

На правах рукописи



Кабанов Александр Александрович

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

05.07.02 - Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов

**АВТОРЕФЕРАТ**

Диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва 2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Научный руководитель: Кандидат технических наук, доцент,  
**Кулик Юрий Павлович**

Официальные оппоненты: **Остапенко Сергей Николаевич** – доктор технических наук, профессор, Акционерное Общество «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», помощник генерального директора

**Бородкин Александр Александрович** – кандидат технических наук, доцент, Научно-технический Центр компании «Боинг» (Moscow Boeing Design Center), заместитель главного инженера

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный космический научно-производственный центр имени М. В. Хруничева»

Защита диссертации состоится «14» июня 2016 года в 13<sup>00</sup> на заседании Диссертационного совета Д 212.125.10 в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по адресу: г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» <http://www.mai.ru/events/defence/>

Автореферат разослан «   » \_\_\_\_\_ 2016 года.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.125.10,  
кандидат технических наук, доцент

Денискина Антонина Робертовна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 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 поставками. Во-вторых, во

внутренней среде предприятия реализуется исключительно 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 «Конструкция-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 широкие исполнительные возможности современных вычислительных средств.

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 и управления производственной деятельностью машиностроительных предприятий, которые гарантируют достижение установленных показателей результативности и эффективности 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 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), [7]; 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» [8]; на 14-м Международном научно-техническом семинаре «Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте» (г. Свалява, Украина, 2014 г.), [10]; 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), [11]; на 7-й всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (Москва, 2015) [15].

Основные положения и результаты работы **опубликованы** в 15 печатных работах [1-15] в том числе 6 работ в рецензируемых журналах и входящих в рекомендованный ВАК Минобрнауки РФ перечень изданий [1-6].

**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 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 и приложений. Содержит 287 страниц, включая: 15 страниц приложений, 83 рисунка, 36 таблиц, 132 наименования списка литературы.

## **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 выполненного анализа проблемы сопутствующей разработки изделия и системы его производства сделаны следующие выводы:

**В1.** В отечественном машиностроении сложился уникальный опыт разработки и производства наукоемких и высокотехнологичных изделий. Он закреплен в национальных стандартах РФ под названием Система Разработки и постановки Продукции на Производство (СРПП). Стандарты получили распространение на российских предприятиях ракетно-космической промышленности.

Многолетняя практика использования СРПП подтвердила жизнеспособность регламентированного ими способа достижения цели – разработка и производство изделий, обладающих наперед заданным качеством, в том числе, за счет разработки Конструкторско-Технологических Решений (КТР) как результата сопутствующей разработки изделия и процесса его изготовления, соблюдения правил производственной и эксплуатационной технологичности и др.



На ряду со множеством присущих ей преимуществ, методика разработки изделий по СРПП обладает и рядом недостатков. Выделено два из них, на устранение которых направлено исследование.

Во-первых, недостаточный уровень анализа пригодности изделия к основным вариантам его использования (потребление изделия в соответствии с его назначением, производство и эксплуатация изделия). В результате все ошибки и просчеты, допущенные в ходе разработки, устраняются «на полу» производства и эксплуатации изделия. Как следствие, увеличивается продолжительность реакции предприятия на запросы рынка и растут издержки на разработку изделия.

Во-вторых, методика слабо ориентирована на контроль за уровнем затрат на производственное потребление (стоимость и нормы расхода материалов и ресурсов, необходимых для изготовления изделия), из-за чего издержки на производство изделия часто оказываются чрезмерными.

Последствия двух указанных недостатков суммируются, цена предложения изделия на рынке увеличивается, а конкурентоспособность изделия уменьшается.

**В2.** Анализ лучших мировых практик разработки и производства изделий, позволил определить набор инструментов, которыми следует дополнить отечественные методики разработки изделий для устранения отмеченных недостатков.

Жизнеспособность этих инструментов подтверждена лучшими зарубежными практиками разработки изделий; кроме того, они частично или полностью апробированы и в практике СРПП. Поэтому был сделан вывод об их совместимости с отечественной практикой разработки изделий.

