из того условия, что они должны быть эквиваленты базовому варианту, т.е. КТР1, по всему спектру функциональных параметров.

В обоих случаях цель заключалась в придании детали «Шпангоут» формы, наиболее близкой к осесимметричной (таблица 4.3.2). В этом случае малопроизводительный способ механической обработки резанием (контурное фрезерование) удастся заменить на производительную токарную обработку, а также снизить время обработки. Форму и размеры детали определяли из условия создания благоприятных условий для изготовления технологических подборок.

Сравнительная характеристика поперечных сечений заготовок и детали «Шпангоут» для рассматриваемых вариантов КТР приведена в таблице 4.3.3.

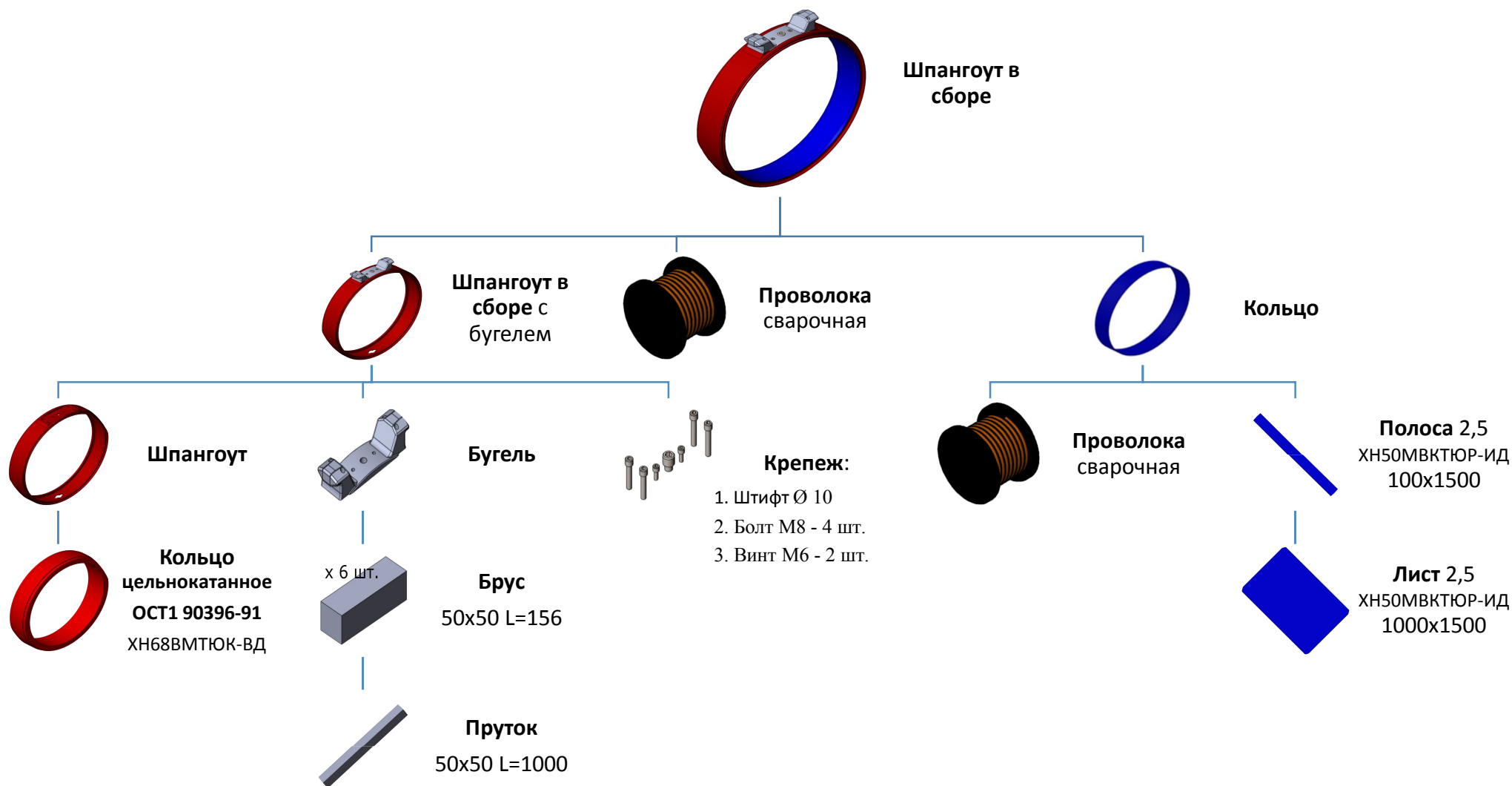
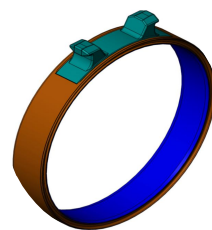


Рисунок 4.3.7 – Граф сборочного состава изделия «Шпангоут в сборе» для КТР2

210



Шпангоут в сборе



Шпангоут в сборе с бугелем



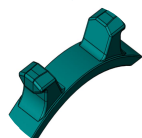
Проволока сварочная



Кольцо



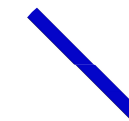
Шпангоут



Бугель



Проволока сварочная



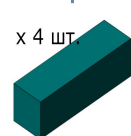
Полоса 2,5
ХН50МВКТЮР-ИД
100x1500



Проволока сварочная



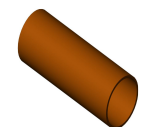
Кольцо
Ø365x16 L=67



Брус
60x60 L=204



Лист 2,5
ХН50МВКТЮР-ИД
1000x1500



Труба
Ø365x16
L=1000



Пруток
60x60 L=1000

Рисунок 4.3.8 – Граф сборочного состава изделия «Шпангоут в сборе» для КТРЗ

Таблица 4.3.1 – Характеристика вариантов конструкторско-технологических решений изделия «Шпангоут в сборе»





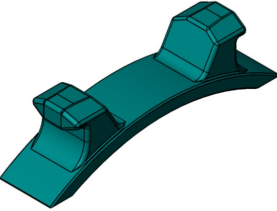
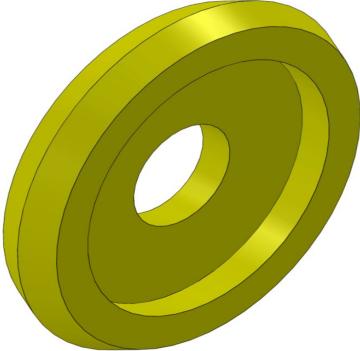
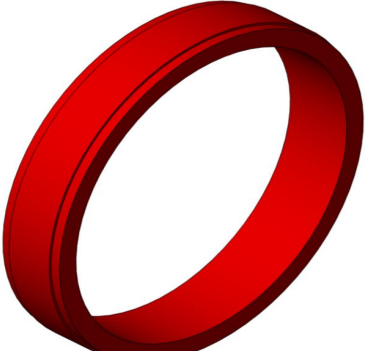
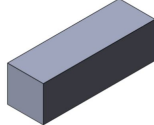
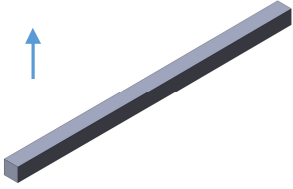
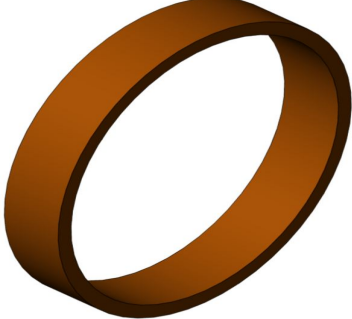
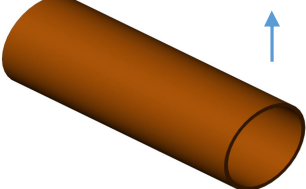
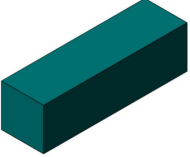
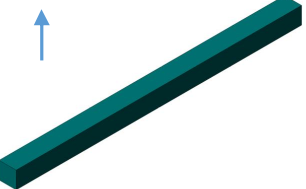
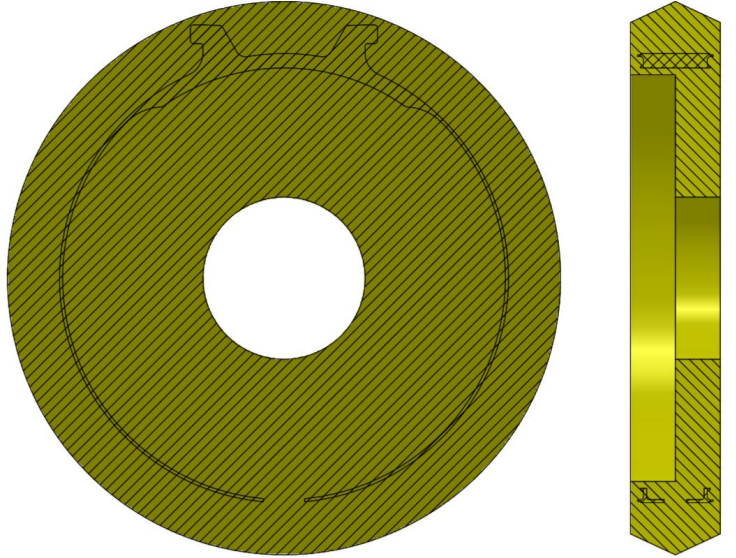
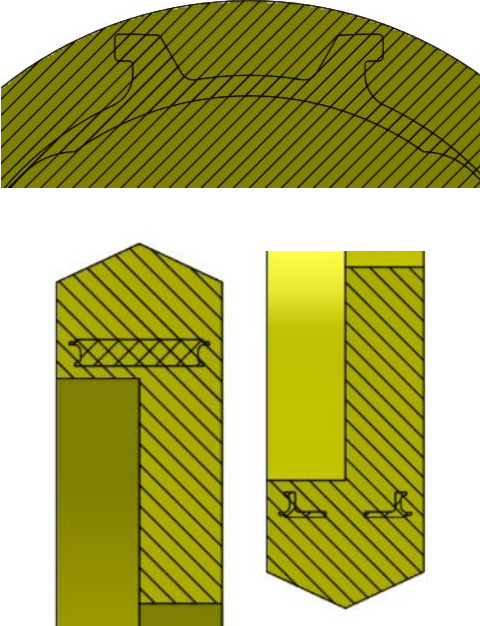
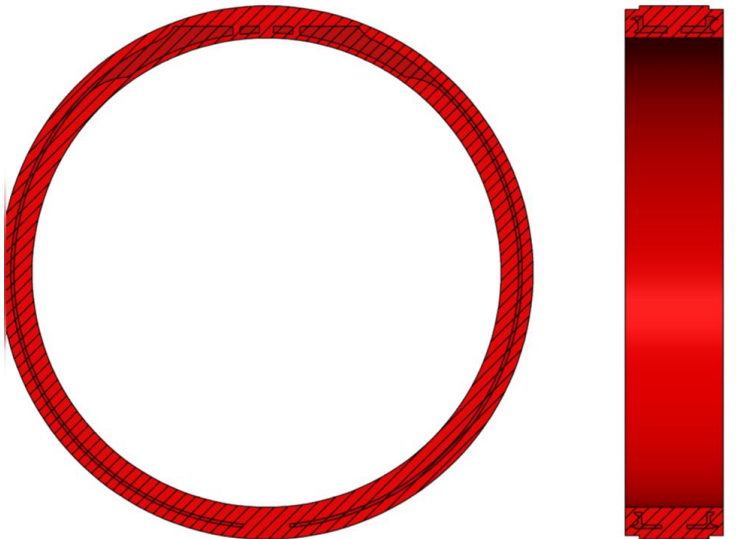

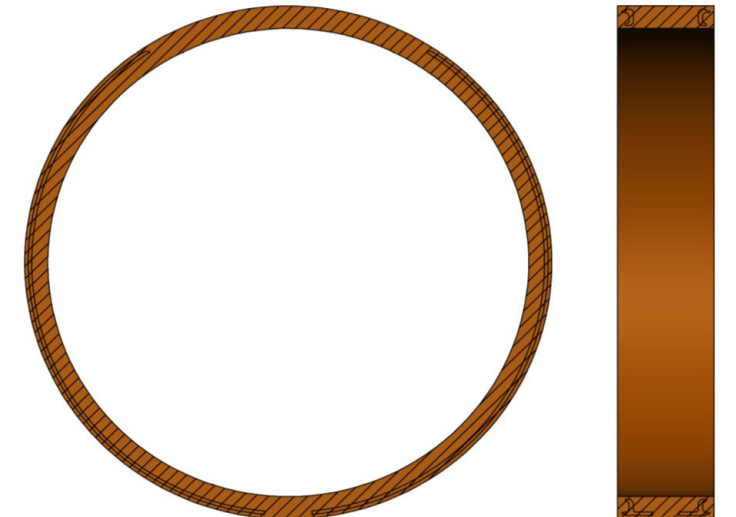
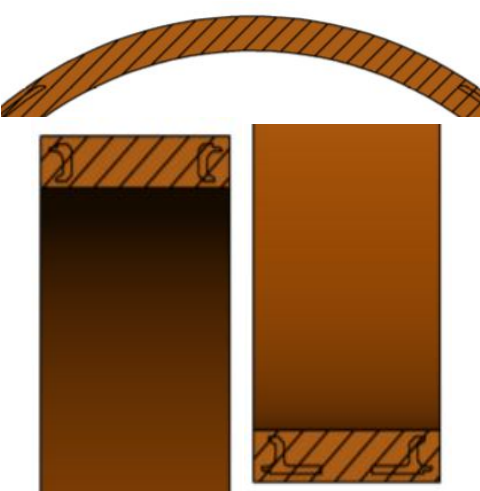
КТР1	КТР2		КТР3	
Шпангоут	Шпангоут + Бугель + Крепежные элементы		Шпангоут + Бугель + Проволока сварочная	
 <p data-bbox="286 678 430 707">Шпангоут</p>	 <p data-bbox="728 670 871 699">Шпангоут</p>	 <p data-bbox="1099 403 1263 469">Крепежные элементы</p> <p data-bbox="1137 678 1227 707">Бугель</p>	 <p data-bbox="1478 670 1621 699">Шпангоут</p>	 <p data-bbox="1883 643 1973 671">Бугель</p>
 <p data-bbox="286 1114 430 1142">Заготовка:</p> <p data-bbox="181 1150 539 1216">Штамповка по ТУ1-807- 262-85</p> <p data-bbox="163 1224 557 1326">Материал: ХН68ВМТЮК-ВД по ТУ14- 1-3759-84</p> <p data-bbox="170 1334 551 1362">Масса заготовки: 65,84 кг</p>	 <p data-bbox="701 1129 844 1158">Заготовка:</p> <p data-bbox="589 1166 956 1268">Кольцо цельнокатаное КМ-5Т по ОСТ 190396-91</p> <p data-bbox="589 1241 963 1270">Масса заготовки: 15,94 кг</p>	 <p data-bbox="1115 930 1191 959">Брус</p> <p data-bbox="1066 967 1240 995">50x50 L=156</p> <p data-bbox="987 1003 1323 1032">6 заготовок с 1 ед. мат-ла</p>  <p data-bbox="1077 1321 1234 1350">Заготовка:</p> <p data-bbox="999 1358 1312 1386">Пруток 50x50 L=1000</p>	 <p data-bbox="1373 1050 1700 1115">Кольцо Ø365x16 L=67, 14 шт. из 1 заготовки</p>  <p data-bbox="1458 1326 1615 1355">Заготовка:</p> <p data-bbox="1373 1362 1700 1391">Труба Ø365x16 L=1000</p>	 <p data-bbox="1877 946 1953 975">Брус</p> <p data-bbox="1827 983 2002 1011">60x60 L=204</p> <p data-bbox="1771 1019 2058 1048">4 шт. из 1 заготовки</p>  <p data-bbox="1839 1326 1995 1355">Заготовка:</p> <p data-bbox="1760 1362 2065 1391">Пруток 60x60 L=1000</p>

Таблица 4.3.2 – Характеристики элементов КТР

Вариант Классы:	КТР1	Кол- во	КТР2	Кол- во	КТР3	Кол- во
Сборочные единицы	Шпангоут в сборе	1	Шпангоут в сборе	1	Шпангоут в сборе	1
	Кольцо	1	Кольцо	1	Кольцо	1
			Шпангоут в сборе с бугелем	1	Шпангоут в сборе с бугелем	1
ИТОГО:		2		3		3
Детали	Шпангоут	1	Шпангоут	1	Шпангоут	1
			Бугель	1	Бугель	1
ИТОГО:		1		2		2
Заготовки покупные и собственного производства	Штамповка ТУ1-807-262-85 ХН68ВМТЮК- ВД N=66 кг на 1 шт. Ø380x(27...125) L=72	1	Кольцо цельнокатаное ОСТ1 90396-91 ХН68ВМТЮК- ВД Ø375x22,5 L=69 N=16 кг на 1 шт.	1	Кольцо Ø365x16 L=67 N = 712 кг на 59 шт. (12 кг на 1 шт.)	1
	Полоса 2,5 ХН50МВКТИОР- ИД 100x1500	1	Полоса 2,5 ХН50МВКТИОР- ИД 100x1500	1	Полоса 2,5 ХН50МВКТИОР- ИД 100x1500	1
			Брус 50x50 L=156	1	Брус 60x60 L=204	1
ИТОГО:		2		3		3
Основные материалы покупные	Пруток из жаропрочного сплава марки ХН68ВМТЮК- ВД по ТУ 14-1-3759-84	1	Пруток из жаропрочного сплава марки ХН68ВМТЮК- ВД по ТУ 14-1-3759-84	1	Труба из жаропрочного сплава DIN EN 10216-2 Ø365x16 L=4000	1
	Проволока сварочная, 1 кг	1	Проволока сварочная, 1 кг	1	Проволока сварочная, 1 кг	1
	Лист 2,5 ХН50МВКТИОР- ИД 1000x1500	1	Лист 2,5 ХН50МВКТИОР- ИД 1000x1500	1	Лист 2,5 ХН50МВКТИОР- ИД 1000x1500	1
			Пруток 50x50 L=1000 N = 23 кг на 6 шт. (3,76 кг на 1 шт.)	1	Пруток 60x60 L=1000 N = 28 кг на 4 шт. (7,09 кг на 1 шт.)	1
ИТОГО:		3		4		4
Стандартные изделия			Штифт Ø10	1		
			Болт М8	4		
			Винт М6	2		
ИТОГО:		0		7		0

Таблица 4.3.3 – Контуры детали в разрезе заготовки


КТР	Эскиз детали совместно с заготовкой	Фрагмент (увеличено)
1		
2		
3		

В таблице 4.3.4 приведены исходные данные для расчета и расчетные значения коэффициента использования материала (КИМ) для деталей структур КТР. Из таблицы видно, что второй и третий варианты позволяют увеличить КИМ для детали «Шпангоут» практически в три раза; КИМ для детали «Бугель» - приблизительно того же уровня, что и для детали «Шпангоут».

Таблица 4.3.4 – Характеристика КИМ для рассматриваемых вариантов КТР

Характеристика Вар-т	Масса шпангоута в сборе, кг	Элементы структуры КТР						Ст. изделия Масса крепежных элементов, кг
		Деталь «Шпангоут»			Деталь «Бугель»			
		Масса шпангоута, кг	Масса заготовки на шпангоут, кг	КИМ, ед.	Масса бугеля, кг	Масса заготовки на бугель, кг	КИМ, ед.	
КТР1	3,73	3,73	65,84	0,06	-	-	-	-
КТР2	3,71	2,9	15,94	0,18	0,74	3,76	0,20	0,05
КТР3*	3,43	1,99	11,34	0,17	1,42	7,09	0,20	0,03

**Примечание: Для варианта КТР3 введение токарной обработки вместо фрезерования боковой поверхностью фрезы оболочки шпангоута позволит ужесточить допуск на толщину внутренней оболочки вместо $2,5 \pm 0,5$ до $2,5 \pm 0,2$, что вызовет сокращение массы изделия на 108 гр. по отношению к варианту КТР2*



Себестоимость изделия складывается из затрат на производственное потребление материалов, средств технологического оснащения в производственном потоке и затрат от нахождения их в запасе (раздел 2.4).

Для расчета стоимости шпангоута использованы выражения (2.4.10 – 2.4.12), (2.4.15) раздела 2.4. Запишем их для соответствующих компонент стоимости шпангоута:

$$\begin{aligned}
C = C_{\text{заг}} + & \left[\sum_{m=1}^M [C_{\text{заг}}((1 + \gamma)^{t_{\text{НЗП}}^m} - 1)]_m \right. \\
& + \sum_{k=1}^K [C_{\text{ТО}}^{k(\text{уд})} t_{\text{ТО}}^k + C_{\text{ОП}}^{k(\text{уд})} t_{\text{ОП}}^k]_k \\
& + \sum_{k=1}^K \left[C_{\text{ТО}}^k \left(\left(1 + \gamma / 100 t_{\text{раб.}} \right)^{t_{\text{зап}}^{\text{ТО}}(k; (k-1))} - 1 \right) \right]_k \\
& + \sum_{k=1}^K \left[C_{\text{ОП}}^k \left(\left(1 + \gamma / 100 t_{\text{раб.}} \right)^{t_{\text{зап}}^{\text{ОП}}(k; (k-1))} - 1 \right) \right]_k \\
& + \sum_{k=1}^K \left[C_{\text{ПП}}^{\text{уд}(\text{год})} S_{\text{ТО}}^k \left(\left(1 + \gamma / 100 t_{\text{раб.}} \right)^{t_{\text{зап}}^{\text{ПП}}(k; (k-1))} - 1 \right) \right]_k \\
& \left. + C_{\text{ТО}}^{\text{приобр.}} \right] / M
\end{aligned} \tag{4.3.5}$$

где C – себестоимость изготовления изделия (шпангоут), в руб.;

$C_{\text{заг}}$ – стоимость единицы заготовки для изготовления изделия (шпангоут), в руб.;

m – текущая позиция незавершенного производства (заготовки, полуфабриката);

M – размер партии (на программу выпуска), шт.;

$t_{\text{НЗП}}^m$ – пролеживание m -ой позиции незавершенного производства (заготовки полуфабриката), час;

k – текущая операция;

K – число операций, ед.;

$C_{ТО}^{k(уд)}$ – средняя стоимость часа работы соответствующего k -ой операции технологического оборудования, руб./час;

$t_{ТО}^k$ – время работы соответствующего оборудования в ходе выполнения k -ой операции, час;

$C_{ОР}^{k(уд)}$ – часовая ставка оплаты труда основного рабочего соответствующего k -ой операции, руб./час;

$t_{ОР}^k$ – время работы соответствующего основного рабочего в ходе выполнения k -ой операции, час;

$C_{ТО}^k$ – средняя годовая стоимость оборудования с учетом износа, используемого для выполнения k -ой операции, руб./год;

$C_{ОР}^k$ – средняя годовая стоимость использования основных рабочих, определяется на основании ставки оплаты труда $C_{ОР}^{k(уд)}$, руб./год;

$C_{ПП}^{уд(год)}$ – средняя годовая стоимость владения (эксплуатации) единицей (ы) производственной площади, р/год $м^2$;

$S_{ТО}^k$ – площадь, занимаемая определенным типом технологического оборудования для выполнения k -ой операции, $м^2$;

γ – ставка рефинансирования (учетная ставка), %;

$t_{раб.}$ – годовой фонд эффективного рабочего времени, час;

$t_{зап(ТО; (k; (k-1)))}$ – время нахождения в запасе (простоя) технологического оборудования в перерывах между выполнением $(k-1)$ -ой и k -ой операциями, час;

$t_{зап(ОР; (k; (k-1)))}$ – время нахождения в запасе (простоя) основного рабочего в перерывах между выполнением $(k-1)$ -ой и k -ой операциями, час;

$t_{зап(ПП; (k; (k-1)))}$ – время нахождения в запасе (простоя) производственной площади, занимаемой соответствующим технологическим оборудованием в перерывах между выполнением $(k-1)$ -ой и k -ой операциями, час.

$C_{ТО}^{приобр.}$ – затраты на приобретение технологического оборудования, руб.

Приведем расшифровку слагаемых в рассмотренном уравнении:

1. Выражение для определения стоимости незавершенного производства:

$$C_{\text{НЗП}} = \sum_{m=1}^M [C_{\text{заг}}((1 + \gamma)^{t_{\text{НЗП}}^m})]_m \quad (4.3.6)$$

где $C_{\text{НЗП}}$ – стоимость незавершенного производства.

2. Выражение для определения потерь от пролеживания незавершенного производства:

$$C_{\text{НЗП}}^{\text{потери}} = \sum_{m=1}^M [C_{\text{заг}}((1 + \gamma)^{t_{\text{НЗП}}^m} - 1)]_m \quad (4.3.7)$$

где $C_{\text{НЗП}}^{\text{потери}}$ – стоимость пролеживания незавершенного производства.

3. Выражение для определения добавленной стоимости:

$$C_{\text{доб.}} = \sum_{k=1}^K [C_{\text{ТО}}^{k(\text{уд})} t_{\text{ТО}}^k + C_{\text{ОР}}^{k(\text{уд})} t_{\text{ОР}}^k]_k \quad (4.3.8)$$

где $C_{\text{доб.}}$ – добавленная стоимость.

4. Выражение для определения потерь от простоя оборудования:

$$C_{\text{П(ТО)}}^{\text{потери}} = \sum_{k=1}^K [C_{\text{ТО}}^k ((1 + \gamma)^{t_{\text{зап}}^{\text{ТО}}(k;(k-1))} - 1)]_k \quad (4.3.9)$$

где $C_{\text{П(ТО)}}^{\text{потери}}$ – стоимость простоя оборудования.

5. Выражение для определения потерь от простоя основных рабочих:

$$C_{\text{П(ОР)}}^{\text{потери}} = \sum_{k=1}^K [C_{\text{ОР}}^k ((1 + \gamma)^{t_{\text{зап}}^{\text{ОР}}(k;(k-1))} - 1)]_k \quad (4.3.10)$$

где $C_{\text{П(ОР)}}^{\text{потери}}$ – стоимость простоя основных рабочих.

6. Выражение для определения потерь от недоиспользования производственных площадей:

$$C_{\text{П(ПП)}}^{\text{потери}} = \sum_{k=1}^K \left[C_{\text{ПП}}^{\text{уд(год)}} S_{\text{ТО}}^k \left((1 + \gamma)^{t_{\text{зап}}^{\text{ПП}}(k;(k-1))} - 1 \right) \right]_k \quad (4.3.11)$$

где $C_{\text{П(ПП)}}^{\text{потери}}$ – стоимость простоя производственных площадей.

Таким образом отражена следующая структура себестоимости изделия:

$$C = C_{\text{НДС}} + C_{\text{доб.}} + C_{\text{произв.потр.}} \quad (4.3.12)$$

где $C_{\text{НДС}}$ – накопленная стоимость НДС на производственное потребление (в данном примере не учитывалась);

$C_{\text{доб.}}$ – добавленная стоимость по выражению 4.3.8;

$C_{\text{произв.потр.}}$ – стоимость производственного потребления, как сумма 4.3.7, 4.3.9 – 4.3.11.

Не трудно видеть, что в выражении 4.3.4 для определения стоимости изделия, параметры: $C_{\text{заг}}, \gamma, C_{\text{ТО}}^{k(\text{уд})}, C_{\text{ОР}}^{k(\text{уд})}, C_{\text{ТО}}^k, C_{\text{ОР}}^k, C_{\text{ПП}}^{\text{уд(год)}}, S_{\text{ТО}}^k, t_{\text{раб.}}, C_{\text{ТО}}^{\text{приобр.}}, M$ являются задаваемыми (в ряде случаев нормативными) параметрами.

Ориентировочные значения (выступающие в качестве исходных данных для последующих расчетов) приведены в таблице 4.3.5.

Таблица 4.3.5 – Значения исходных параметров для расчета стоимости вариантов

КТР

Параметр	Определение	Значение	Примечание
$C_{\text{заг}}$	Стоимость заготовки	См. таблицу 4.3.6	Определяется стоимостью материала и методом получения в промышленности. Обоснование стоимости заготовки для рассматриваемого случая приведено в таблице 4.3.6
γ	Ставка рефинансирования (учетная ставка), %	8,25	Устанавливается Центральным Банком России
$C_{\text{ТО}}^{k(\text{уд})}$	Средняя стоимость часа работы технологического оборудования, руб./час	1000	В среднем известна для каждого вида оборудования. В рассматриваемом примере в целях наглядности расчетов, условно принята одинаковой для всех используемых видов оборудования

$C_{OP}^{k(уд)}$	Средняя часовая ставка оплаты труда основного рабочего, руб./час	250	В среднем известна для рабочих определенной квалификации и специальности. В рассматриваемом примере в целях наглядности расчетов, условно принята одинаковой для рабочих всех специальностей и квалификации
$C_{ТО}^k$	Средняя годовая стоимость оборудования с учетом износа, руб./шт.	600 000	В среднем известна по рынку, с учетом типа, марки, степени износа оборудования. В рассматриваемом примере в целях наглядности расчетов, условно принята одинаковой для всех типов оборудования
C_{OP}^k	Средняя годовая стоимость использования основных рабочих, руб./год	500 000	Определяется на основании ставки оплаты труда $C_{OP}^{k(уд)}$ (фонд оплаты труда на одного рабочего)
$C_{ПП}^{уд(год)}$	Средняя годовая стоимость эксплуатации единицы производственной площади, р/год м ²	50 000	Известна для конкретных промышленных предприятий
$S_{ТО}^k$	Площадь, занимаемая определенным типом технологического оборудования для выполнения k-ой операции, м ²	3	Определяется конкретным типом используемого оборудования, для наглядности расчетов в среднем принята одинаковой для всех рассматриваемых типов оборудования
$t_{раб.}$	Годовой фонд эффективного рабочего времени, час	2000	При работе в одну смену (8 ч)
$C_{ТО}^{приобр.}$	Стоимость приобретения технологического оборудования, руб./год	600 000	В рассматриваемом примере для наглядности расчетов принято равным $C_{ТО}^k$
M	Размер партии (на программу выпуска), шт.	100	Необходимое количество компонента для обеспечения программы выпуска изделия

Таблица 4.3.6 – Характеристика и обоснование стоимости заготовок для вариантов КТР

Вар-т КТР	Материал	Метод получения заготовки (процесс)	Технологическое оборудование, оснастка	Заготовка: размеры, расход на единицу изделия	Расход материала на единицу изделия, кг/шт.	Стоимость материала р/кг*	Стоимость материала на одно изделие р/шт.	Коэфф. затрат на произв-во заготовки	Стоимость заготовки на одно изделие р/шт.
КТР1	Пруток из жаропрочного сплава марки ХН68ВМТЮК-ВД по ТУ 14-1-3759-84	Штамповка	Ленточная пила, Кривошипный горячештамповочный пресс, штамп	Штамповка по ТУ1-807-262-85 (штамповки дисков из жаропрочного сплава) Диск Ø380x(27...125) L=72	65,84	2400	158 016	2,5	395 040
КТР2	Пруток из жаропрочного сплава марки ХН68ВМТЮК-ВД по ТУ 14-1-3759-84	Раскатка	Ленточная пила, Кольцераскатный стан	Кольцо по ОСТ 1 90396-91 (кольца цельнокатаные точные из жаропрочных сплавов) Кольцо Ø375x22,5 L=69	15,94	2400	38 256	1,2	45 907
КТР3	Труба из жаропрочного сплава DIN EN 10216-2 Ø365x16 L=4000	Распиловка	Ленточная пила	Кольцо Ø365x16 L=67 N = 712 кг на 59 шт. (12 кг на 1 шт.)	11,34	4000	45 360	1,001	45 405

* по данным «Электровек-сталь» www.evek.org [доступ по состоянию на июнь 2015 г.]

Таким образом, стоимость изделия, для каждого конкретного случая реализации производственного потока определяется только временными параметрами: $t_{ТО}^k, t_{ОР}^k, t_{НЗП}^m, t_{зап(k;(k-1))}^{ТО}, t_{зап(k;(k-1))}^{ОР}, t_{зап(k;(k-1))}^{ПП}$. Они и подлежат дальнейшему определению согласно предлагаемой методике и математических моделей.

Время является параметром (атрибутом) объектов класса «Процессы», унаследованных от объектов класса «Изделия». Показатели времени подлежат вычислению только в ходе разработки производственного потока. Объекты класса «Процессы» определяют объекты класса «Ресурсы», необходимые для возможности реализации объектов класса «Процессы».

В качестве примера механизма наследования объектов, на рисунке 4.3.9 представлена структурная схема варианта КТР1 (для остальных вариантов процедура аналогична). Связанные объекты классов «Процессы» и «Ресурсы» подлежат декомпозиции. Степень декомпозиции определяется связкой объектов «операция (комплекс операций)» - «рабочее место», т.е. объекты класса процессы декомпозируются до тех пор, пока для каждого экземпляра процесса не будет поставлено в соответствие одно рабочее место, необходимое для его реализации. Сказанное иллюстрируется на рисунке 4.3.10.

Результат декомпозиции процесса изготовления шпангоута для варианта КТР2 представлен в таблице П1 Приложения.

Характеристика подлежащих определению временных параметров приведена в таблице 4.3.7.



Рисунок 4.3.9 – Механизм наследования структур, описывающих изделия с установлением связей между объектами и между связями объектов. Увеличенный фрагмент А детализирован на рисунке 4.3.10

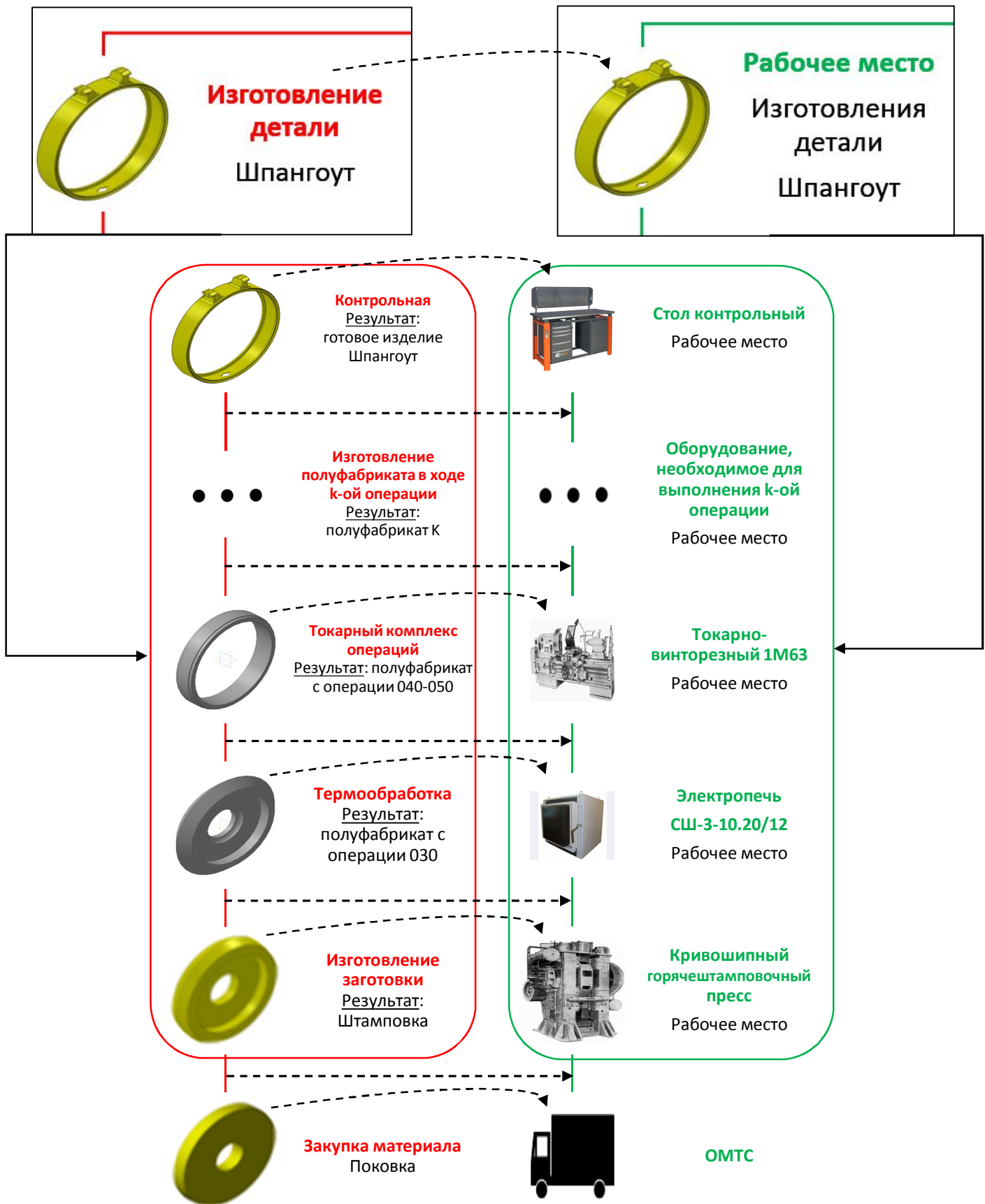


Рисунок 4.3.10 – Результаты декомпозиции процесса изготовления детали «Шпангоут» (фрагмент А рисунка 4.3.9). Представлены соответствия связей типа «объект-объект», «связь-связь»

Таблица 4.3.7 – Характеристика временных параметров, используемых в расчетах оценки эффективности производства

Определение	Определение	Примечание
$t_{ТО}^k$	Время работы соответствующего оборудования в ходе выполнения k-ой операции, час	Являются производными от длительности k-ой операции $t_{оп}^k$.
$t_{ОР}^k$	Время работы соответствующего основного рабочего в ходе выполнения k-ой операции, час	Определяются применяемым технологическим методом изготовления, т.е. выбранным КТР. Вычисляются с использованием САПР ТП. В рассматриваемом случае являются входными данными для расчетов
$t_{НЗП}^m$	Пролеживание m-ой позиции незавершенного производства (заготовки полуфабриката), час	Вычисляются на основании разработанных моделей и методик в рамках 2-ух расчетных этапов:
$t_{зап(к;(к-1))}^{ТО}$	Время нахождения в запасе (простоя) технологического оборудования в перерывах между выполнением (k-1)-ой и k-ой операциями, час	предварительного с использованием сетевого моделирования и
$t_{зап(к;(к-1))}^{ОР}$	Время нахождения в запасе (простоя) основного рабочего в перерывах между выполнением (k-1)-ой и k-ой операциями, час	«детального» с использованием инструментов имитационного моделирования
$t_{зап(к;(к-1))}^{ПП}$	Время нахождения в запасе (простоя) производственной площади, занимаемой соответствующим технологическим оборудованием в перерывах между выполнением (k-1)-ой и k-ой операциями, час	

Возможность выполнения заданной программы выпуска изделия «Жаровая труба» оценивали в два этапа: предварительного и детального [3].

Результатом предварительного этапа является заключение о принципиальной возможности выполнения заданной производственной программы на основании расчета длительностей производственных циклов с помощью методов сетевого планирования, а также степень загрузки производственного оборудования. Указанные результаты получены исходя из допущения о неограниченности производственных ресурсов и характеризуют эффективность применяемых технологических методов на производстве.

«Детальный» этап основан на дополнении сетевых моделей, используемых в ходе этапа «предварительный» ограничениями, формировании на их базе имитационных моделей и постановке на них экспериментов, реализуемых в системах имитационного моделирования. Созданные на этом этапе модели учитывают не только ограниченность производственных мощностей, но и специфику работы производственной системы, в том числе график работы, запуск изделий в производство партиями, обработку операционными партиями, перерывы в работах по техническим (ТОиР) и организационным причинам. Результатом данного этапа являются рассчитанные значения показателей загрузки элементов производственной системы, данные по объемам незавершенного производства и местам его скопления, а также размеры и время запуска партий изделий в производство [3].

Для предварительного этапа¹ использовано выражение:

$$M \leq \frac{\Phi_{\text{год}}}{(T_{\text{ц пр.}}^{\text{ср}})_{\text{кр.}}} \quad (4.3.13)$$

где $\Phi_{\text{год}}$ – эффективный годовой фонд времени работы технологического оборудования (в дальнейшем принято $\Phi_{\text{год}} = 2000$ час.);

M – программа выпуска изделия;

$(T_{\text{ц пр.}}^{\text{ср}})_{\text{кр.}}$ – средняя продолжительность цикла выполнения операции на рабочем месте, которому присвоен статус «критичного».

¹ Это же выражение используется и для этапа «детальный» в рамках имитационного моделирования производственного потока отдельно взятого изделия

«Критичным» считается рабочее место с минимальной пропускной способностью по сравнению с другими экземплярами производственного потока. Другими словами – это наибольшая продолжительность цикла выполнения операции потока.

В ходе реализации предварительного этапа, показатель $(T_{ц пр.}^{ср})_{кр.}$ оценивали по результатам выполнения аналитических расчетов для всего множества рассматриваемых КТР при заданной годовой программе $M = 100$ изделий. При этом, объем партий запуска компонентов в производство принимали равным 10 шт. Партии запускались в производство последовательно: следующую партию запускали в производство по завершении работ над предыдущей партией.

Рассмотрим итоги выполнения предварительного этапа (таблица 4.3.8).

Таблица 4.3.8 – Результаты выполнения предварительного этапа анализа возможности выполнения заданной программы выпуска

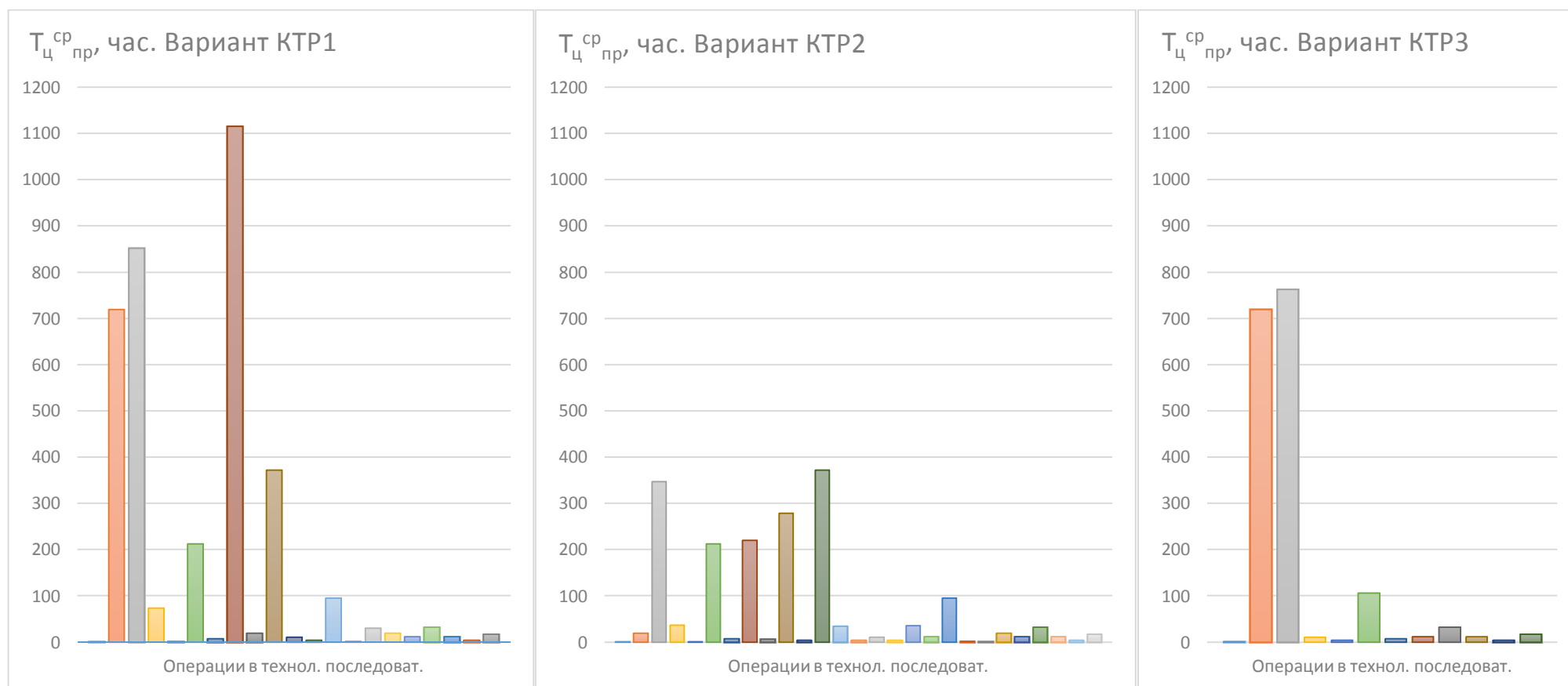
Вариант КТР	M , шт./год	$(T_{ц пр.}^{ср})_{кр.}$, час.	$\Phi_{год}$, час.	$M \cdot (T_{ц пр.}^{ср})_{кр.}$
КТР1	100	50	2000	5000
КТР2		32		3200
КТР3		17,5		1750

Из таблицы 4.3.8 видно, что условие

$$M \cdot (T_{ц пр.}^{ср})_{кр.} \leq \Phi_{год} \quad (4.3.14)$$

выполняется только для варианта КТР3.