К числу таких инструментов отнесены:

- Управление процессом разработки изделия на основе целевых затрат (проектирование изделий под заданную стоимость реализации жизненного цикла);

- Процедуры валидации как средства оценивания степени соответствия предлагаемых КТР вариантам использования изделия;

- Имитационное моделирование последствий принимаемых решений в интересах сокращения длительности реакции на запросы потребителей.

**В3.** На основании подробного анализа особенностей дискретного машиностроительного производства, характерного для предприятия ракетно-космической промышленности, выявлена особая роль процесса Организационно-Технической Подготовки Производства (ОТПП) в части сокращения цикла подготовки производства изделий и затрат на его реализацию.

Эффект от практического использования процесса ОТПП на российских ракетно-космических предприятиях недостаточен в силу двух причин:

- Организация предприятия в соответствии с функциональным, а не процессным принципом. В результате необоснованно увеличиваются складские запасы незавершенного производства из-за того, что сроки поставок компонентов изделия плохо согласованы со сроками проявления потребности в них;

- Недостаточный уровень использования информационных технологий в ходе реализации процесса ОТПП и контроля за ходом производства.

**В4.** Эффективности производства, наряду с качеством производимой продукции, отводится роль ключевого показателя деятельности предприятия. Он напрямую зависит от результативности функционирования организации «Основное производство». Эффективность самой организации существенно зависит от качества выходных результатов других организаций. Уровень эффективности организации «Основное производство» представляется недостаточным по причине слабой организованности взаимодействий основного производства с другими организациями предприятия. Существуют и причины, которые коренятся в самом производстве:

- использование «процентного» подхода к оцениванию издержек производства взамен поэлементного калькулирования производственных затрат;
- недостаточное внимание к оперативному планированию процессов производства, из-за чего неоправданно растут объемы незавершенного производства, находящегося в потоках движения предметов производства.

**В5.** Анализ методик модельного описания деятельности предприятия выявил перспективность использования модели неоднородной полиструктуры. Она допускает анализ влияния на выходной результат сложноорганизованной деятельности не только степени совершенства выходных результатов каждой из организаций, но и от уровня организованности их взаимодействия.

Для исследования способов увеличения эффективности полиструктуры целесообразно использовать имитационные эксперименты с ее моделью.

Установлена практическая значимость использования приема декомпозиции сложно организованной деятельности на целесообразным образом выделяемые и иерархически связанные между собой области деятельности. В пределах каждой из областей возможно использование универсального представления процесса взаимодействия между организациями. Модель получила название буферной системы, предназначенной для достижения баланса взносов организаций в уровень эффективности предприятия.

**В Главе 2** рассмотрена модель эффективной производственной деятельности предприятия:

$$П: \{Мат, Рес\} \Rightarrow \{Прод, Пот\}, \quad (1)$$

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

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. Структура организаций предприятия и область детального исследования показаны на рисунке 1.