Более подробно результаты данного этапа представлены на рисунке 4.3.11. На основании этих результатов можно сделать вывод, что не смотря на то, что вариант КТР1 содержит минимальное число операций, технологический цикл его изготовления наибольший из сравниваемых вариантов. В данном случае $T_{ц пр.}^{ср}$ – среднее время длительности цикла изготовления единицы изделия, рассчитано на основании метода критического пути. Сетевые диаграммы в форме диаграмм PERT и Ганта для варианта КТР2 представлены на рисунках 4.3.12 и 4.3.13 соответственно.



Технологический цикл на программу выпуска 100 шт./год (2000 ч.)	Вариант №1	Вариант №2	Вариант №3
В часах	5000 ч.	3200 ч.	1750 ч.
Превышает годовой фонд времени, раз	2,5	1,6	0,88
Количество возможно изготовленных изделий за год (2000 ч.)	50 шт.	62 шт.	113 шт.
Количество операций	21 (на деталь шпангоут)	27 шп. + 8 бугель + 3 сб = 38	12 шп. + 8 бугель + 7 сб = 27

Рисунок 4.3.11 – Декомпозиция процесса изготовления компонента «Шпангоут» для сравниваемых вариантов КТР.
Результаты расчета длительности технологического цикла

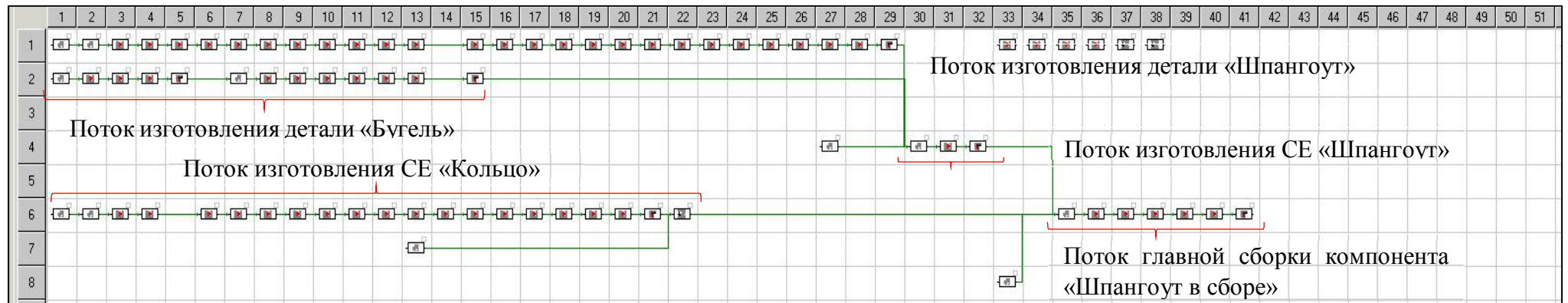


Рисунок 4.3.12 – Сетевая диаграмма (PERT-chart) изготовления компонента «Шпангоут» для варианта КТР2

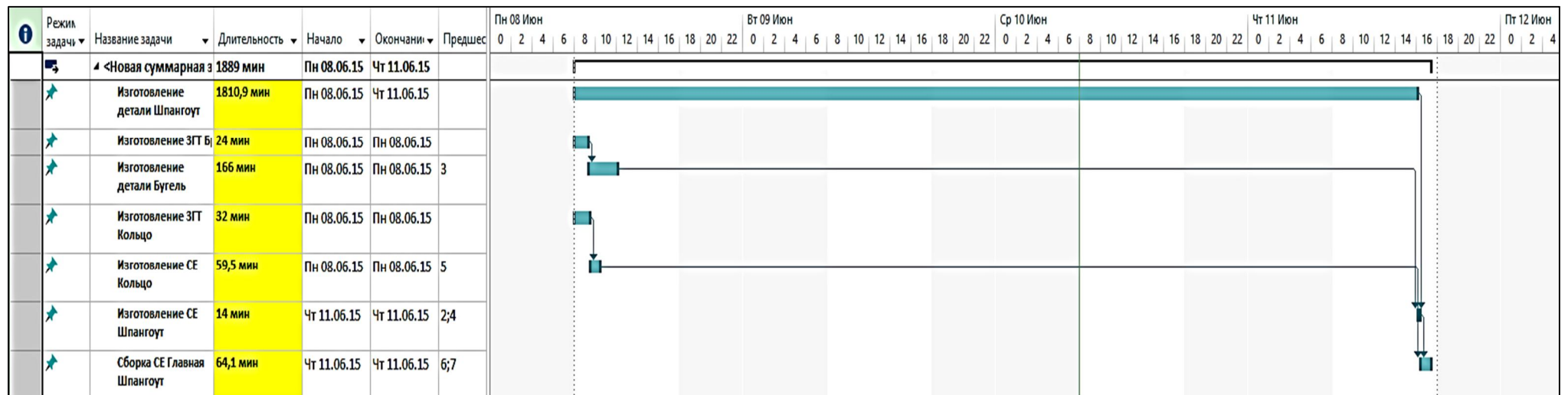


Рисунок 4.3.13 – Сетевая диаграмма (Gant-chart) изготовления компонента «Шпангоут» для варианта КТР2

В ходе реализации детального этапа была использована имитационная модель процесса изготовления компонентов (рисунок 4.3.14).

Модель учитывает следующие особенности:

1. Размер партии запуска применялся в пределах от 1 до 10 шт.;
2. Длительность $(T_{ц\ пр.}^{ср})_{кр.}$ была подвергнута операции выравнивания посредством ввода в рабочий поток альтернативных рабочих мест. Число таких мест определяли из условия:

$$(T_{ц\ пр.}^{ср})_{кр.} \leq [R_{пост}] \quad (4.3.15)$$

3. Запуск партии изделий в производство осуществляется последовательно, до завершения работ над предшествующей партией.

Сравнивая сетевую модель рисунка 4.3.12 и имитационную модель на рисунке 4.3.14, можно видеть, что структуры моделей подобны.

Ресурсная сетевая модель, и, построенная на ее базе, имитационная модель разработаны исходя из предположения, что реализуемый производственный поток обеспечен соответствующими ресурсами, т.е., если для рабочих мест потока предусмотрено одинаковое оборудование, то оборудование дублируется, исключая при этом возвраты на предыдущие рабочие места, неизбежные в случае наложения ограничений. Таким образом реализован виртуальный конвейер выпуска продукции. В таблице 4.3.9 представлены результаты сравнения расчетов по необходимому количеству оборудования, полученные без учета технологической последовательности выполнения работ и принятое количество единиц оборудования, необходимое для реализации в ходе имитационного эксперимента виртуального конвейера (в варианте КТР2).

Из таблицы 4.3.9 видно, что по критическим позициям (№1 и №15) в данном случае число оборудования совпало. Для остальных позиций, принятое количество оборудования в несколько раз превышает минимально необходимое (идеальное, при расчете без учета технологической последовательности выполнения работ) для возможности выполнения технологического процесса.

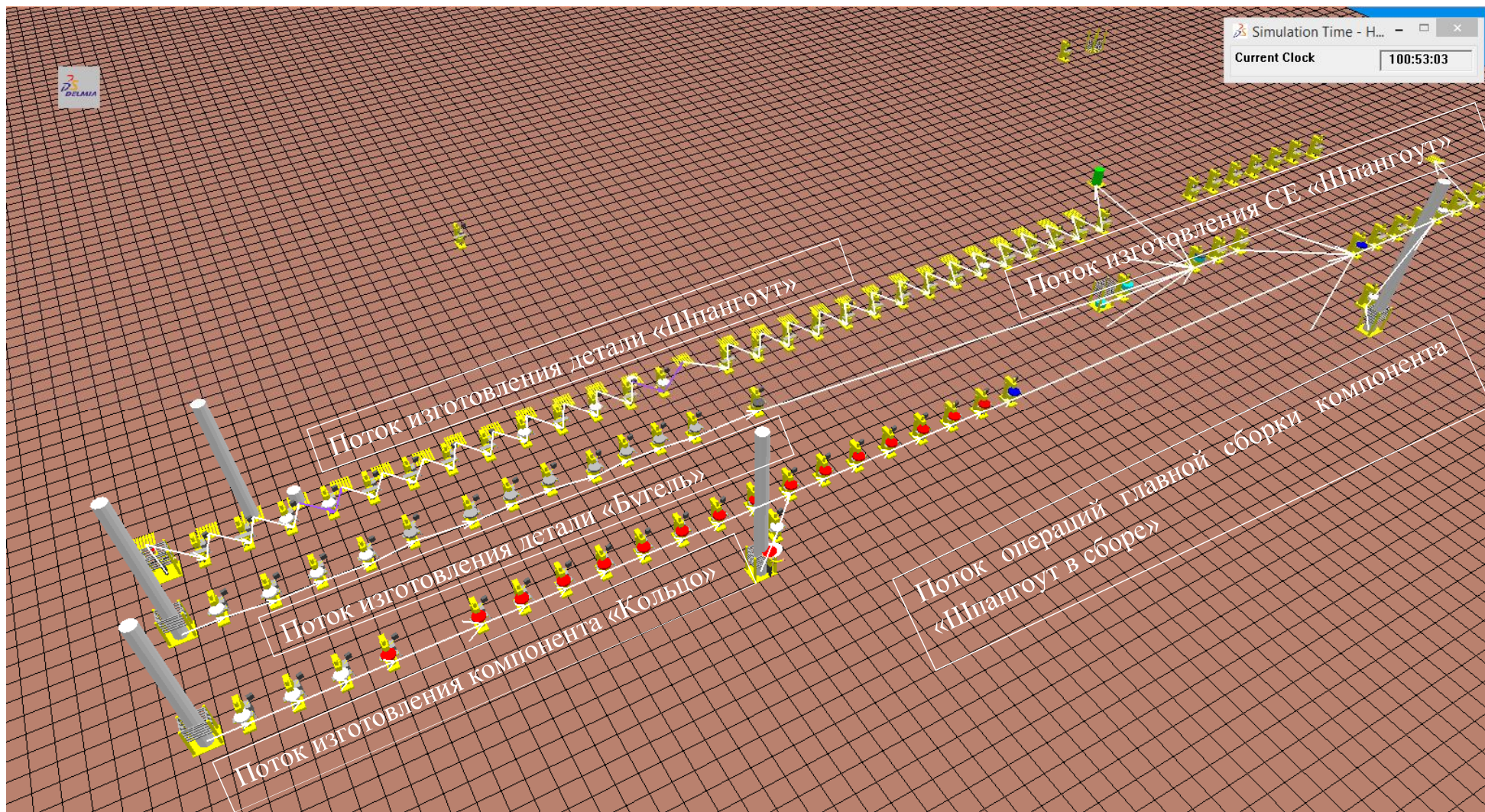


Рисунок 4.3.14 – Имитационная модель изготовления компонента «Шпангоут в сборе». Отражены связи материального потока и незавершенное производство на момент моделирования 100 час. Вариант КТР2

Таблица 4.3.9 – Состав оборудования, необходимого для изготовления компонента «Шпангоут в сборе» в варианте КТР2

№ п/п	Оборудование	Тц на 1 ед.	Процент использования при изготовлении 1 шт.	Тц на 10 ед.	Процент использования при изготовлении 10 шт.	Количество необходимого единиц оборудования	Оборудование в имитационной модели согласно потоку
1	1М63 (Токарно-винторезный)	963,28	48	9632,8	482	5	5
2	2Н125 (Вертикально-сверлильный)	10,75	1	107,5	5	1	1
3	6Р12 (Вертикально-фрезерный)	132,98	7	1329,8	66	1	3
4	6Р82 (Горизонтально-фрезерный)	35,2	2	352	18	1	1
5	АДСВ-6М (Сварочный автомат)	43,91	2	439,1	22	1	2
6	Верстак	155,52	8	1555,2	78	1	29
7	ВСВУ-400 (Выпрямитель сварочный)	22,3	1	223	11	1	2
8	Линия травления и промывки	31,55	2	315,5	16	1	4
9	Отрезной	15	1	150	8	1	1
10	ОФ-55 (Универсально-фрезерный)	99,20	5	992	50	1	3
11	Стол контрольный	48,56	2	485,6	24	1	10
12	СШЗ-10.20/12 (Электропечь)	39,04	2	390,4	20	1	2
13	Трехвалка	6,65	0	66,5	3	1	1
14	ФП-17СМН2(Фрезерный с ЧПУ)	2,46	0	24,6	1	1	1
15	ФП-27Р3 (Фрезерный с ЧПУ)	552,1	28	5521	276	3	3
16	ЭЗ-159М (Ленточно-зачистной)	12	1	120	6	1	1

Т.к. определяющую роль в изготовлении изделия «Шпангоут в сборе» имеет компонент (деталь) «Шпангоут» (см. рисунок 4.3.5), дальнейшие исследования продемонстрированы именно для этого компонента.

На рисунках 4.3.13 – 4.3.15 представлены состояния имитационной модели на момент моделирования 100 ч. для всех трех вариантов КТР.

Результаты имитационного моделирования приведены в таблице 4.3.10. Из таблицы видно, что выполнение условия 4.3.12 возможно посредством уменьшения партии запуска изделий в производство.

В отличие от результатов статического (сетевое) моделирования показано, что возможно выполнения заданной программы выпуска изделий в варианте КТР1, при условии введения обработки частичной партии, равной менее 3 шт. компонентов.

Таблица 4.3.10 – Результаты длительности цикла изготовления компонента «Шпангоут» вариантов КТР для разных партий запуска изделий в производство

Варианты КТР	КТР1			КТР2			КТР3		
	Размер партии запуска в производство, шт.	1	3	10	1	3	10	1	3
Цикл изготовления первой детали, ч.	52	156	493	33	101	309	20	60	171
Время изготовления на программу выпуска изделий (100 шт.), ч.	1893	1997	2169	494	561	730	1279	1319	1319

Далее приведены результаты имитационных экспериментов для расчета остальных временных параметров (главным образом потерь времени). Для наглядности, приведены результаты изготовления детали «Шпангоут» для рассматриваемых вариантов КТР с размером партии частичной обработки, равной 10 шт. деталей (рисунки 4.3.15 – 4.3.17).

При разработке вариантов КТР возможности производства приняты одинаковыми для всех моделируемых вариантов, т.е. необходимый состав оборудования (рабочих мест) одинаков во всех трех вариантах. Наиболее избыточным количеством оборудования из состава имеющегося в наличии обладает вариант КТР2. Поэтому на рисунках имитационных моделей 4.3.15

(вариант КТР1) и 4.3.17 (вариант КТР3) показаны неиспользуемые при реализации производственного потока рабочие места.

Результаты имитационного эксперимента и расчет стоимости изготовления единицы компонента «Шпангоут» для варианта КТР2 с размером партии запуска в производство $n=10$ приведены в таблицах П2 и П3 Приложения. Итоговые результаты по расчетам стоимости компонента «Шпангоут» для всех трех сравниваемых КТР приведены на рисунке 4.3.18.

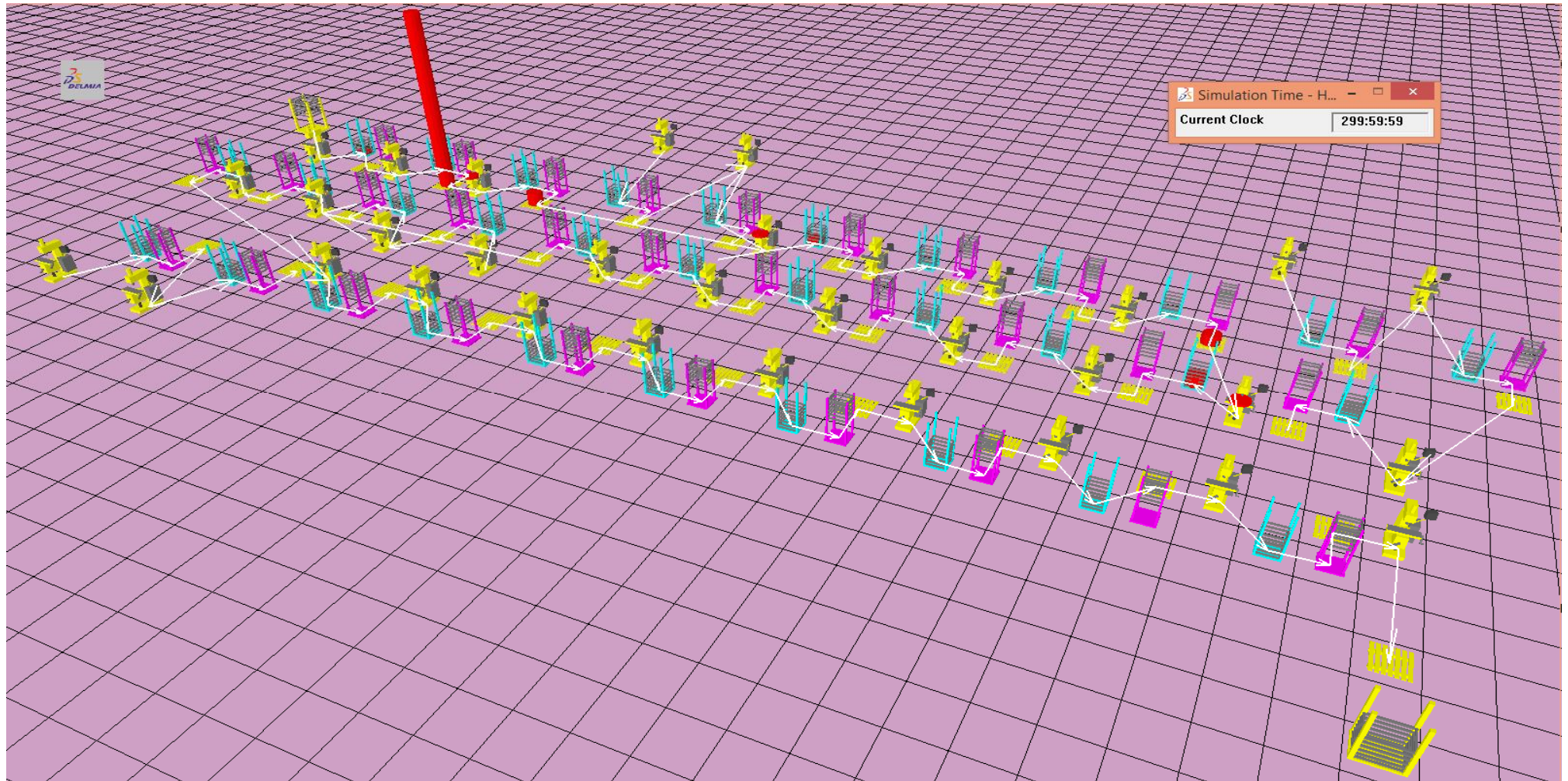


Рисунок 4.3.15 – Имитационная модель изготовления детали «Шпангоут». Момент моделирования 300 ч. **Вариант КТР1.**

Партия запуска $n = 10$ шт. Показаны связи материального потока, незавершенное производство, выведенные из состава потока неиспользуемые рабочие места в сравнении с вариантом КТР2

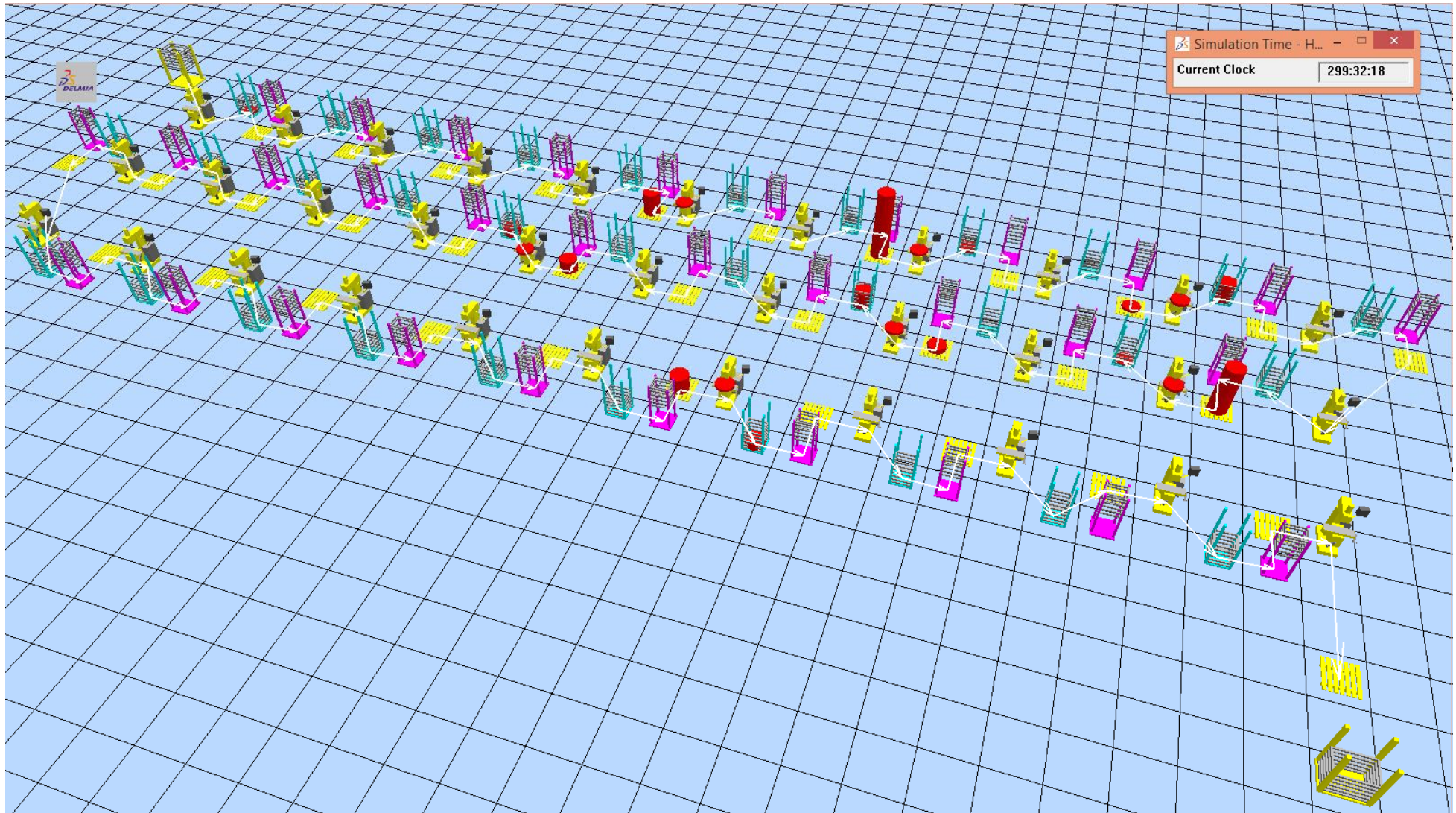


Рисунок 4.3.16 – Имитационная модель изготовления детали «Шпангоут». Момент моделирования 300 ч. **Вариант КТР2.**

Партия запуска $n = 10$ шт. Показаны связи материального потока, незавершенное производство

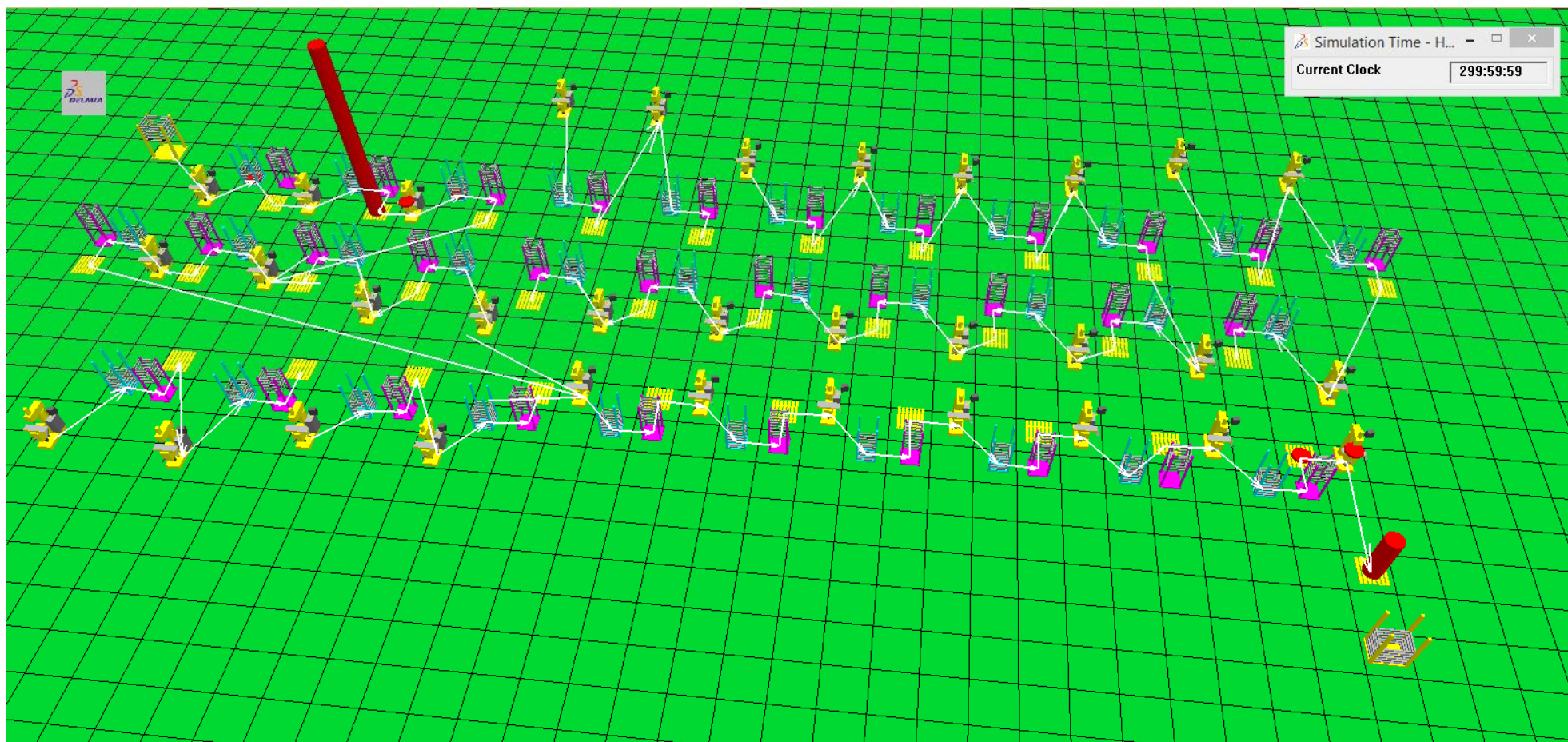


Рисунок 4.3.17 – Имитационная модель изготовления детали «Шпангоут». Момент моделирования 300 ч. **Вариант КТР3.**

Партия запуска $n = 10$ шт. Показаны связи материального потока, незавершенное производство, выведенные из состава потока неиспользуемые рабочие места в сравнении с вариантом КТР2

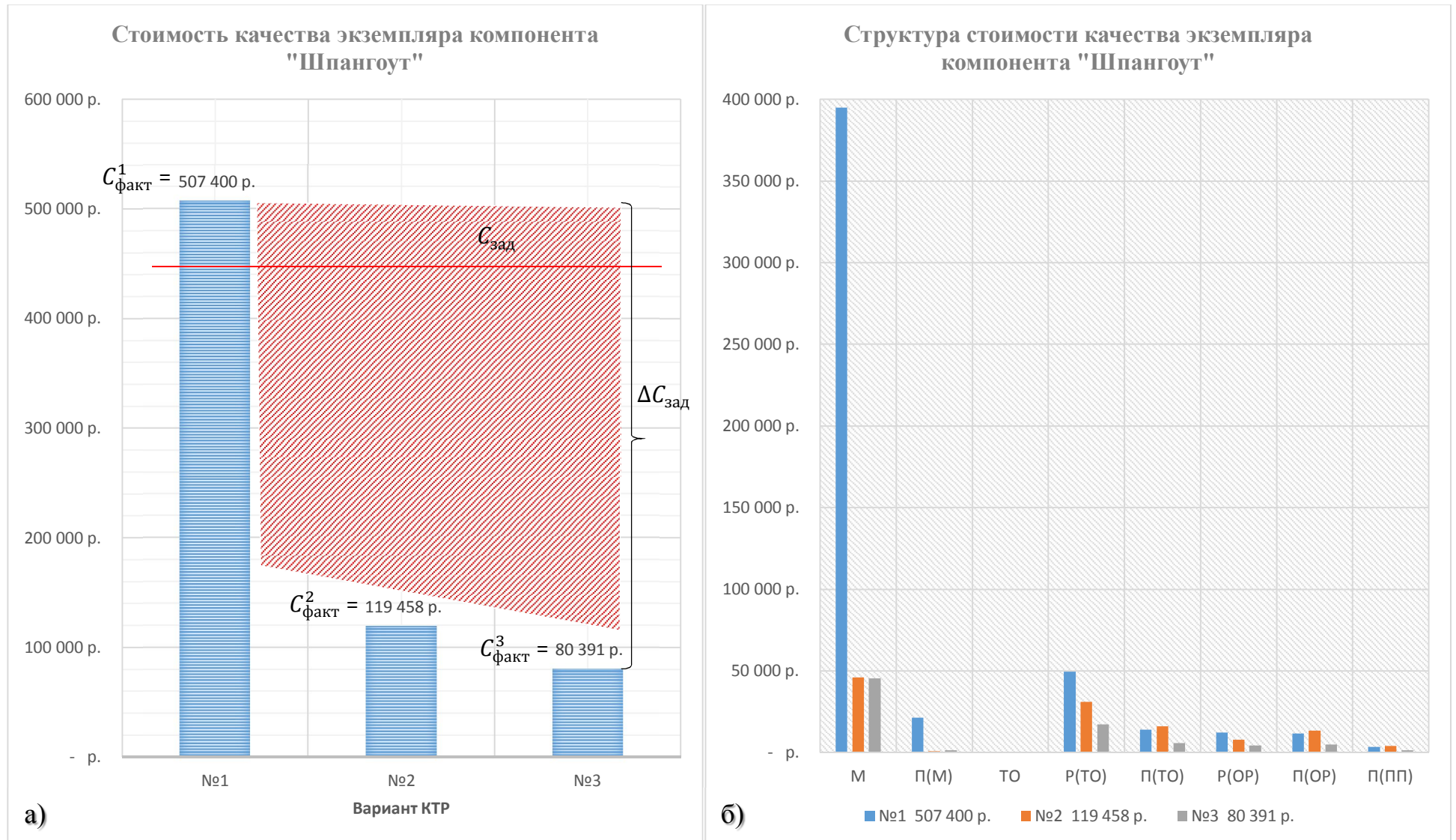


Рисунок 4.3.18 – Стоимость качества экземпляра компонента «Шпангоут» для рассматриваемых вариантов КТР и объема партии $n=10$ шт.: а – фактическая стоимость и область управления стоимостью; б – структура стоимости: М – затраты на материал; ТО – затраты на приобретение технологического оборудования; Р(ТО), Р(ОР) – стоимость работы оборудования и основных рабочих; П(М), П(ТО), П(ОР), П(ПП) – потери от пролеживания незавершенного производства; простоя технологического оборудования, основных рабочих, производственных площадей

На основании представленных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Условие 4.3.13 в полной мере выполняется для варианта КТР3. Выполнение рассматриваемого условия возможно и для варианта КТР1 посредством проведения организационно-технических мероприятий. Например, как это показано в результате выполнения экспериментов (таблица 4.3.10), посредством дробления партии запуска на части. Тем не менее данный вариант не обеспечивает выполнение ограничения по стоимости качества изделия.

2. По стоимости качества изделия предпочтение может быть отдано варианту КТР3.

3. Достоверность результатов моделирования подтверждается результатами сравнения данных экспериментов с исходными данными завода-производителя компонента «Шпангоут в сборе» (таблица 4.3.11). Суммарный объем уровня потерь составил более 40% от исходного значения длительности производственного цикла изготовления компонента «Шпангоут в сборе». Стоит отметить, что это объем именно транзакционных издержек, поскольку источники этих потерь находятся вне технологических операций. Внутрицикловые потери операций расположены в длительности производственного цикла, определенного по результатам имитационных экспериментов.

Таблица 4.3.11 – Исходное состояние процесса производства компонента «Шпангоут в сборе» для варианта КТР1

Исходное значение длительности производственного цикла изготовления компонента «Шпангоут в сборе», час.	Длительность производственного цикла изготовления партии из 10 компонентов «Шпангоут в сборе», определенная по результатам имитационных экспериментов, час.	Потери от несовершенства организации производственного процесса, час.
572	311	261

4. Результаты сравнения вариантов КТР2 и КТР3 представлены в таблице 4.3.12.

Таблица 4.3.12 – Сравнение конструкторско-технологических решений КТР2 и КТР3

Вариант КТР	Цикл изготовления первой детали из партии, час.	Цикл изготовления на программу выпуска (100 шт.), час.	Количество изделий, изготавливаемое в течение года, шт.	Стоимость незавершенного производства, тыс. руб.
КТР2	308,6	729,5	370	4 682, 047
КТР3	170,8	1318,2	150	4 677, 225

5. Были рассмотрены варианты модификации технической базы производственных потоков для вариантов КТР2 и КТР3. Модификации заключались в увеличении пропускной способности «критичных» рабочих мест. Модификация 1 для варианта КТР3 заключалась в увеличении числа рабочих мест, которым присвоен статус «критичных». Модификация 2 варианта КТР3 – трудоемкая операция №3 разбита на две операции, дополнительно требуется аналогичная единица технологического оборудования. Модификация 3 – более производительное оборудование (замена оборудования) для операции №3.

На рисунке 4.3.19 представлена диаграмма, иллюстрирующая разницу между капитальными затратами на модернизацию технической базы производственных потоков и себестоимостью программы выпуска компонентов.

Диаграмма, иллюстрирующая продолжительность срока окупаемости капитальных вложений показана на рисунке 4.3.20. Сроки окупаемости существующей технической базы для варианта КТР3 приняты равными нулю.

6. Результаты управления сроком поставки изделий за счет содержания запаса незавершенного производства, представлены в таблице 4.3.13.

Таблица 4.3.13 – Сравнение циклов для КТР3 за счет запасов незавершенного производства

Вариант КТР	Цикл изготовления первой детали из партии, час.	Цикл изготовления на программу выпуска 100 шт./год, час.	Количество изделий, изготавливаемое в течение года, шт.	Стоимость незавершенного производства, тыс. руб.
КТР3	170,8	1318,2	150	7 183, 021
КТР3	170,8	745,8	300	0

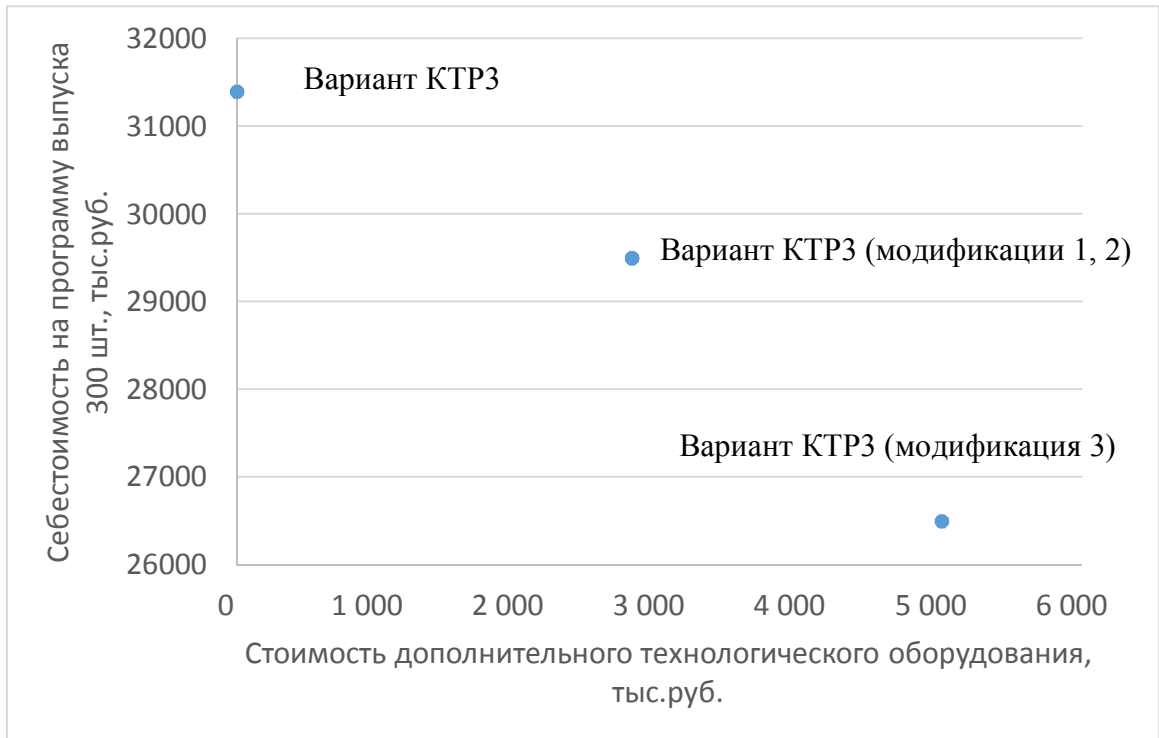


Рисунок 4.3.19 – Себестоимость изделия и стоимость дополнительного технологического оснащения в зависимости от варианта конструктивно-технологических решений и наличия оборудования

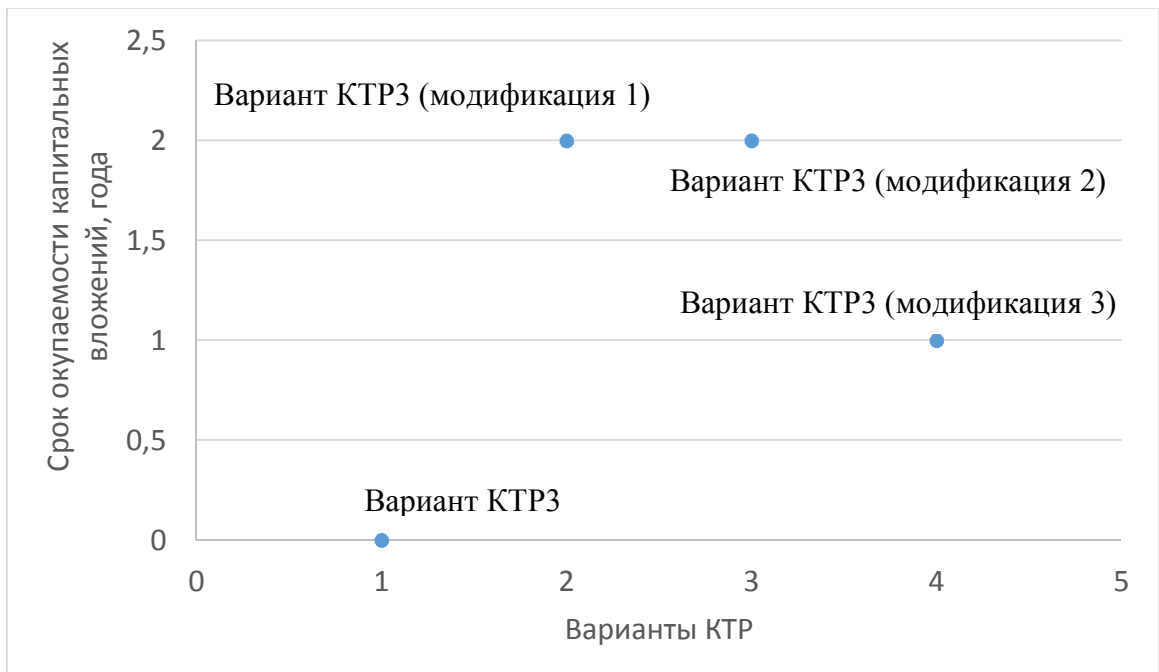


Рисунок 4.3.20 – Срок окупаемости дополнительного технологического оснащения для вариантов конструктивно-технологических решений и варианта с дополнительной единицей технологического оборудования

Выводы по задаче выявления и сравнительного анализа приемов управления стоимостью качества изделия «Жаровая труба» и ритмом его внутренних поставок

1. Пример 1 демонстрирует работоспособность предлагаемых методик и моделей для случая их применения в работах по повышению эффективности производства существующих изделий в процессе их модернизации;
2. В примере 1 наглядно показано, что эффективность производства вариантов конструкторско-технологических решений определяется техническим уровнем, главным показателем которого являются временные параметры. Стоимостные показатели характеризуют долю того или иного технического фактора (марка материала, вид заготовки, состав изделия, состав технологического оборудования и т.д.) в общей стоимости качества конструкторско-технологического решения.

4.4. Задача модернизации производственной системы для увеличения производственной мощности цеха

Цель исследования. Аудит действующей производственной системы цеха, выявление «критичных», с точки зрения увеличения мощности, элементов производственной системы и разработка мероприятий для достижения заданного уровня производственной мощности цеха. Задача решена по запросу оборонного завода г. Тулы для изделия «Электронный блок».

Методика решения задачи:

1. Разработка конструкции «Изделие – Технология – Производство» для действующих конфигураций производимого изделия и производственной системы (ситуация «as is» – как есть).
2. Валидация конструкции для оценивания степени ее пригодности для дальнейшего использования;
3. Решение исследовательской задачи II-го уровня для оценки влияния организационно-технических мероприятий развития производственной системы на уровень ее производственной мощности;
4. Корректировка конструкции «Изделие – Технология – Производство» для учета изменений изделия и организационно-технических решений;
5. Решение исследовательской задачи I-го уровня для оценивания влияния уровня конструкторско-технологического совершенства изделия на производственную мощность цеха;
6. Решение исследовательской задачи II-го уровня для оценивания совместного влияния: модифицированного изделия, автоматизации рабочих мест и организационно-технических мероприятий на производственную мощность цеха.

Фрагмент модели исходной производственной системы показан на рисунке 4.4.1.