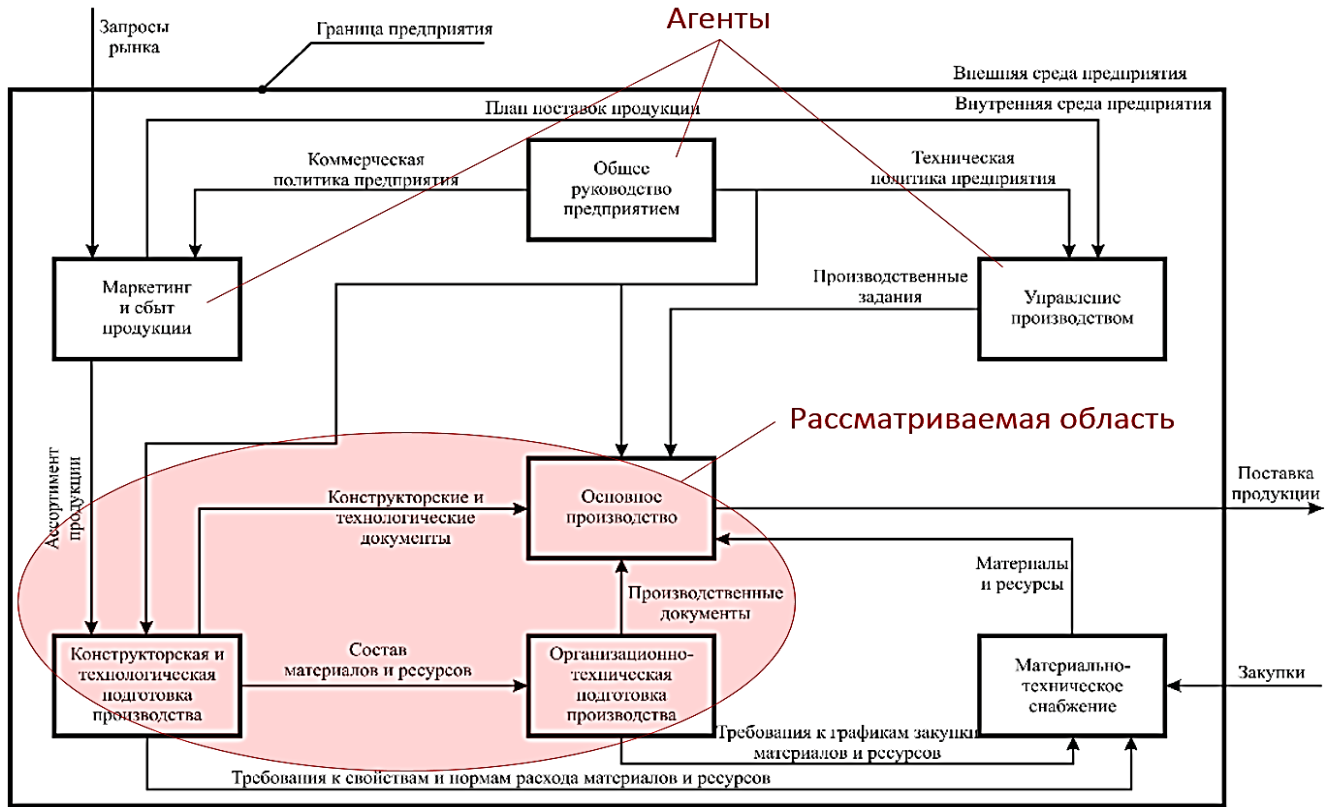


Рисунок 1 – Структура организаций предприятия

На основании исследования деятельности предприятия получены следующие результаты.

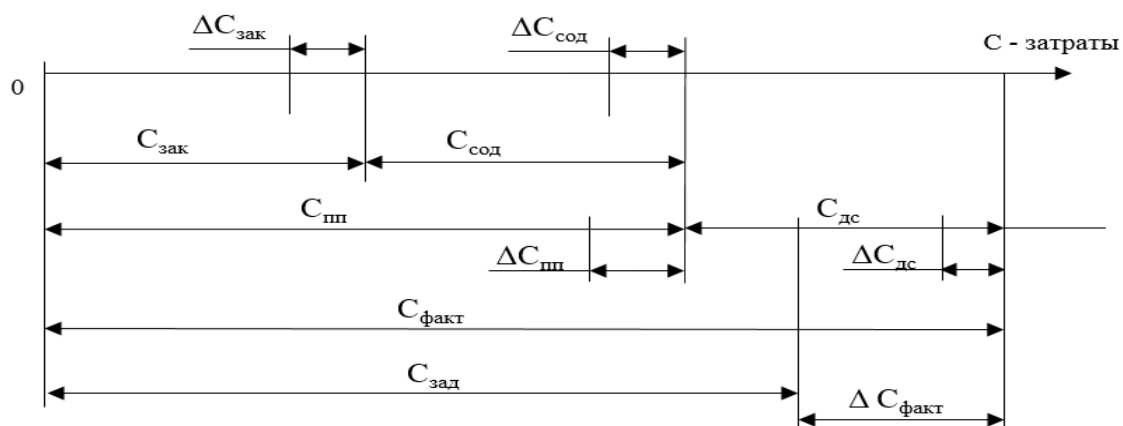
**В1.** Разработана методика оценивания производственной деятельности предприятия в основу которой положен процесс последовательного достижения директивно заданного уровня стоимости качества (издержек предприятия на обеспечение качества) производимого изделия. Цель такого движения заключается в последовательном поиске и устранении избыточных потерь вплоть до достижения того остаточного уровня потерь, который соответствует заданному уровню стоимости. Таким образом, в качестве критерия эффективности производственной деятельности предприятия принято условие:

$$C_{\text{зад}} - C_{\text{факт}} \geq 0, \quad (2)$$

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

**В2.** Область проявления последствий потерь декомпозирована на две относительно самостоятельные части: производственного потребления и создания добавленной стоимости. Диаграмма, иллюстрирующая алгоритм управления потерями, источники которых кроются в производственной деятельности, приведена на рисунке 2.

**В3.** Для представления производственной деятельности предприятия использована модель полиструктуры. Ее элементы – специализированные организации (агенты) предприятия, односторонние связи между которыми служат каналами обмена директивами между организациями.



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  $\Delta C$ , 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 – Структура затрат на реализацию производственной деятельности

Директивы могут иметь две формы существования: вещную (предметы производства, материалы и ресурсы) и/или информационную (нормативные документы). Посредством обобщения опыта деятельности отечественных предприятий ракетно-космической промышленности разработана онтология производственной деятельности. Она определяет состав сущностей, обращающихся в рамках деятельности, каждой из которых поставлен в соответствие оригинальный объект. Для образования имеющих практический смысл композиций (коллекций) объектов использованы отношения наследования. Реализуются отношения посредством обмена данными, инкапсулированными в них – рисунок 3.



Рисунок 3 – Диаграмма наследования свойств объектов производственной системы предприятия

**В4.** Методика и онтологии составили основу агентной модели производственной деятельности предприятия. Агенты взаимодействуют друг с другом в интересах достижения заданного уровня выхода. В составе производственной деятельности выделены три агента: инновационный, операционный, а также организация «Основное производство» (рисунок 4). Они объединены в структурную модель производственной деятельности предприятия.