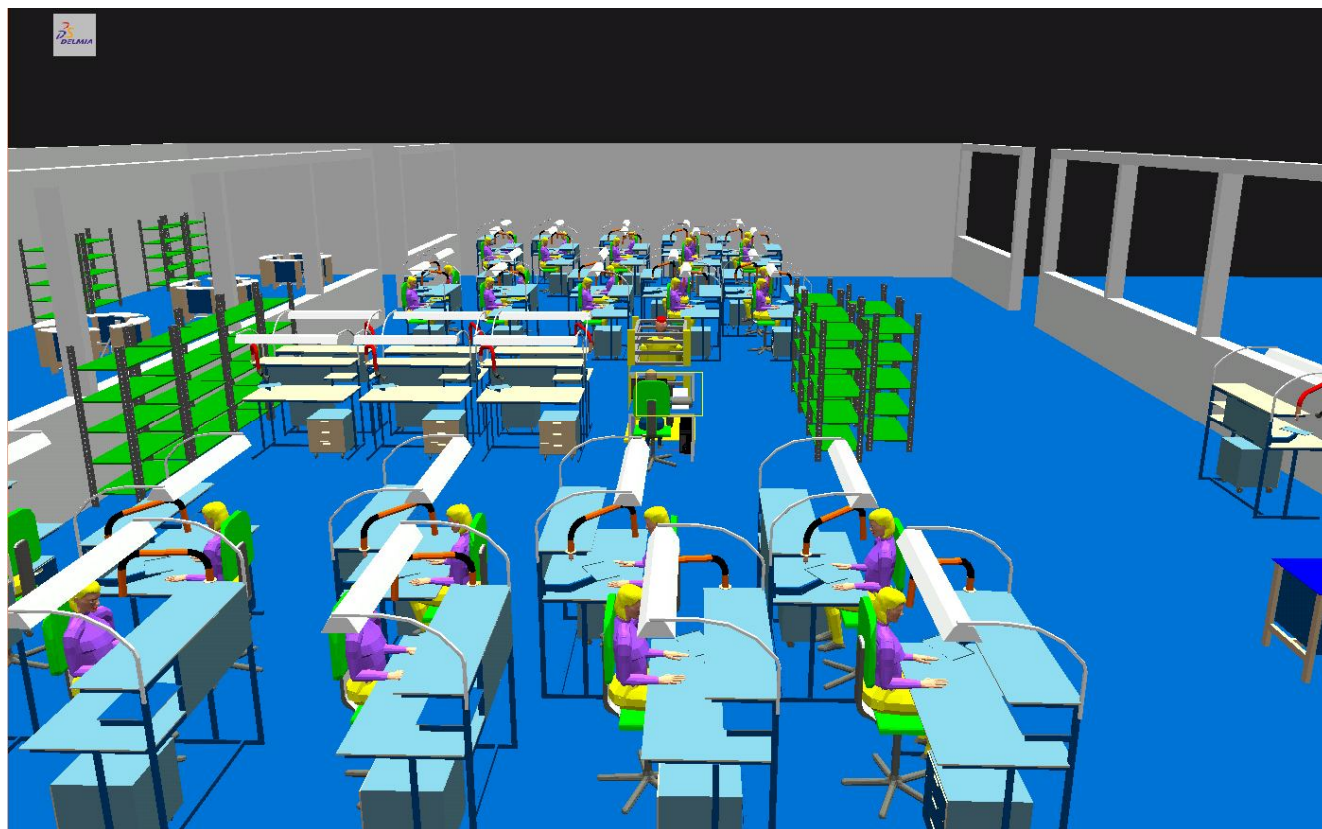


Рисунок 4.4.1 – Модель производственной системы электромонтажного цеха по изготовлению изделия «Электронный блок»

Результаты валидации разработанной конструкции «Изделие – Технология – Производство» подтвердили ее адекватность. Кроме того, удалось выявить причину того, что производственная мощность цеха не может превышать 6 изд./год: неравномерная загрузка рабочих мест (рисунок 4.4.2). Результаты процедуры валидации отражены в таблице 4.4.1 (Эксперимент №1 в таблице 4.4.1).

Был разработан комплекс организационно-технических мероприятий, направленный на выравнивание загрузки рабочих мест (балансировка производственных мощностей рабочих мест). В качестве инструмента балансировки определено совмещение профессий основных рабочих без увеличения общего количества последних (Эксперимент №2 в таблице 4.4.1). В результате производственная мощность цеха практически удвоилась (11 изд./год), но был выявлен следующий «критичный» фактор: недостаток фонда времени работы оборудования, и, как следствие, недостаток основных рабочих.

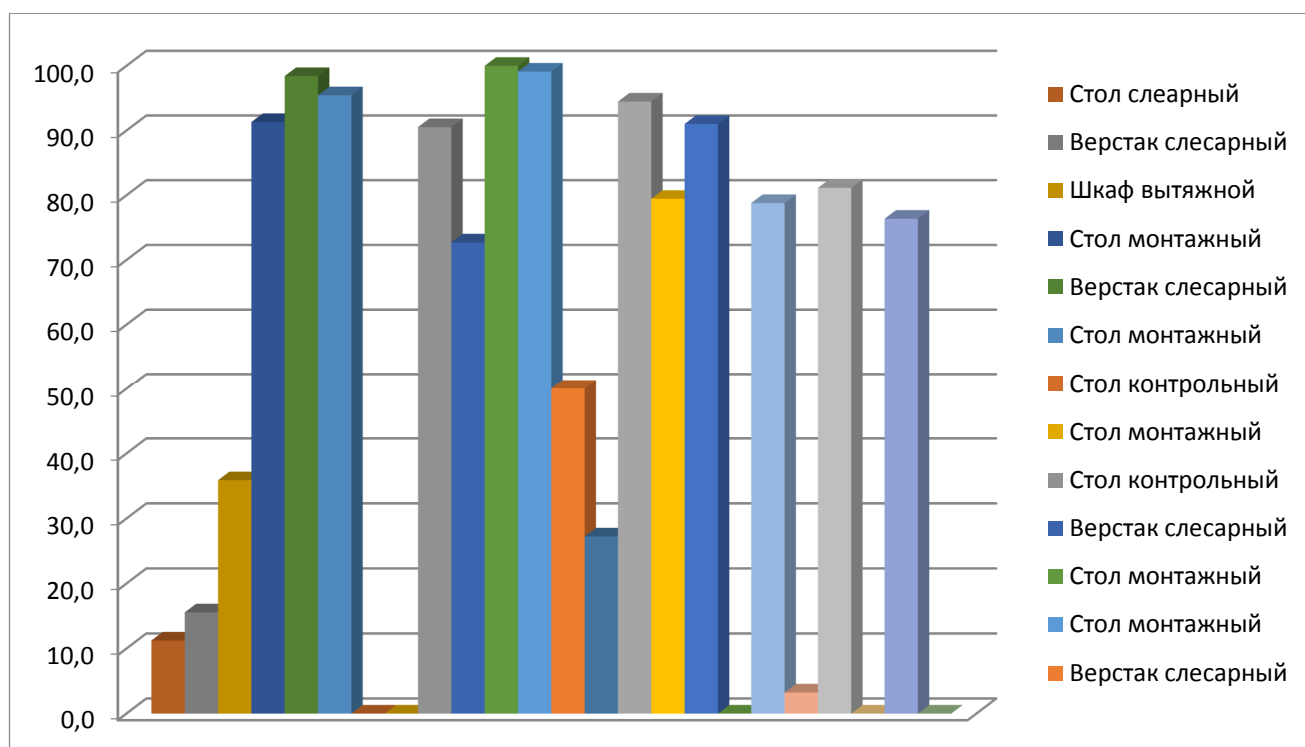


Рисунок 4.4.2 – Диаграмма загрузки оборудования исходной производственной системы

Был поставлен Эксперимент №3, цель которого заключалась в определении требуемого количества основных рабочих для достижения производственной мощности 55 изд./год при двухсменной работе цеха. Полученный результат: 162 основных рабочих.

Далее был поставлен Эксперимент №4, цель которого заключалась в уменьшении требуемого количества основных рабочих за счет увеличения уровня конструкторско-технологической отработки изделия и повышения технического уровня рабочих мест (в основном, за счет автоматизации рабочих процессов). В результате удалось обеспечить требуемую производственную мощность цеха при двухсменной работе основных рабочих мест.

Результаты выполненных экспериментов иллюстрируются на рисунке 4.4.4. Достигнутый результат сопровождался незначительным изменением исходных планировочных решений рабочих мест.

Диаграмма загрузки оборудования производственной системы по результатам балансировки производственных мощностей приведена на рисунке 4.4.3.

Таблица 4.4.1 – Результаты экспериментов на имитационной модели
производственной системы электромонтажного цеха

№ Эксперимента на модели	Цель имитационного эксперимента	Мощность цеха и количество основных рабочих	Выводы по результатам эксперимента
1	2	3	4
Моделирование исходной производственной системы			
Эксперимент №1	Определение производственной мощности цеха при исходном состоянии производственной системы	<u>Задано:</u> 40 основных рабочих <u>Расчет:</u> 6 изделий/год	1. Мощность цеха по результатам моделирования совпала с фактической мощностью выпуска 6 изд./год; 2. Подтверждена работоспособность методик и моделей; 3. Определены «узкие места» производства
Моделирование с учетом внесения организационно-технических мероприятий			
Эксперимент №2	Оценка производственной мощности цеха при условии выполнения разработанного комплекса организационно-технических мероприятий	<u>Задано:</u> 40 основных рабочих <u>Расчет:</u> 11 изделий/год	1. Совмещение профессий основных рабочих обеспечивает практически двукратный рост мощности; 2. Выравнивание баланса мощности рабочих мест по сравнению с Экспериментом №1; 3. Оборудования достаточно для выполнения программы выпуска; 4. Выявлен новый ограничивающий фактор: количество основных рабочих
Эксперимент №3	Определение количества основных рабочих при двухсменной их работе, необходимого для достижения производственной мощности цеха 55 изд./год	<u>Задано:</u> 55 изделий/год <u>Расчет:</u> 162 основных рабочих	1. Для существующих количества и технического уровня рабочих мест при двухсменной работе требуется 162 основных рабочих; 2. Дальнейшее увеличение мощности невозможно без конструкторско-технологического совершенствования изделия и роста технического уровня рабочих мест

Таблица 4.4.1 (Продолжение)

1	2	3	4
Моделирование с учетом конструкторско-технологического совершенствования изделия и роста технического уровня рабочих мест			
Эксперимент №4	Определение основных рабочих при двухсменной работе для обеспечения производственной мощности 55 изд./в год.	<u>Фиксирова</u> <u>НО:</u> 55 изделий/год <u>Расчет:</u> 134 основных рабочих	1. Сокращение трудоемкости сборки на 14%. 2. Сокращение количества основных рабочих на 28 человек.

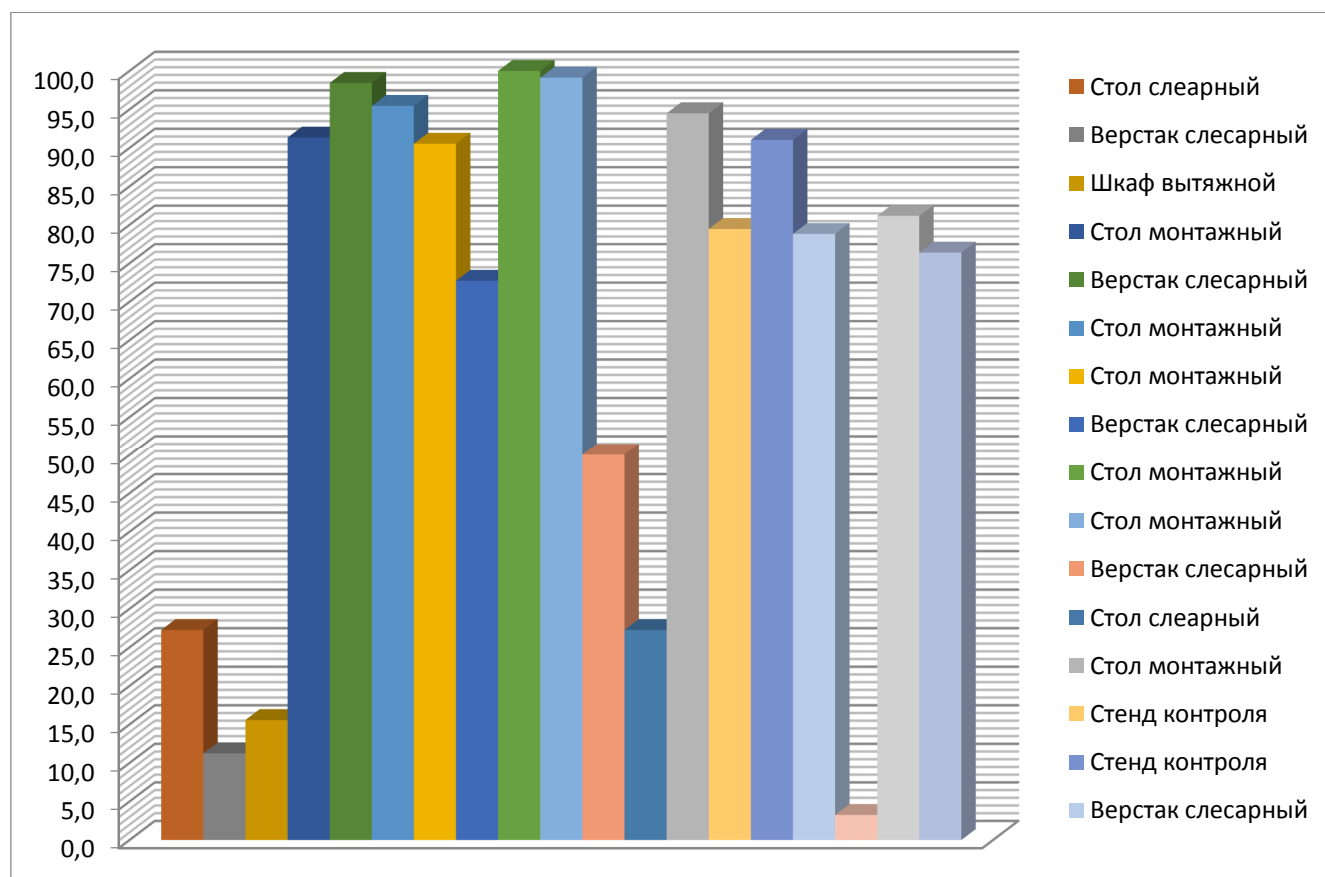


Рисунок 4.4.3 – Диаграмма загрузки оборудования производственной системы по результатам балансировки производственных мощностей

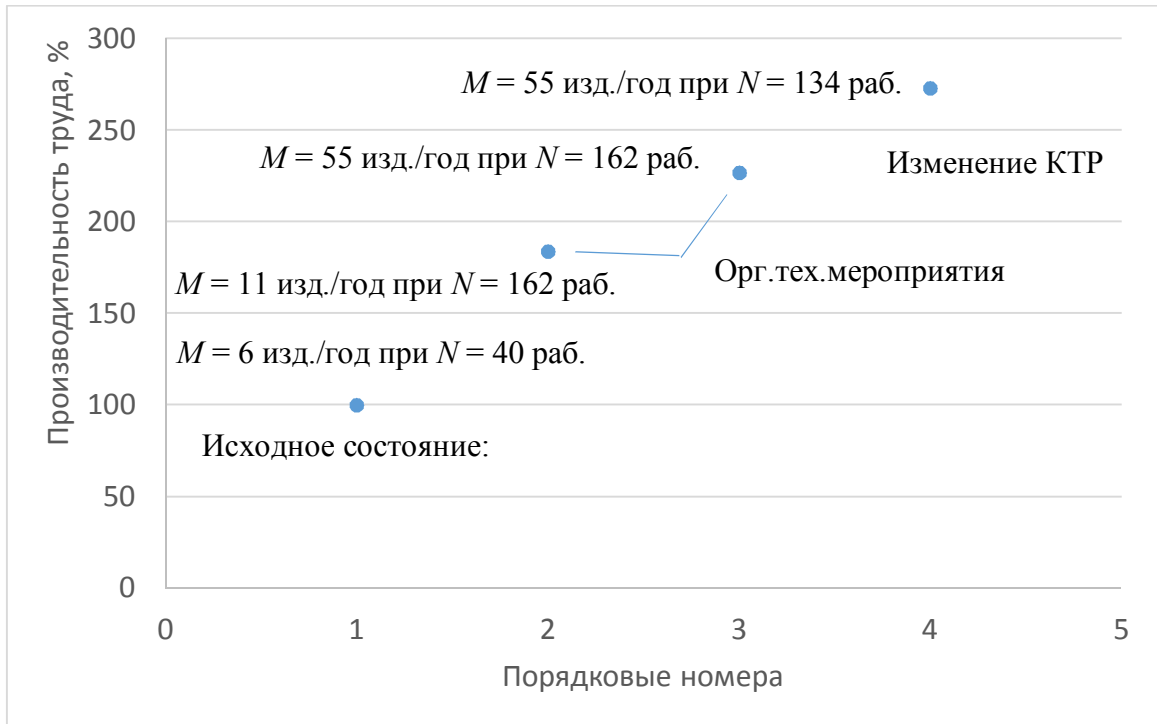


Рисунок 4.4.4 – Результаты реализации разработанных в ходе выполнения договора предложений. На рисунке обозначены: M – производственная мощность цеха; N – количество основных рабочих

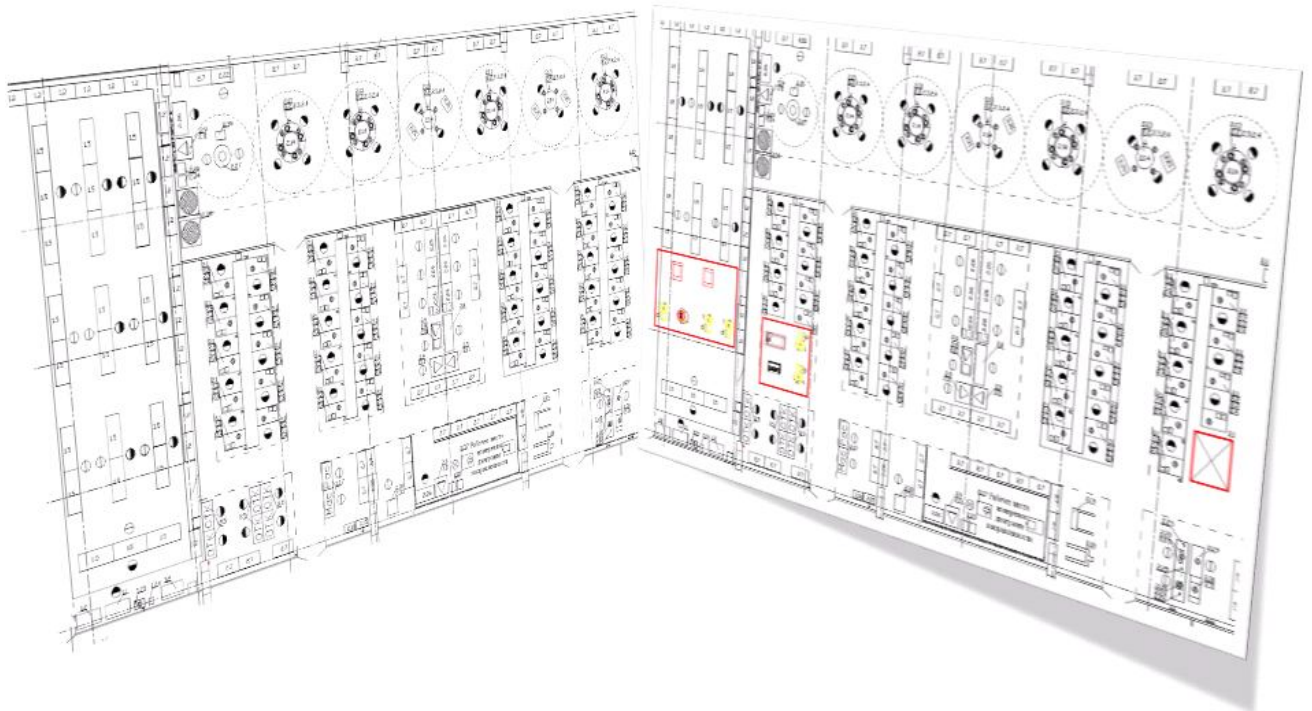


Рисунок 4.4.5 – Изменение планировочных решений: было (слева), стало (справа)

Выводы по примеру 2 (аудит существующей производственной системы)

1. Пример 2 подтверждает пригодность разработанных методик и моделей для использования при выполнении работ по аудиту действующих производственных систем.
2. Показана возможность учета влияния разнообразных параметров, являющихся следствием изменений конструкторско-технологических решений (количество компонентов изделия, количество технологических операций, цвет материала и др.), организационно-технических решений (количество смен, координаты мест расположения оборудования, количество оборудования, рабочих и др.).

4.5. Задача планового совершенствования производственной деятельности предприятия

Цель исследования. Валидация проекта модернизации производственной системы для обеспечения заданного уровня эффективности предприятия, выявление и оценивание дополнительных резервов для роста эффективности, [7].

Задача решалась в интересах многономенклатурной производственной системы сборочного цеха ОАО «Криогенмаш», г. Балашиха МО. Состав изделий-представителей приведен на рисунке 4.5.1.

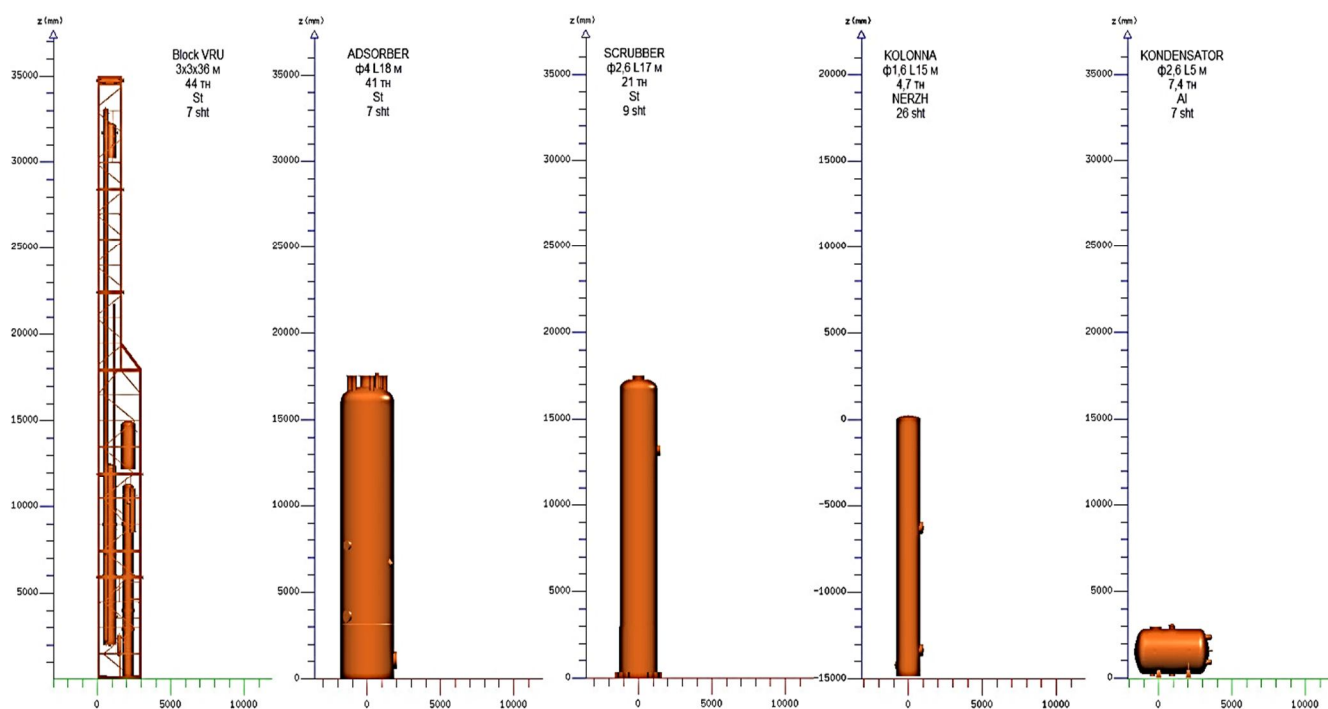


Рисунок 4.5.1 – Изделия-представители для моделирования многономенклатурной производственной системы сборочного корпуса

Методика исследования:

1. Разработка частного представления конструкции «Изделие – Технология – Производство» для проекта сборочного цеха;
2. Решение исследовательской задачи II-го уровня для валидации проекта;
3. Решение исследовательской задачи I-го уровня для валидации дополнительных конструкторско-технологических решений изделий цеха, целесообразность которых была выявлена в ходе решения задачи II-го уровня.

Особенностью выполненных работ являлось то, что они выполнялись на том этапе, когда уже основные планировочные решения и производственные площади были определены и заморожены.

Показателями решения задачи II-го уровня были:

$$\begin{cases} N_{\text{программа выпуска}}^i \leq N_{\text{заданное}}^i \text{ изд./год}; \\ S_{\text{вып.}}^N \leq S_{\text{заданное}}^N \text{ изд./м}^2, \end{cases} \quad (4.5.1)$$

где $N_{\text{программа выпуска}}^i$ – годовая программа выпуска i -го изделия ($i \leq 1 \leq N$) номенклатуры цеха;

$S_{\text{вып.}}^N$ – объем выпуска N видов изделий в расчете на 1 м^2 производственной площади цеха корпуса;

$N_{\text{заданное}}^i, S_{\text{заданное}}^N$ – заданные значения тех же показателей.

Результаты расчетов и эксперименты с конструкцией позволили не только выполнить валидацию проекта, но и сформировать условия, необходимые для выполнения заданной программы выпуска изделий.

Так, для изделия Блок ВРУ продолжительность производственного цикла не должна превышать 2000 час. Достаточным условием для этого оказалось отказ от членения трубопроводов, за счет изготовления на современном трубогибочном оборудовании. В результате резко уменьшился объем сборочно-сварочных работ и работ по контролю герметичности.

Аналогичные результаты были получены и для изделия «Конденсатор».

Как следствие, упростились логистические процессы в цехе. В интересах сокращения площадей промежуточных складов были разработаны мероприятия, необходимые для соблюдения нормативных показателей незавершенного производства.

Сравнение двух вариантов конструкторско-технологических решений трубопроводов приведено в таблице 4.5.1². Имитационная модель производственной системы ПАО «Криогенмаш» в системе имитационного моделирования DELMIA QUEST приведена на рисунке 4.5.2.

² По данным ООО ИКФ «Солвер»

Таблица 4.5.1 – Сравнение вариантов КТР в решении задач I-го и II-го уровней

КТР «Базовый» (Сварка трубопровода из отдельных элементов, количество сварных швов – 15)	КТР «Альтернативный» (Приварка только концевых элементов, количество сварных швов – 2)
	

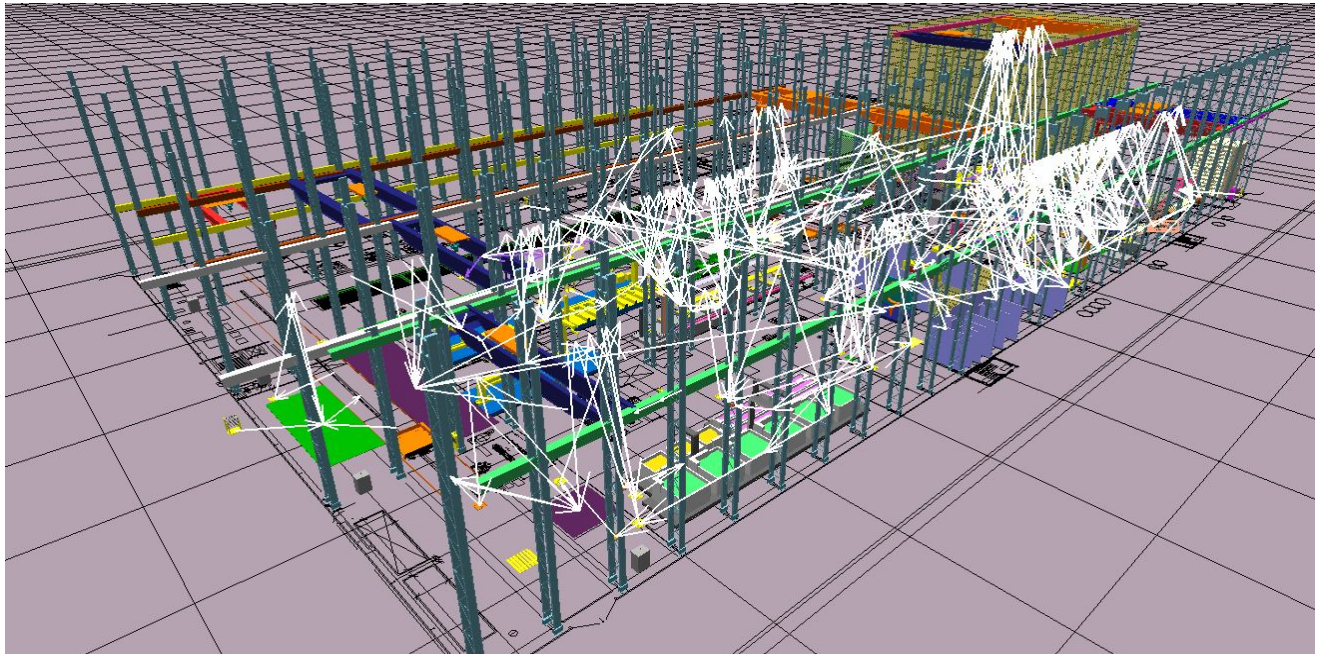


Рисунок 4.5.2 – Имитационная модель производственной системы ПАО «Криогенмаш» в системе имитационного моделирования DELMIA QUEST

Выводы по примеру 3:

1. Иллюстрируется применимость предлагаемых методик и моделей для целей верификации и валидации проектов технического перевооружения предприятий в части технологической, транспортной, складской подсистем.
2. В примере показано, что на основании результатов, полученных с использованием разработанных методик и моделей, могут быть сформированы требования к конструкторско-технологическим решениям изделия, выполнение которых обеспечит достижение заданных показателей производства (программа выпуска, выпуск с единицы производственной площади, допустимый объем незавершенного производства и др.).

4.6. Задача аудита ремонтного производства

Цель исследования. Разработка мероприятий для организационного развития ремонтного производства самолетостроительного завода.

Задача решалась в интересах ремонтного производства ОАО «Туполев», г. Казань (рисунок 4.6.1).

Методика исследования:

1. Разработка частного представления конструкции «Изделие – Технология – Производство» для ремонтного производства;
2. Решение исследовательской задачи II-го уровня для определения направлений организационного развития ремонтного производства самолетостроительного завода.

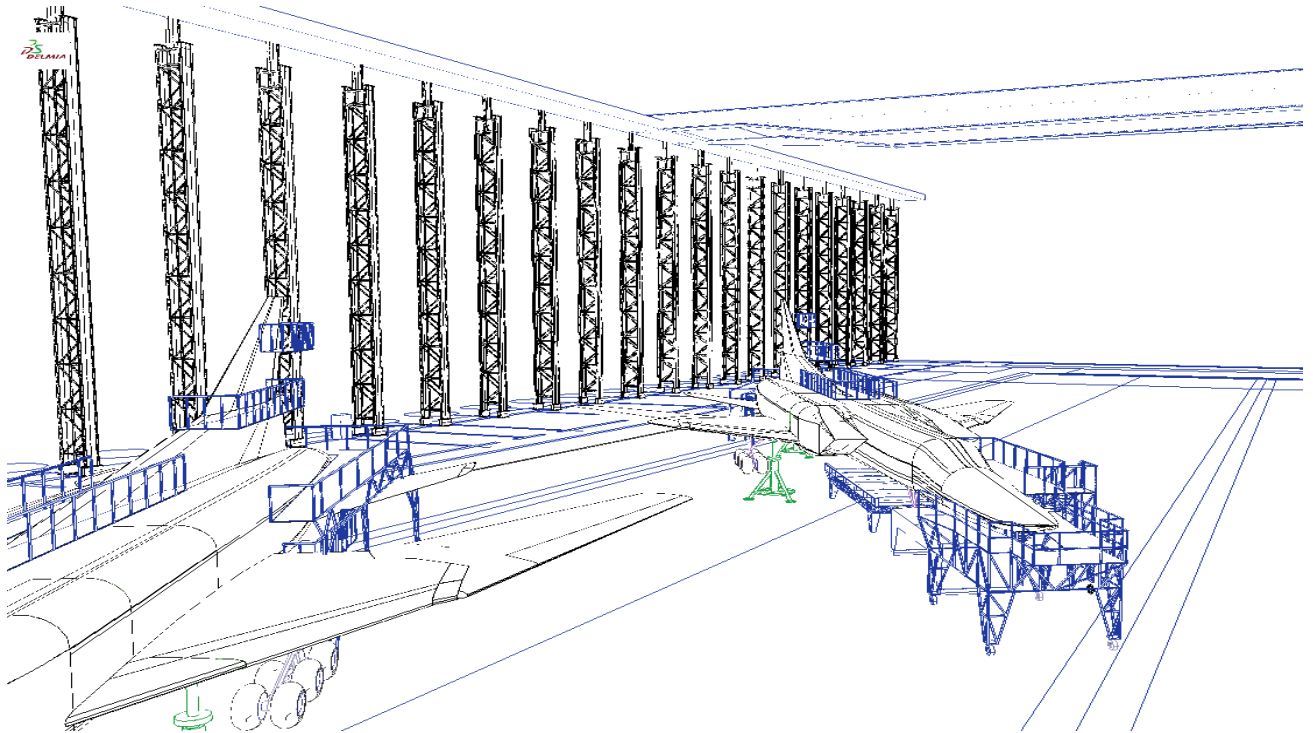


Рисунок 4.6.1 – Модель цеха ремонта и модернизации ЛА

Предметом исследования в анализируемой производственной системе были ограничения на производственные ресурсы (в первую очередь по количеству основных рабочих) в условиях непостоянства объема работ цеха над каждым экземпляром ремонтируемого самолета, обусловленного разными видами работ. В ходе ремонта самолетов выполняют два вида таких работ: ремонт с модернизацией и контрольно-восстановительный ремонт.

Показателями решения задачи II-го уровня в этом примере служили:

$$\begin{cases} N_{\text{программа выпуска}}^{P/M} \leq N_{\text{заданное}}^{P/M} \text{ изд./год,} \\ P_{OP} \rightarrow \min, \text{ чел.} \end{cases} \quad (4.6.1)$$

где $N_{\text{программа выпуска}}^{P/M}$ – годовая программа выпуска для каждого из видов ремонта (P – контрольно-восстановительный ремонт, M – ремонт и модернизация самолета);

$N_{\text{заданное}}^{P/M}$ – заданные значения программы выпуска по каждому из видов ремонта;

P_{OP} – количество основных рабочих.

В результате был получен диапазон требуемого количества ресурсов. Для оперативного управления ремонтными работами предложено использование системы оперативного управления производством (MES системы).

В результате экспериментов с разработанной конструкцией, предложены мероприятия для роста производительности ремонтных работ не менее чем на 30%. [12].

Выводы по задаче аудита ремонтного производства

1. Пример 4 демонстрирует возможность применения разработанных инструментов в том числе и для ремонтного производства.
2. Для одного и того же типа самолета, но разных экземпляров требуется собственная наследуемая конфигурация производственной системы.

4.7. Выводы по Главе 4. Основные результаты выполненных экспериментальных исследований

На основании выполненных экспериментальных исследований получены следующие результаты:

В1. Разработана методика проведения экспериментального исследования, основу которой составил процесс решения реальных задач повышения эффективности производственной деятельности предприятия.

Процесс состоит из трех групп процедур:

- Разработка конкретного (обособленного) представления конструкции «Изделие – Технология – Производство», соответствующего характеру решаемых задач;
- Решения исследовательских задач посредством выполнения имитационных экспериментов над разработанной конструкцией;
- Принятие решения по результатам выполненных экспериментов.

Исследовательские задачи классифицированы на два уровня. Цели решения задач I-го и II-го уровней заключаются в поиске путей повышения эффективности производственной деятельности предприятия за счет улучшения конструкторско-технологического совершенства изделия и улучшения сети процессов организации «Основное производство» предприятия соответственно. Наибольший эффект достигается при последовательном решении задач обоих уровней.

В2. Выполнен сравнительный анализ доступных на рынке программных продуктов для автоматизации решения задачи обеспечения заданного уровня эффективности производственной деятельности предприятия. Установлено, что ни один из проанализированных программных продуктов не пригоден для решения таких задач в полной мере.

Для выполнения экспериментальных исследований разработана программно-информационная система, предназначенная для последовательной реализации процедур: разработки RDF-графа конструкции «Изделие – Технология – Производство» и подготовки необходимых данных; ввода данных в систему; выполнения моделирования (статического/сетевоего и

динамического/имитационного) с конструкцией; интерпретации полученных материалов и составление отчетов.

В3. Оценен технический эффект от практического использования разработанных методик и моделей эффективной производственной деятельности предприятия.

Суть оценивания сведена к следующим положениям:

- Формируется представительная выборка задач, каждая из которых имеет ярко выраженное практическое значение;
- Для каждой из задач выборки использована альтернативная оценка результативности решения задачи с точки зрения удовлетворения/неудовлетворения запросов и ожиданий заказчиков задачи;
- Посредством совместного рассмотрения результатов решения всех задач выборки, получена оценка функциональности разработанных методик и моделей.

В4. Объектами экспериментального исследования были задачи, решенные по заказам различных предприятий. Выборка решенных задач была достаточно представительна с точки зрения охвата особенностей производственной деятельности предприятий.

Результаты решения каждой из задач всегда обеспечивали выдвигаемые заказчиками запросы и ожидания, а в ряде случаев и превосходили их. Поэтому был сделан вывод о высоком уровне работоспособности разработанных методик и моделей.

Совместный анализ решений задач выборки позволил сделать вывод о достаточном уровне функциональности разработанных методик и моделей с точки зрения увеличения эффективности производственной деятельности предприятия.

В5. Выполненные исследования доказывают, что наибольший эффект в повышении эффективности производственных систем обеспечивают именно рациональные конструкторско-технологические решения. Мероприятия организационно-технического характера для выбранного варианта

конструкторско-технологического решения призваны обеспечить обусловленный этим вариантом уровень эффективности производства (являющийся идеальным и на практике недостижимым), что подтверждает высказанную в работе гипотезу о наследовании: каждое КТР обуславливает собственную систему производства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге выполненного научного исследования производственной деятельности машиностроительных предприятий, охватывающей стадии «Разработка» и «Производство» жизненного цикла изделий, получен ряд научных и практических результатов, важных с точки зрения развития предприятий. Исследование выполнено на примере предприятий, производящих высокотехнологичную продукцию, прежде всего предприятий ракетно-космической промышленности и самолетостроительных предприятий.

Полученные результаты систематизированы в форме следующих положений.

31. Разработана конструкция системы «Изделие-Технология-Производство», которая обеспечивает интеграцию обслуживающих систем, используемых на стадиях «Разработка» и «Производство» жизненного цикла продукции. Роли элементов системы отведены обслуживающим системам: конструкторской и технологической подготовки производства, собственно производства продукции. Каждая из них обеспечивает получение наилучшего, исходя из собственных возможностей, результата. Качество результатов ограничено действиями пассивных ограничений (норм и правил реализации продукции системами видов деятельности).

Взаимодействия (совместное поведение) обслуживающих систем достигается посредством использования в разработанной системе полиструктурной модели реализации производственной деятельности. Полиструктура считается неравномерной, поскольку предусматривает установление приоритетов обслуживающих систем. Наивысший приоритет имеет конструкторская система, конструкторская подготовка производства. Любой из результатов этой системы подлежит валидации на предмет оценки возможности его использования в двух других обслуживающих системах.

По результатам валидации принимается решение, касающееся не только возможности и целесообразности валидируемого результата, но и совершенствования процессов каждой из участвующих в процедуре валидации

систем. Тем самым, общий результат системы «Изделие-Технология-Производство» обязательно будет компромиссным. Окончательно, достигнутый результат будет отвечать совокупности действующих ограничений активного характера.

32. Основу реализации производственной деятельности, реализуемой на пространстве системы «Конструкция-Технология-Производство» составила разработанная онтология производственной деятельности предприятия. Основу онтологии составили сущности, характерные для метода дискретного машиностроительного производства. Каждой сущности поставлен в соответствие конкретный объект. Между объектами посредством семантических связей установлены отношения классификации объектов и наследования присущих им свойств. Построены целесообразные для представления производственной деятельности специализации, обобщения и композиции (коллекции) объектов.

33. Онтология производственной деятельности использована для разработки агентной модели эффективной производственной деятельности. Выделены три основных и взаимодействующих агента такой деятельности: инновационный и операционный циклы деловой активности и организация «Основное производство» предприятия. Инновационный цикл обеспечивает развитие продукции предприятия и самого предприятия; операционный цикл – текущее функционирование предприятия. Организация «Основное производство» рассматривается как среда, в рамках которой реализуются любое из решений, принимаемых в пределах обоих циклов. Агенты взаимодействуют между собой в интересах достижения наилучшего совместного результата.

Управление инновационным циклом деловой активности заключается в обеспечении установленного уровня качества продукции при действии ограничений на производственное потребление (номенклатура, свойства и стоимость материалов и ресурсов, потребляемых в ходе изготовления продукции) и достигаемый при этом уровень добавленной стоимости. В ходе управления операционным циклом деловой активности обеспечивается рационализация обращения материалов и ресурсов во внутренней среде предприятия.

34. Предложены два варианта практической реализации процесса разработки конструкции «Изделие – Технология – Производство». Первый вариант предполагает разработку конструкции для производственной деятельности реально функционирующих предприятий. Второй вариант – это процесс разработки производственной системы параллельно с пошаговым уточнением представления производимого изделия.

35. Выполнены оценки технического эффекта от практического использования разработанных методик и моделей. В их основу положена практика решения реальных задач повышения эффективности производственной деятельности, выполненных по заказам предприятий ракетно-космической промышленности и самолетостроительных предприятий.

В ходе выполнения экспериментального исследования решены четыре задачи, охватывающие различные аспекты производственной деятельности. Во всех случаях получены результаты, которые в полной мере соответствовали запросам и ожиданиям заказчиков задач, а в ряде случаев, и превосходили их.

По результатам сравнительного анализа результатов решения задач сделаны выводы о достаточном для целей практического использования разработанных методик и моделей уровне их работоспособности и функциональности.

36. Перечисленные научные и практические результаты в совокупности свидетельствуют о достижении поставленной цели исследования – разработка методики конструкторско-технологического проектирования изделий, организации и управления системами их производства в условиях действия активных ограничений на выходные результаты деятельности предприятий ракетно-космической промышленности.

37. Возможным направлением дальнейшего развития выполненного исследования может служить разработка концептуальных и прагматических моделей других организаций предприятия в целях распространения разработанных методик и моделей на другие виды его деятельности.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- ВРУ – воздухоразделительная установка.
- ГССИ – граф сборочного состава изделия.
- Д – деталь.
- ДСЕ – детали, сборочные единицы.
- ЕСТПП – единая система технологической подготовки производства.
- ЖЦП – жизненный цикл продукции.
- З – заготовка.
- И-Т-П – система (конструкция) «Изделие-Технология-Производство».
- КИМ – коэффициент использования материала.
- КТР – конструкторско-технологическое решение.
- ЛА – летательные аппараты.
- М – материал.
- НТД – нормативно-техническая документация.
- ОТПП – организационно-техническая подготовка производства.
- ПКИ – покупные и комплектующие изделия.
- ПС – производственная система.
- СЕ – сборочная единица.
- СКР – серийные конструкторские работы.
- СРПП – Система Разработки и постановки Продукции на Производство.
- СТО – средства технологического оснащения.
- СТС – сложная техническая система.
- ТО – технологическое оборудование.
- ТОиР – техническое обслуживание и ремонт.
- ТПП – технологическая подготовка производства.
- ТСС – технологическая схема сборки.
- ВОМ – Bill Of Materials (список/спецификация материалов).