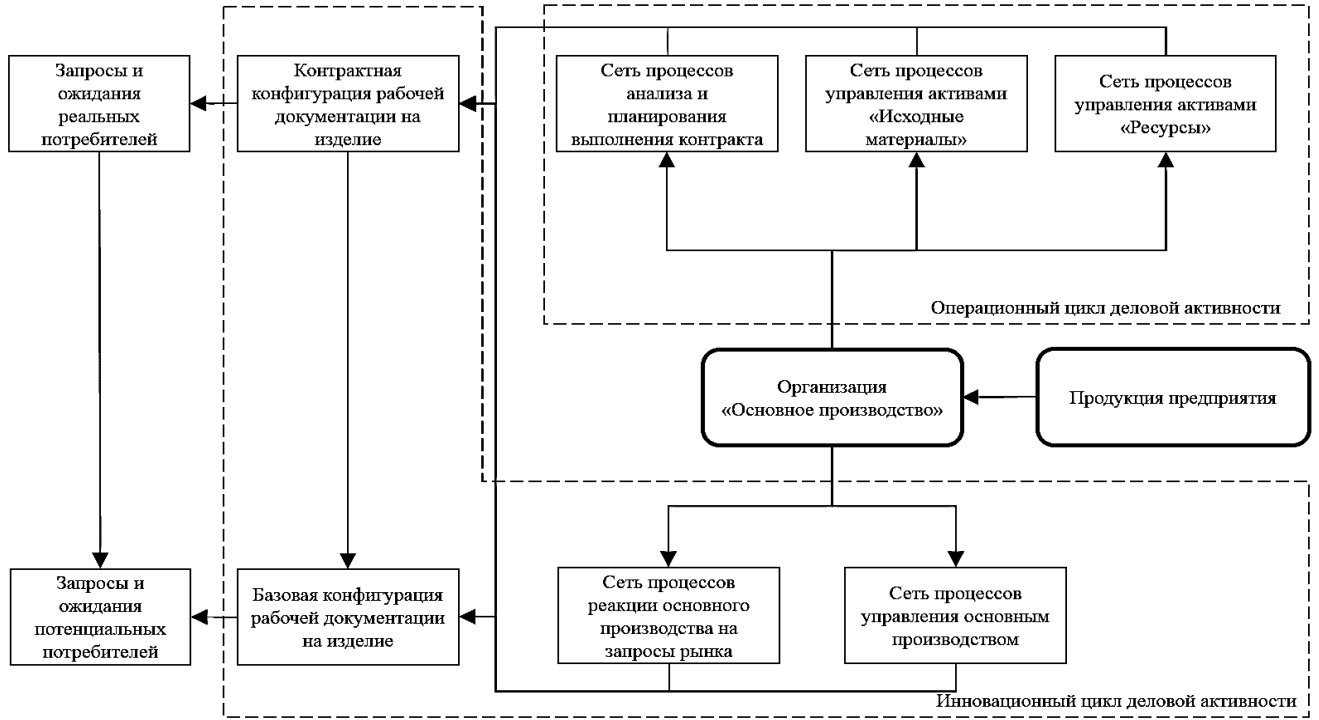


Рисунок 4 – Полиструктура организаций-агентов производственной деятельности

Схема взаимодействия агентов производственной деятельности представлена на рисунке 5. Любое из решений, принимаемых в рамках обоих циклов, подлежит валидации на предмет эффективности его использования в «Основном производстве».



Рисунок 5 – Коллекция классов возможных решений по результатам валидации выходного результата организации-агента деятельности

**В5.** Для координации взаимодействий материалов и ресурсов в ходе производства изделий предложено использовать информационную модель, разрабатываемую в ходе процессов ОТПП. Модель представлена на рисунке 3 в форме композиции «Производственные документы». Для каждого из документов разработаны его модель и процесс разработки документа.

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

**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 модели конструкции «Изделие-Технология- Производство» дискретного машиностроения, основанные на механизме наследования информации об изделии (рисунок 6).