CAD – Computer-Aided Design, класс систем автоматизированного проектирования, в последнее время чаще всего под этим термином понимают системы геометрического моделирования [132].

CAPP – Computer-Aided Process Planning, класс систем автоматизированного планирования производственных процессов [132].

DELMIA – Digital Enterprise Lean Manufacturing Interactive Application – Виртуальное Предприятие, Бережливое Производство, Интерактивное Приложение, англ. бренд Dassault Systemes, используемый для обозначения семейства программного обеспечения для моделирования производства.

ERP – Enterprise Resource Planning – класс систем планирования (управления) ресурсами предприятия.

MES – Manufacturing Execution System, класс систем оперативного управления производством.

MRP – Material Resource Planner – технология / класс систем планирования материальных ресурсов предприятия.

PDM – Product Data Management, класс систем управления данными об изделии.

PERT – Program (Project) Evaluation and Review Technique, техника оценки и анализа программ (проектов), которая используется при управлении проектами.

PLM – Product Lifecycle Management, технология и класс систем для управление жизненным циклом продукта.

QUEST – Queue Unique Event Simulation Tool, программное обеспечение дискретно-событийного имитационного моделирования компании Deneb.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Васильев М. С., Кабанов А. А., Кулик Ю. П., Петров К. П., «Сетевые графики – инструмент исследования издержек производства,» в *Третья Научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Исследования и перспективные разработки в авиационной промышленности»: Статьи и материалы конференции*, Москва, 2005, с.453-458.
- [2] Кабанов А. А., «Имитационное моделирование в производстве авиационных, ракетных и космических систем,» в *11-я Международная конференция «Авиация и космонавтика – 2012» Тезисы докладов*, Москва, 2012, с.267.
- [3] Кабанов А. А., «Оценка эффективности функционирования производственной системы дискретного машиностроительного производства с применением методов сетевого и имитационного моделирования,» в *Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Материалы 14-го Международного научно-технического семинара*, Свалява, 2014, с.78-80.
- [4] Кабанов А. А., «Разработка комплексной информационной модели этапов материализации изделия и алгоритмов работы с ней в целях управления эффективностью производственных систем в ходе их организационно-технического проектирования и модернизации,» в *13-я Международная конференция «Авиация и космонавтика – 2014» Тезисы*, Москва, 2014, с.131-133.
- [5] Долгов В. А., Кабанов А. А., Андреев Н. С., Дацюк И. В., «Повышение эффективности разработки имитационных моделей при проектировании новых многономенклатурных машиностроительных цехов,» в *Седьмая всероссийская научно-практическая конференция "Имитационное моделирование. Теория и практика" (ИММОД-2015): Труды конф., 21-23 окт. 2015 г., Москва: в 2 т. / Ин-т проблем упр. им. В. А. Трапезникова Рос. акад. наук, т. 1, с. 73-79*, Москва, 2015.
- [6] Краснов А. В., Кабанов А. А., Долгов В. А., Кокова А. Ю., «Имитационное моделирование – инструмент повышения качества проектных решений,» *Информационно-аналитический журнал «Rational Enterprise Management (Рациональное управление предприятием)» для руководителей и IT-специалистов промышленных предприятий, научных и проектных организаций*, № 3, 2012, с.30-31.
- [7] Боровлев А. Д. Кабанов А. А., «Анализ пропускной способности производственных систем машиностроительных предприятий с

использованием DELMIA,» в *3DEXPERIENCE Customer FORUM*
<http://www.3ds.com/fileadmin/EVENTS/3DEXPERIENCE-Customer-FORUMS/RUSSIA/Hetnet.pdf>, Москва, 2013.

- [8] Долгов В. А., Кабанов А. А., Андреев Н. С., «Повышение эффективности проектирования производственных систем многономенклатурных машиностроительных предприятий путем математического моделирования материальных потоков,» *Металлообработка и станкостроение*, № 10, 2014, с.11-12.
- [9] Кабанов А. А., «Имитационное моделирование в производстве авиационных и ракетно-космических систем. Что предшествует эксперименту?,» *Электронный журнал «Труды МАИ»*, № 65, 2013, с.1-10
<http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=35910>.
- [10] Кабанов А. А., «Объектная модель анализа изделий ЛА с учетом явления наследования для оценки и управления эффективностью производственных систем дискретного машиностроения в ходе их организационно-технического проектирования и модернизации,» *Научно-технический вестник Поволжья*, № 6, 2014, с.161-168.
- [11] Долгов В. А., Кабанов А. А., Андреев Н. С., Дацюк И. В., «Формирование информационной модели производственной системы процесса изготовления изделия для оценки ее эффективности,» *Вестник МГТУ «СТАНКИН»*, № 4, 2014, с.191-195.
- [12] Долгов В. А., Попов Э. В., Кабанов А. А., Тимерханова Э. Р., «Повышение эффективности ремонта и модернизации летательных аппаратов на «ОАО «Туполев» путем разработки гибкой информационной модели производственно-технологических решений,» *Сборка в машиностроении, приборостроении*, № 2, 2015, с.3-8.
- [13] Кабанов А. А., «Проектирование изделий с учетом организационно-технических возможностей дискретного машиностроительного производства,» *Электронный журнал «Труды МАИ»*, № 80, 2015, с.1-20,
<http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=56902>.
- [14] Григорьев С. Н., Краснов А. В., Долгов В. А., Кабанов А. А., Андреев Н. С., «Метод технологического аудита проектов технического перевооружения авиационных предприятий,» *Изв.вузов. Авиационная Техника, изд-во КАИ*, № 2, 2015, с.103-108.
- [15] Долгов В. А., Кабанов А. А., Андреев Н. С. , «Методика аудита производственно-логистических систем в проектах технического

переворужения машиностроительных предприятий,» в *Юбилейная Международная конференция "Инновационные технологии в логистике и управлении цепями поставок" // Инновационные технологии в логистике и управлении цепями поставок: Сборник научных статей*, Москва, 2015.

- [16] Кулик Ю. П., Кабанов А. А., «Описание демонстрационного примера и результатов моделирования производственных потоков: научно-исследовательский отчет по опытно-конструкторской работе,» ОАО «Концерн ПВО «Алмаз-Антей», Москва, 2012, 148 с..
- [17] Мельников Г. Н., Вороненко В. П., Проектирование механосборочных цехов; Учебник для студентов машиностроит.специальностей ВУЗОВ / Под ред. А. М. Дальского, Москва: Машиностроение, 1990, 352 с., ил.
- [18] Айзенберг Б. И., Зельдис М. Е., Казарновский Ю. Л. и др., Проектирование машиностроительных заводов и цехов: Справочник в 6 т., Москва: Машиностроение, 1975.
- [19] Вумек Дж., Джонс Д., Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания Вашей компании, Москва: Альпина Бизнес Букс, 2008.
- [20] Детмер У., Теория ограничений Голдратта. Системный подход к непрерывному совершенствованию. Пер с англ., Москва: Альпина Паблишер, 2010, 448 с., ил.
- [21] Синго С., Изучение производственной системы Тойоты с точки зрения организации производства / Пер. с англ, Москва: Институт комплексных стратегических исследований, 2006, 312 с., ил.
- [22] Бирбраер Р. А., Альтшулер И. Г., Основы инженерного консалтинга: Технология, экономика, организация, 2-е доп-е ред., Москва: Дело, 2007, 232 с. ил.
- [23] Бир С., Кибернетика и управление производством, Москва: Физматгиз, 1965, 392 с. ил..
- [24] Питер Стасинопулос, Майкл Х. Смит, Карлсон «Чарли» Харгроувс, Черил Деша, Проектирование систем как единого целого. Интегральный подход к инжинирингу для устойчивого развития, Москва: Эксмо, 2012.
- [25] Левенчук А., Системноинженерное мышление, Москва: TechInvestLab, 2014.

- [26] Ваксман А.А. и др., Терминология Системы разработки и постановки продукции на производство: Справочник, Москва: Издательство стандартов, 1983.
- [27] *ГОСТ Р ИСО 9000-2008 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.*
- [28] *ГОСТ Р ИСО 10303-1-99 Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 1. Общие представления и основополагающие принципы.*
- [29] *ГОСТ Р ИСО 9004-2010 Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества.*
- [30] *ГОСТ Р 53394-2009 Интегрированная логистическая поддержка. Основные термины и определения.*
- [31] Леон Р., Шумейкер А., Какар Р., Кац Л., Фадка М., Тагути Г., Спини Д., Грико М., Лин К., Назарет У., Клиндер У., Нэйр В., Дехнад К., Прегибон Д., Управление качеством. Робастное проектирование. Метод Тагути. Пер с англ., Москва: Сейфи, 2002, 381 с.
- [32] Минцберг Г., Структура в кулаке: создание эффективной организации, Санкт-Петербург: Питер, 2011.
- [33] Буч Г., Рамбо Д., Якобсон И., Введение в UML от создателей языка. 2-е изд., Москва: ДМК Пресс, 2001.
- [34] Джонс Дж. К., Методы проектирования, Москва: Мир, 1986.
- [35] Борисов В.И. , Общая методология конструирования машин, Москва: Машиностроение, 1986.
- [36] Диксон Д., Проектирование систем: изобретательство, анализ, принятие решений, Москва: Мир, 1969.
- [37] Добровольский В. И., Эрлих Л. Б., Основные принципы конструирования современных машин, Москва: Машгиз, 1956.
- [38] Капустян В. И., Махотенко Ю. А. , Конструктору о конструировании атомной техники. Системно-морфологический подход в конструировании, Москва: Атомиздат, 1981.
- [39] Орлов П. И. , Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. Кн.1,2, Москва: Машиностроение, 1977.

- [40] Сидоров А. И. , Основные принципы конструирования и проектирования машин, Москва: МАКИЗ, 1929.
- [41] Ханзен Ф. , Основы общей методики конструирования. Пер. с нем., Москва: Машиностроение, 1978.
- [42] Миндлин Я. З., Логика конструирования, Москва: Машиностроение, 1969.
- [43] Чернов Л. Б. , Основы методологии проектирования машин: Учебное пособие для вузов, Машиностроение, 1978.
- [44] Амиров Ю. Д. , Основы конструирования: Творчество – Стандартизация – Экономика: Справочное пособие, Москва: Издательство стандартов, 1991.
- [45] Половинкин А. И. , Основы инженерного творчества: Учеб. Пособие для студентов втузов, Москва: Машиностроение, 1988.
- [46] Колесов И. М. , Основы технологии машиностроения: Учеб. Для машиностроит. Спец. Вузов, Москва: Высшая Школа, 2001.
- [47] Базров Б. М., Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов, Москва: Машиностроение, 2005.
- [48] Абибов А. Л. и др., Технология самолетостроения: Учеб. Для вузов, Москва: Машиностроение, 1982.
- [49] Горбунов М. Н., Основы технологии производства самолетов, Москва: Машиностроение, 1976.
- [50] Сейфи Т. Ф., Бакев В. И. , Система КАНАРСПИ: слагаемые высокого качества в самолетостроении, Москва: Машиностроение, 1973.
- [51] Чударев П. Ф. , Методологические основы технологии: Учеб. Пособие, Москва: МАИ, 1967.
- [52] *ГОСТ 2.101-68* Единая система конструкторской документации. Виды изделий.*
- [53] *ГОСТ 14.205-83 Технологичность конструкции изделия. Термины и определения.*
- [54] *Единая система технологической подготовки производства. Сборник стандартов*, Москва: Издательство стандартов, 1975.
- [55] Бойцов В. В., Научные основы комплексной стандартизации технологической подготовки производства, Москва: Машиностроение, 1982.

- [56] *ГОСТ 14.004-83 Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий.*
- [57] *Единая система конструкторской подготовки производства. Сборник стандартов*, Москва: Издательство стандартов, 1975.
- [58] Кононенко В. Г. и др., *Оценка технологичности и унификации машин*, Машиностроение, 1986.
- [59] под ред. В. В. Бойцова, *Рекомендации по технологичности самолетных конструкций*, Москва: Издательство оборонной промышленности, 1959.
- [60] Шекунов Е. П., *Основы технологического членения конструкции самолета*, Москва: Машиностроение, 1968.
- [61] Беляков И. Т., Борисов Ю. Д., *Технологические проблемы проектирования летательных аппаратов*, Москва: Машиностроение, 1978.
- [62] Елагин С. И., *Конспект лекций по курсу «Теоретические вопросы технологичности конструкций летательных аппаратов»*, Москва: МАИ, 1980.
- [63] Половинкин А. И., *Автоматизация поискового конструирования*, Москва: Радио и связь, 1981.
- [64] Вавилов А. А., *Имитационное моделирование производственных систем*, Москва: Машиностроение, 1983, 416 с., ил.
- [65] Долматов М. А., Плотников А. М., Федотов Д. О., «Пятая научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности конференции Имитационное моделирование: теория и практика ИММОД-2011,» в *Применение методов имитационного моделирования при разработке оргтехпроектов модернизации и реконструкции предприятий судостроительной отрасли*, Санкт-Петербург, 2011.
- [66] *Dassault Systemes, DELMIA Process Engineer, 2010.*
- [67] *Teamcenter® для поддержки процессов технологической подготовки производства. Введение в Teamcenter Manufacturing, Gmbh, Germany: Siemens Product Lifecycle Management Software Inc., 2009.*
- [68] под ред. Амирова Ю. Д., *Технологичность конструкции изделия. Справочник*, Москва: Машиностроение, 1990.
- [69] Ефименко И.В., Хорошевский В.Ф. , *Онтологическое моделирование экономики предприятий и отраслей современной России: Часть 1.*

Онтологическое моделирование: подходы, модели, методы, средства, решения: препринт WP7, ч.1, Москва: Изд. дом Высшей школы экономики, 2011, 76 с..

- [70] Гурьянова М.А., Ефименко И.В., Хорошевский В.Ф., *Онтологическое моделирование экономики предприятий и отраслей современной России: Часть 2. Мировые исследования и разработки: аналитический обзор: препринт WP7, ч.2*, Москва: Изд. дом Высшей школы экономики, 2011, 88 с.
- [71] Ефименко И. В., *Онтологическое моделирование экономики предприятий и отраслей современной России: Часть 3. Российские исследования и разработки в области онтологического инжиниринга и бизнес-онтологий: препринт WP7, ч.3*, Москва: Изд. Дом Высшей школы экономики, 2011, 68 с.
- [72] Лапшин В.А., *Онтологии в компьютерных системах*, Москва: Научный мир, 2012.
- [73] Буч Г., *Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений*, 3-е изд.: Пер. с англ. ред., Москва: ООО "И.Д. Вильямс", 2008, 720 с., ил.
- [74] Варнеке Х. , *Расчет затрат для инженеров*. Пер с нем., Москва: Альпина Бизнес Букс, 2008.
- [75] Хорнгрен Ч. и др. , *Управленческий учет*, 10-е изд. /Пер. с англ., Санкт-Петербург: Питер, 2007.
- [76] *MIL-STD-337 Military Standard. Design to cost.*
- [77] Краснощеков П.С. и др. , *Информатика и проектирование*, Москва: Знание, 1986.
- [78] Кулик Ю. П. , *Учебно-методический комплекс «Нормативно – техническая документация жизненного цикла изделий Ракетно–Космической Техники (РКТ) и Боевых Ракет (БР)»*, Москва: РУНИКАП, 2012.
- [79] Дальский А. М., Базров Б. М., Васильев А. С. и др, *Технологическая наследственность в машиностроительном производстве*, Д. А. М., Ред., Москва: МАИ, 2000.
- [80] *ГОСТ Р 50995.0.1-96 Технологическое обеспечение создания продукции. Основные положения.*

- [81] *ГОСТ Р 50995.3.1-96 Технологическое обеспечение продукции. Технологическая подготовка производства.*
- [82] *APICS Dictionary. Twelfth Edition, 2008.*
- [83] *Encyclopedia of production and manufacturing management, Kluwe Academic Publishers, 2000.*
- [84] *ГОСТ Р МЭК 61160-2006 Менеджмент риска. Формальный анализ проекта.*
- [85] Обэр-Крис Дж., Управление предприятием, Москва: Сирин: Агенство «Бизнес-Информ», 1997.
- [86] *Понятия и идеи институциональной экономики, вып. 1 и 2, Москва: ГАУ, 1999.*
- [87] Коуз Р. Г., Природа фирмы. В сб. Природа фирмы: Пер. с англ., Москва: Дело, 2001.
- [88] Мильнер Б. З., Теория организации: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп., Москва: ИНФРА-М, 2000, 480 с.
- [89] *ГОСТ Р ИСО 15704-2008 Промышленные автоматизированные системы. Требования к стандартным архитектурам и методологиям предприятия.*
- [90] *ГОСТ Р ИСО 19439-2008 Интеграция предприятий. Основа моделирования предприятия.*
- [91] «Отчет по НИР «Анализ процесса конструкторско-технологической подготовки производства продукции на новом Машино-строительном заводе ОАО «Концерн ПВО «Алмаз – Антей» в г. Нижний Новгород,» МАИ, Москва, 2013.
- [92] Каплан Р. С., Нортон Д. П., Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию, Москва: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2006.
- [93] *Managing The Defense Life Cycle. The NATO CALS. Through Life Business Model (TLBH), v. 6.0, 1998.*
- [94] *ГОСТ Р ИСО 10303-239-2008 Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 239. Прикладные протоколы. Поддержка жизненного цикла изделия.*
- [95] Семененко А. И. , Сергеев В. И. , Логистика. Основы теории: Учебник для вузов, Санкт-Петербург: Издательство «Союз», 2011.

- [96] Слайк Н., Чемберс С., Джонстон Р., Организация, планирование и проектирование производства, Москва: ИНФРА-М, 2011.
- [97] Негодаев А. А., Философия техники: Учебное пособие, Ростов-на-Дону: Центр ДГГУ, 1997.
- [98] Engineer Concil for Professional Development, New York, 1947.
- [99] Котарбинский Т., Трактат о хорошей работе пер. с польского, Москва: Экономика, 1975.
- [100] Щедровицкий Г. П., Избранные труды, Москва: Шк.Куль.Полит., 1995.
- [101] Щедровицкий Г. П., Философия. Наука. Методология, Москва: Шк.Куль.Полит., 1997.
- [102] Моисеев Н. Н., Математические задачи системного анализа, Москва: Главная редакция физико-математической литературы, 1981.
- [103] Клейнер Г. Б. , Производственные функции: Теория, методы, применение, Москва: Финансы и статистика, 1986.
- [104] *ГОСТ Р ИСО 15531-32-2010 Системы промышленной интеграции. Управляющая информация промышленным производством. Управление использованием ресурсов. Часть 32. Концептуальная модель данных для управления использованием ресурсов.*
- [105] Грэхем И., Объектно-ориентированные методы. Принципы и практика, Москва: ООО "И.Д. Вильямс", 2006.
- [106] *ГОСТ Р 54136-2010 Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Руководство по применению стандартов, структура и словарь.*
- [107] *ISO 10303-224:1999 Industrial automation systems and inegration - Product data representation and exchange: 224, Application protocol: Technical datd packaging information and exchange.*
- [108] *ГОСТ Р 34.1501.1-92 Информационная технология. Промышленная автоматизация. Основное производство. Часть 1. Эталонная модель стандартизации и методология идентификации.*
- [109] Киселев Г. А., Перенастраиваемые технологические процессы в машиностроении, Москва: Издательство стандартов, 1980.

- [110] *ГОСТ 27.004-85 Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения.*
- [111] *ГОСТ 27.202-83 Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготовления продукции.*
- [112] *ГОСТ 27.203-83 Надежность в технике. Технологические системы. Общие требования к методам оценки надежности.*
- [113] *ГОСТ Р 51901-2002 Управление надежностью. Анализ риска технологических систем.*
- [114] Кузнецов М. М. и др. , Проектирование автоматизированного производственного оборудования, Москва: Машиностроение, 1987.
- [115] *Единая система технологической документации: Справочное пособие,* Москва: Издательство стандартов, 1992.
- [116] *ГОСТ 3.1109-82 Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий.*
- [117] Сток Дж. Р., Ламберт Д. М., Стратегическое управление логистикой: пер. с 4-го англ. изд., Москва: Инфра-М, 2005.
- [118] Уотерс Д., Логистика. Управление цепью поставок: пер. с англ., Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2003.
- [119] *Классификатор технологических операций машиностроения и приборостроения. 1 85 151,* Москва: Издательство стандартов, 1987.
- [120] *ГОСТ 14.312-74 ЕСТПП. Основные формы организации технологических процессов,* 1974.
- [121] «Institute for Defense Analyses. Emerging Global Trends in Advanced Manufacturing. St.S. Shipp et al. IDA Paper P-4603,» 2012.
- [122] *ГОСТ Р ИСО 43.2.1-2007 Информационное обеспечение техники и операторской деятельности. Язык операторской деятельности. Общие положения.*
- [123] Каталевский Д. Ю. , Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: Учебное пособие, Москва: Издательство Московского университета, 2011.