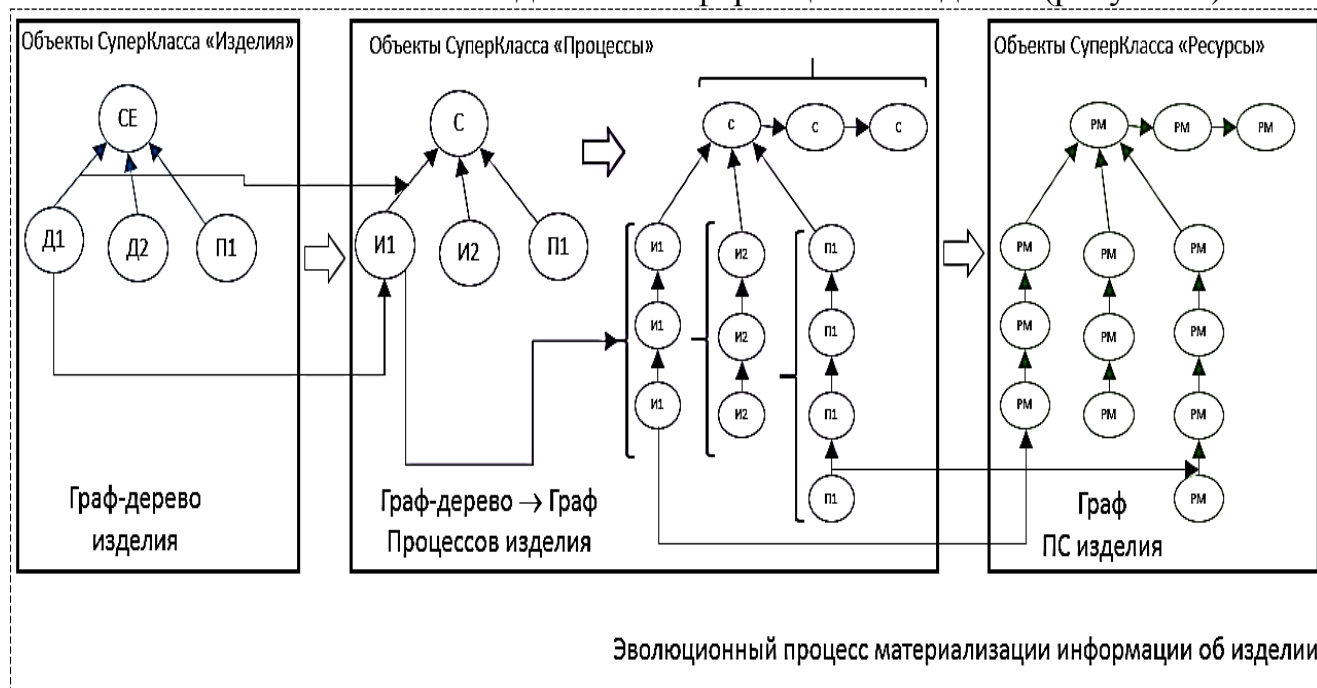


Рисунок 6 – Механизм наследования устойчивых форм конструкции «Изделие – Технология – Производство»

На основании исследования процесса реализации разработанных методик и моделей эффективной производственной деятельности получены 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. Основу методики составили типовой алгоритм проектирования изделия и системы его производства, рисунок 7; механизм наследования информации об изделии, рисунок 6. Основные элементы методики построения конструкции «Изделие – Технология – Производство» приведены на рисунке 8.



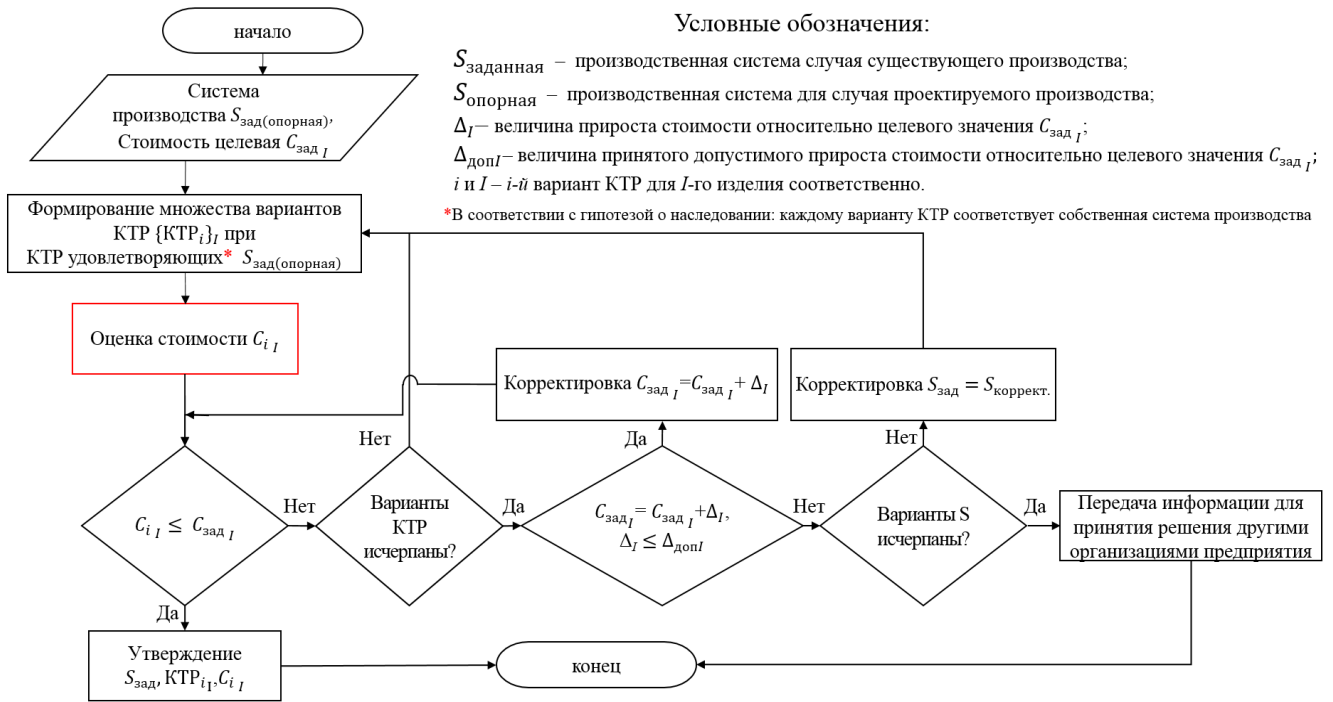


Рисунок 7 – Типовой алгоритм проектирования изделия и системы его производства

Этапы разработки конструкции «Изделие-Технология-Производство»:	Процедуры проектирования:	Результат:	Порядок оценки стоимости:
Область «Изделие»	<ul style="list-style-type: none"> <li>Системное</li> <li>Параметрическое</li> <li>Допусковое</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Варианты конструкций изделия</li> <li>- Состав и характеристики отдельных частей (ДСЕ)</li> <li>- Обоснование конструкций для дальнейшей проработки</li> </ul>	<p>Экспертная оценка:</p> <p>Оценка стоимости путем сравнения со стоимостью компонентов инновационно-идеального изделия соответствующей конструкции</p>
Область «Технология»	<ul style="list-style-type: none"> <li>Системное</li> <li>Параметрическое</li> <li>Допусковое</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Варианты КТР для ранее выбранных конструкций</li> <li>- Состав и характеристики частей (операций)</li> <li>- Резервы времени (общий резерв, свободный резерв)</li> </ul>	<p>Оценка на основе расчетов технологического цикла и производных от него компонент стоимости изделия на основании сетевого моделирования (статическая модель)</p>
Область «Производство изделия» <i>Для каждого изделия</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Системное</li> <li>Параметрическое</li> <li>Допусковое</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Варианты производственной системы изделия</li> <li>- Состав и характеристики частей (ресурсов) по изделию</li> <li>- Резервы мощности производства изделия</li> </ul>	<p>Оценка на основе экспериментов с имитационной моделью системы производства изделия. Определение временных характеристик и производных от них характеристик стоимости (динамическая модель)</p>
Область «Производство предприятия» <i>По всем изделиям</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Системное</li> <li>Параметрическое</li> <li>Допусковое</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Варианты производственной системы предприятия</li> <li>- Состав и характеристики частей (ресурсов) по предпр.</li> <li>- Резервы мощности производства предприятия</li> </ul>	<p>Оценка на основе экспериментов с имитационной моделью системы производства предприятия. Определение временных характеристик и производных от них характеристик стоимости (динамическая модель)</p>

Рисунок 8 – Основные элементы методики построения конструкции «Изделие – Технология – Производство»

Пример программной реализации конструкции «Изделие – Технология – Производство» в системе имитационного моделирования AnyLogic приведен на рисунке 9.