- [124] «Latest “RDF Concepts and Abstract Syntax” versions,» [В Интернете]. Available: <http://www.w3.org/TR/rdf-concepts/>. [Дата обращения: январь 2015].
- [125] *ГОСТ Р ИСО 19440-2010 Интеграция предприятий. Конструкции для моделирования предприятий.*
- [126] Новиков В. П., Основы технологии сборки машин и механизмов, 5-е изд., испр. ред., Москва: Машиностроение, 1980, 592 с., ил.
- [127] Лушин С. В., «Концепция бережливого цикла жизненного цикла сложных технических систем,» ОАО «Концерн ПВО «Алмаз-Антей», Москва, 2014, 53 с..
- [128] Borshcev A., Filippov A., «From System Dynamic and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Technicues, Tools,» в *Proceedings of the 22nd International Conference of the System Dynamics Society*, Oxford, England, 2004.
- [129] Борщев А. В., «Как строить простые, красивые и полезные модели сложных систем,» в *Третья всероссийская научно-практическая конференция "Имитационное моделирование. Теория и практика" (ИММОД-2013): Труды конф., с. 21-34*, Санкт-Петербург, 2013.
- [130] PMBOK Fourth Edition, 2008.
- [131] Проектный менеджмент: Учебно-консультационный курс, Москва: ГУ «МИВТ-Центр» Лаборатория Базовых Знаний, 2007, 287 с., ил.
- [132] «Электронная энциклопедия PLM / Категория: Термины и понятия, CIMdata, ERP, PLM, САПР,» [В Интернете]. Available: <http://plmpedia.ru>. [Дата обращения: январь 2015].

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Декомпозиция процесса изготовления компонента «Шпангоут»

Декомпозиция процесса изготовления компонента в варианте КТР2 в соответствии с технологическим процессом изготовления приведена в таблице П1.

Таблица П.1 – Декомпозиция процесса изготовления шпангоута в варианте КТР2 в соответствии с технологическим процессом изготовления

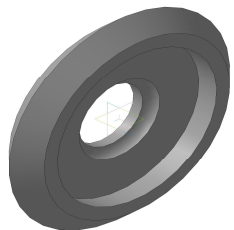
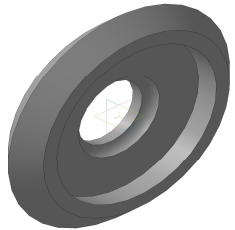
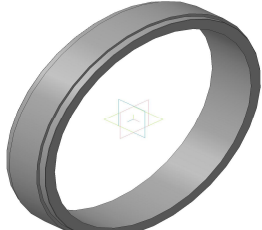







№ п/п	1	2	3	4	5
Наименование операции/комплекса	Комплектование	Термообработка	Токарный	Фрезерная	Слесарная
Номер операции/комплекса	10	20	40-55	60	70
Эскиз					
Оборудование	Верстак	Электродуговая печь СШ-3-10.20/12	Токарно-винторезный 1М63	Универсально-фрезерный ОФ-55	Верстак
Время технол., мин	1	19,52	347,1	37	0,26
№ п/п	6	7	8	9	10
Наименование операции/комплекса	Фрезерная с ЧПУ	Слесарная	Токарный	Слесарная	Фрезерная с ЧПУ
Номер операции/комплекса	90	110	120-130	140	150
Эскиз					
Оборудование	Фрезерный с ЧПУ ФП-27Р3	Верстак	Токарно-винторезный 1М63	Верстак	Фрезерный с ЧПУ ФП-27Р3
Время технол., мин	213,2	8	220,8	6,2	278,9

Таблица П.1 – Декомпозиция процесса изготовления шпангоута в варианте КТР2 (продолжение)



















№ п/п	11	12	13	14	15
Наименование операции/комплекса	Слесарная	Токарный	Фрезерная	Слесарная	Сверлильная
Номер операции/комплекса	160	170-190	200	210	220
Эскиз					
Оборудование	Верстак	Токарно-винторезный 1М63	Горизонтально-фрезерный 6Р82	Верстак	Вертикально-сверлильный 2Н125
Время технол., мин	5	372,8	35,2	5	10,75
№ п/п	16	17	18	19	20
Наименование операции/комплекса	Слесарная	Фрезерная	Слесарная	Фрезерная	Слесарная
Номер операции/комплекса	230	240	245	250	255
Эскиз					
Оборудование	Верстак	Вертикально-фрезерный 6Р12	Верстак	Вертикально-фрезерный 6Р12	Верстак
Время технол., мин	5	35,7	12,5	95,8	2,5

Таблица П.1 – Декомпозиция процесса изготовления шпангоута в варианте КТР2 (продолжение)

№ п/п	21	22	23	24	25
Наименование операции/комплекса	Фрезерная	Слесарная	Слесарная	Фрезерная	Слесарная
Номер операции/комплекса	260	270	275	280	290
Эскиз					
Оборудование	Вертикально-фрезерный 6P12	Верстак	Ленточно-зачистной ЭЗ-159М	Универсально-фрезерный ОФ-55	Верстак
Время технол., мин	1,48	19,7	12	32,2	11,8
№ п/п	26	27			
Наименование операции/комплекса	Промывочная	Контрольная			
Номер операции/комплекса	300	310			
Эскиз					
Оборудование	Линия травления и промывки	Стол контрольный			
Время технол., мин	4,5	17			

2. Результаты расчета параметров изготовления компонента «Шпангоут»

Результаты расчета параметров изготовления компонента «Шпангоут» для определения стоимости реализации КТР2, n=10 шт. приведены в таблице П2.

Таблица П.2 – Результаты расчета параметров изготовления компонента «Шпангоут» для определения стоимости реализации КТР2, n=10 шт.

№ п/п	Наименование операции	Оборудование	Время, ч.		Загрузка РМ, %	Стоимость простоя оборудования, руб./год	Стоимость работы оборудования, руб./на программу выпуска	Стоимость работы рабочего, руб./на программу выпуска	Стоимость простоя рабочего, руб./год	Занимаемая площадь РМ, м ²	Потери от неиспользования площади р/год
			Простой РМ	В работе РМ							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Комплектовочная	Верстак	1998,3	1,7	0,1	51 552 р.	1 700 р.	425 р.	42 960 р.	3	12 888 р.
2	Термообработка	СПЗ-10.20/12 (Электропечь)	1880	120	6,0	48 381 р.	120 000 р.	30 000 р.	40 317 р.	3	12 095 р.
3	Токарная	1М63 (токарно-винторезный)	1905,3	94,6	4,7	49 059 р.	94 667 р.	23 667 р.	40 882 р.	3	12 265 р.
4	Токарная	1М63 (токарно-винторезный)	1905,3	94,6	4,7	49 059 р.	94 667 р.	23 667 р.	40 882 р.	3	12 265 р.
5	Токарная	1М63 (токарно-винторезный)	1717,3	282,6	14,1	44 045 р.	282 667 р.	70 667 р.	36 704 р.	3	11 011 р.
6	Фрезерная	ОФ-55 (Универсально-фрезерный)	1941,3	58,6	2,9	50 023 р.	58 667 р.	14 667 р.	41 686 р.	3	12 506 р.
7	Слесарная	Верстак	1991,6	8,3	0,4	51 374 р.	8 333 р.	2 083 р.	42 812 р.	3	12 844 р.
8	Фрезерная	ФП-27РЗ (Фрезерный с ЧПУ)	1940,5	59,5	3,0	50 001 р.	59 500 р.	14 875 р.	41 667 р.	3	12 500 р.
9	Слесарная	Верстак	1991,6	8,3	0,4	51 374 р.	8 333 р.	2 083 р.	42 812 р.	3	12 844 р.
10	Токарная	1М63 (токарно-винторезный)	1850,6	149,3	7,5	47 597 р.	149 333 р.	37 333 р.	39 664 р.	3	11 899 р.
11	Токарная	1М63 (токарно-винторезный)	1745,5	254,5	12,7	44 793 р.	254 500 р.	63 625 р.	37 328 р.	3	11 198 р.
12	Слесарная	Верстак	1979,1	20,8	1,0	51 038 р.	20 833 р.	5 208 р.	42 532 р.	3	12 760 р.
13	Фрезерная	ФП-27РЗ (Фрезерный с ЧПУ)	1840,3	159,6	8,0	47 321 р.	159 667 р.	39 917 р.	39 434 р.	3	11 830 р.
14	Слесарная	Верстак	1967,1	32,8	1,6	50 716 р.	32 833 р.	8 208 р.	42 264 р.	3	12 679 р.
15	Токарная	1М63 (токарно-винторезный)	1781,3	218,6	10,9	45 747 р.	218 667 р.	54 667 р.	38 123 р.	3	11 437 р.
16	Токарная	1М63 (токарно-винторезный)	1894,6	105,3	5,3	48 773 р.	105 333 р.	26 333 р.	40 644 р.	3	12 193 р.

Таблица П.2 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17	Токарная	1М63 (токарно-винторезный)	1912	88	4,4	49 237 р.	88 000 р.	22 000 р.	41 031 р.	3	12 309 р.
18	Токарная	1М63 (токарно-винторезный)	1720	280	14,0	44 116 р.	280 000 р.	70 000 р.	36 763 р.	3	11 029 р.
19	Фрезерная	6Р82 (Горизонтально-фрезерный)	1997,5	2,4	0,1	51 532 р.	2 467 р.	617 р.	42 943 р.	3	12 883 р.
20	Слесарная	Верстак	1980	20	1,0	51 061 р.	20 000 р.	5 000 р.	42 551 р.	3	12 765 р.
21	Сверлильная	2Н125 (Вертикально-сверлильный)	1982	17,9	0,9	51 117 р.	17 917 р.	4 479 р.	42 597 р.	3	12 844 р.
22	Слесарная	Верстак	1980,3	19,6	1,0	51 070 р.	19 667 р.	4 917 р.	42 558 р.	3	12 767 р.
23	Фрезерная	6Р12 (Вертикально-фрезерный)	1946,3	53,6	2,7	50 157 р.	53 667 р.	13 417 р.	41 798 р.	3	12 539 р.
24	Слесарная	Верстак	1989,6	10,3	0,5	51 320 р.	10 333 р.	2 583 р.	42 767 р.	3	12 830 р.
25	Фрезерная	6Р12 (Вертикально-фрезерный)	1535,1	464,8	23,2	39 223 р.	464 833 р.	116 208 р.	32 686 р.	3	9 806 р.
26	Комплектовочная	Верстак	1995,8	4,1	0,2	51 486 р.	4 167 р.	1 042 р.	42 905 р.	3	12 872 р.
27	Фрезерная	6Р12 (Вертикально-фрезерный)	1938,3	61,6	3,1	49 943 р.	61 667 р.	15 417 р.	41 619 р.	3	12 486 р.
28	Слесарная	Верстак	1991,6	8,3	0,4	51 374 р.	8 333 р.	2 083 р.	42 812 р.	3	12 844 р.
29	Слесарная	Верстак	1986,6	13,3	0,7	51 240 р.	13 333 р.	3 333 р.	42 700 р.	3	12 810 р.
30	Фрезерная	ОФ-55 (Универсально-фрезерный)	1644,6	355,3	17,8	42 117 р.	355 333 р.	88 833 р.	35 098 р.	3	10 529 р.
31	Слесарная	Верстак	1986,6	13,3	0,7	51 240 р.	13 333 р.	3 333 р.	42 700 р.	3	12 810 р.
32	Промывочная	Линия травления и промывки	1999,2	0,75	0,0	51 578 р.	750 р.	188 р.	42 982 р.	3	12 894 р.
33	Контрольная	Стол контрольный	1971,6	28,3	1,4	50 837 р.	28 333 р.	7 083 р.	42 364 р.	3	12 709 р.
Итого на программу выпуска (100 шт.):						1 619 051 р.	3 111 833 р.	777 958 р.	1 349 584 р.	99	404 875 р.

3. Результаты расчетов времени пролеживания и стоимости незавершенного производства партии компонентов «Шпангоут»

Данные о времени пролеживания и стоимости незавершенного производства партии компонентов «Шпангоут» для варианта КТР2 приведены в таблице ПЗ.

Таблица П.3 – Время пролеживания и стоимость незавершенного производства компонентов «Шпангоут» на программу выпуска. КТР2. Размер партии n=10 шт.

№ детали из партии	Пролеживание, в часах	Пролеживание в сменах	Такт выпуска, ч	Стоимость незавершенного производства	Потери от пролеживания незавершенного производства
1	2	3	4	5	6
1	266,7	33,3	0,0	46 415 р.	508 р.
2	267,0	33,4	0,3	46 416 р.	508 р.
3	267,3	33,4	0,3	46 416 р.	509 р.
4	267,6	33,4	0,3	46 417 р.	510 р.
5	267,9	33,5	0,3	46 417 р.	510 р.
6	268,1	33,5	0,3	46 418 р.	511 р.
7	268,4	33,6	0,3	46 418 р.	511 р.
8	268,7	33,6	0,3	46 419 р.	512 р.
9	269,0	33,6	0,3	46 419 р.	512 р.
10	269,3	33,7	0,3	46 420 р.	513 р.
11	313,2	39,2	43,9	46 504 р.	597 р.
12	313,5	39,2	0,3	46 505 р.	598 р.
13	313,8	39,2	0,3	46 505 р.	598 р.
14	314,1	39,3	0,3	46 506 р.	599 р.
15	314,3	39,3	0,3	46 506 р.	599 р.
16	314,6	39,3	0,3	46 507 р.	600 р.
17	314,9	39,4	0,3	46 507 р.	600 р.
18	315,2	39,4	0,3	46 508 р.	601 р.
19	315,5	39,4	0,3	46 509 р.	601 р.
20	315,8	39,5	0,3	46 509 р.	602 р.
21	359,7	45,0	43,9	46 593 р.	686 р.
22	360,0	45,0	0,3	46 594 р.	687 р.
23	360,3	45,0	0,3	46 595 р.	687 р.
24	360,5	45,1	0,3	46 595 р.	688 р.
25	360,8	45,1	0,3	46 596 р.	688 р.
26	361,1	45,1	0,3	46 596 р.	689 р.
27	361,4	45,2	0,3	46 597 р.	689 р.
28	361,7	45,2	0,3	46 597 р.	690 р.
29	362,0	45,2	0,3	46 598 р.	691 р.
30	362,2	45,3	0,3	46 598 р.	691 р.
31	406,2	50,8	43,9	46 683 р.	776 р.
32	406,5	50,8	0,3	46 683 р.	776 р.
33	406,7	50,8	0,3	46 684 р.	777 р.
34	407,0	50,9	0,3	46 684 р.	777 р.
35	407,3	50,9	0,3	46 685 р.	778 р.
36	407,6	50,9	0,3	46 686 р.	778 р.
37	407,9	51,0	0,3	46 686 р.	779 р.
38	408,2	51,0	0,3	46 687 р.	779 р.
39	408,4	51,1	0,3	46 687 р.	780 р.
40	408,7	51,1	0,3	46 688 р.	781 р.
41	452,7	56,6	43,9	46 772 р.	865 р.
42	452,9	56,6	0,3	46 773 р.	866 р.
43	453,2	56,7	0,3	46 774 р.	866 р.
44	453,5	56,7	0,3	46 774 р.	867 р.
45	453,8	56,7	0,3	46 775 р.	867 р.
46	454,1	56,8	0,3	46 775 р.	868 р.
47	454,4	56,8	0,3	46 776 р.	869 р.
48	454,6	56,8	0,3	46 776 р.	869 р.
49	454,9	56,9	0,3	46 777 р.	870 р.
50	455,2	56,9	0,3	46 777 р.	870 р.
51	499,1	62,4	43,9	46 862 р.	955 р.

Таблица П.3 (продолжение)

1	2	3	4	5	6
52	499,4	62,4	0,3	46 863 р.	956 р.
53	499,7	62,5	0,3	46 863 р.	956 р.
54	500,0	62,5	0,3	46 864 р.	957 р.
55	500,3	62,5	0,3	46 864 р.	957 р.
56	500,6	62,6	0,3	46 865 р.	958 р.
57	500,8	62,6	0,3	46 865 р.	958 р.
58	501,1	62,6	0,3	46 866 р.	959 р.
59	501,4	62,7	0,3	46 867 р.	959 р.
60	501,7	62,7	0,3	46 867 р.	960 р.
61	545,6	68,2	43,9	46 952 р.	1 045 р.
62	545,9	68,2	0,3	46 953 р.	1 045 р.
63	546,2	68,3	0,3	46 953 р.	1 046 р.
64	546,5	68,3	0,3	46 954 р.	1 047 р.
65	546,8	68,3	0,3	46 954 р.	1 047 р.
66	547,0	68,4	0,3	46 955 р.	1 048 р.
67	547,3	68,4	0,3	46 955 р.	1 048 р.
68	547,6	68,5	0,3	46 956 р.	1 049 р.
69	547,9	68,5	0,3	46 957 р.	1 049 р.
70	548,2	68,5	0,3	46 957 р.	1 050 р.
71	592,1	74,0	43,9	47 042 р.	1 135 р.
72	592,4	74,0	0,3	47 043 р.	1 136 р.
73	592,7	74,1	0,3	47 043 р.	1 136 р.
74	593,0	74,1	0,3	47 044 р.	1 137 р.
75	593,2	74,2	0,3	47 044 р.	1 137 р.
76	593,5	74,2	0,3	47 045 р.	1 138 р.
77	593,8	74,2	0,3	47 046 р.	1 138 р.
78	594,1	74,3	0,3	47 046 р.	1 139 р.
79	594,4	74,3	0,3	47 047 р.	1 139 р.
80	594,7	74,3	0,3	47 047 р.	1 140 р.
81	638,6	79,8	43,9	47 133 р.	1 225 р.
82	638,9	79,9	0,3	47 133 р.	1 226 р.
83	639,2	79,9	0,3	47 134 р.	1 226 р.
84	639,4	79,9	0,3	47 134 р.	1 227 р.
85	639,7	80,0	0,3	47 135 р.	1 228 р.
86	640,0	80,0	0,3	47 135 р.	1 228 р.
87	640,3	80,0	0,3	47 136 р.	1 229 р.
88	640,6	80,1	0,3	47 136 р.	1 229 р.
89	640,9	80,1	0,3	47 137 р.	1 230 р.
90	641,1	80,1	0,3	47 137 р.	1 230 р.
91	685,1	85,6	43,9	47 223 р.	1 316 р.
92	685,4	85,7	0,3	47 224 р.	1 316 р.
93	685,6	85,7	0,3	47 224 р.	1 317 р.
94	685,9	85,7	0,3	47 225 р.	1 317 р.
95	686,2	85,8	0,3	47 225 р.	1 318 р.
96	686,5	85,8	0,3	47 226 р.	1 319 р.
97	686,8	85,8	0,3	47 226 р.	1 319 р.
98	687,1	85,9	0,3	47 227 р.	1 320 р.
99	687,3	85,9	0,3	47 227 р.	1 320 р.
100	687,6	86,0	0,3	47 228 р.	1 321 р.
Итого на программу выпуска:				4 682 047 р.	91 327 р.

4. Копия акта о внедрении результатов работы в промышленность

УТВЕРЖДАЮ

Директор НИиКИКМ, член правления
Публичного акционерного общества
«Криогенмаш»



Тарасова Е. Ю.

« 25 » августа 2015 г.

Акт

**о внедрении результатов диссертационной работы
Кабанова Александра Александровича
«Проектирование изделий ракетно-космической техники на основе
использования системы «Изделие-Технология-Производство»
представляемой на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 05.07.02 «Проектирование, конструкция и
производство летательных аппаратов»**

В рамках программы масштабной реорганизации предприятия ПАО «Криогенмаш» и создания в его составе нового многономенклатурного производственного комплекса для оценки проектной производственной мощности и ее достаточности для выполнения планируемой производственной программы была использована математическая модель производственной системы цеха окончательной сборки изделий: Блок ВРУ, Адсорбер, Скруббер, Колонна и Конденсатор.

В ходе построения указанной модели и выполнения имитационных экспериментов были использованы разработанные инженером Кабановым Александром Александровичем методики:

- построения моделей системы «изделие-технология-производство», основанных на использовании гипотезы наследования между элементами этой системы;

- оценки эффективности деятельности предприятия в зависимости от конструктивно-технологического облика разрабатываемых изделий на разных этапах их разработки и производства.

С использованием этих моделей и методик были разработаны потоковые модели, представляющие движение всей номенклатуры производства сборочного цеха. Построенные модели были исследованы посредством выполнения над ними имитационных экспериментов.

В ходе реализации выполненных экспериментов были получены следующие результаты:

- произведена оценка взаимного влияния конструкций изделий и технологий их изготовления на эффективность производства;

- произведена оценка производственной мощности сборочного цеха, определены направления повышения эффективности использования производственных площадей;

- выявлены препятствия для достижения проектной мощности цеха, не учтенные в ходе разработки проекта сборочного производства, и разработаны предложения для практического преодоления этих препятствий.

Использование разработанных Кабановым А. А. моделей и методик позволило:

- выявить «проблемные» конструкции, а именно «Конденсатор» и «Блок ВРУ», оценить степень их негативного влияния на деятельность предприятия и установить требования к конструкторско-технологическим решениям по этим изделиям (уменьшение количества деталей трубопроводов, сокращение протяженности сварных швов не менее чем на 50 %, повышение стабильности технологического процесса (исправимый брак не более 3 %) за счет исключения ручной сварки и др.), благодаря чему были

внесены соответствующие изменения в состав технологического оборудования цеха и определены места его расположения;

- уточнить состав комплектующих изделий для внешней поставки на предприятие;

- сократить длительность цикла по построению математической модели производственной системы сборочного цеха не менее чем в 3 раза, за счет предварительного отбора вариантов конфигураций системы «изделие-технология-производство» на этапе статического моделирования производственной системы цеха.

- повысить достоверность результатов имитационных экспериментов за счет верификации разработанной математической модели посредством оценивания соответствия экспериментальных результатов и данных статического моделирования. Использование процедур верификации и валидации на ранних этапах разработки решений позволило также существенно сократить сроки выполнения проекта.

Предложенные в ходе выполнения диссертации Кабановым А. А. модели и методики внедрены в ПАО «Криогенмаш» для оценки загрузки рабочих мест, оценки мощности транспортно-складской системы, определения «узких мест» производства, нового многономенклатурного производственного комплекса.

Главный специалист по
технологическим решениям
ПАО «Криогенмаш», к.т.н.



Маврутенков А. А.