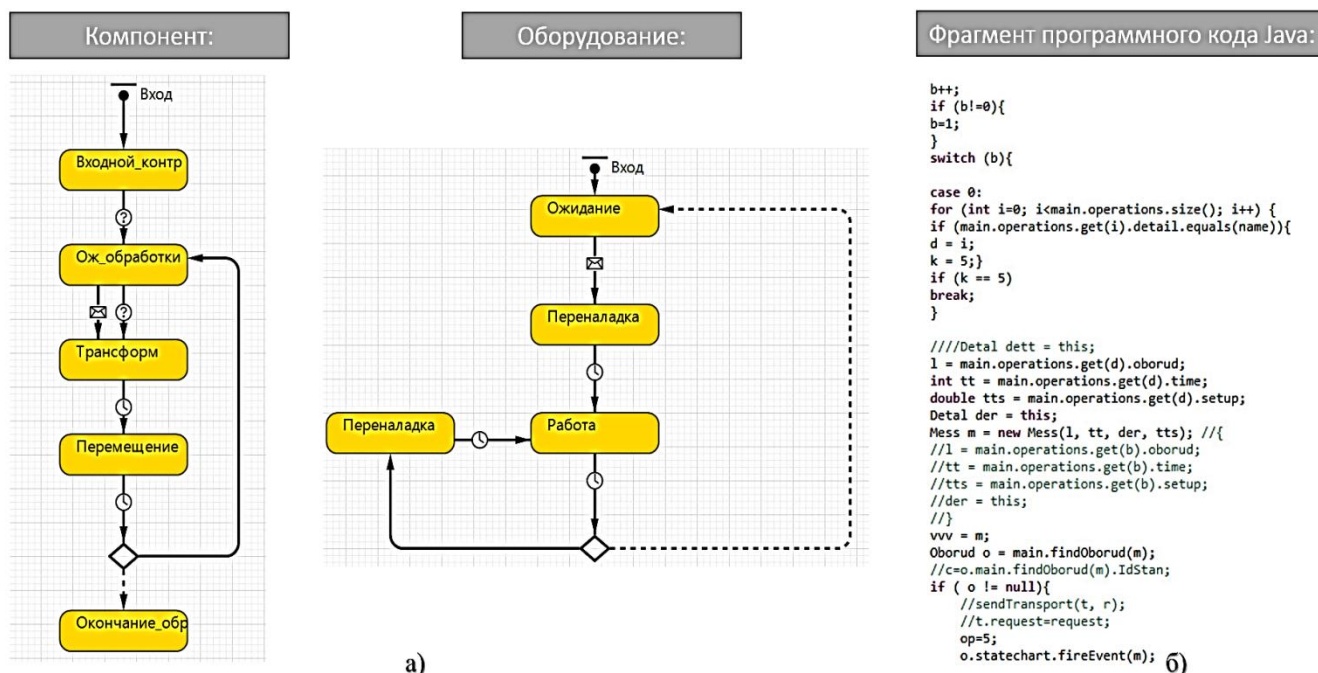


Рисунок 9 – Пример программной реализации в системе имитационного моделирования AnyLogic: а – состояние агентов модели; б – часть программного кода реализации алгоритма взаимодействия агентов

**В Главе 4** конструкция «Изделие – Технология – Производство» подвергнута экспериментальному исследованию. 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. На рисунке 10, для одного из примеров, представлены возможные варианты КТР задачи I-го уровня, на рисунке 11 – результаты валидации КТР и соответствующих им производственных систем.

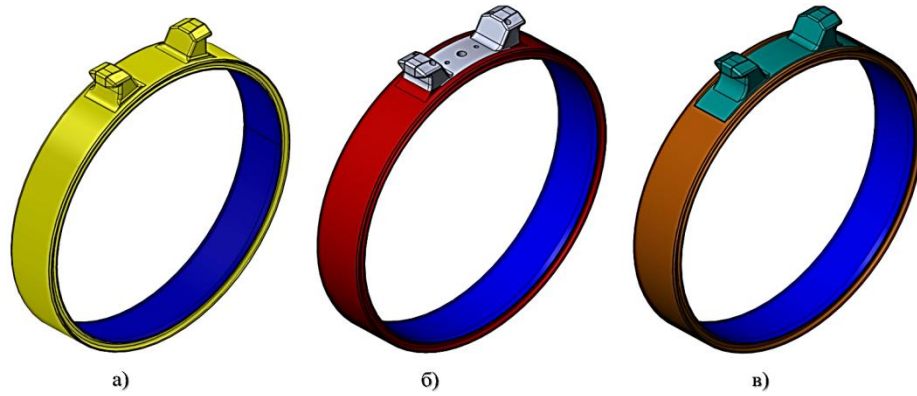


Рисунок 10 – Альтернативные варианты КТР шпангоута изделия «Жаровая труба»: а – вариант КТР1 (моноконтное исполнение бугеля); б – вариант КТР2 (сборный, резьбовое соединение бугеля); в – вариант КТР3 (сборный, сварное соединение бугеля)

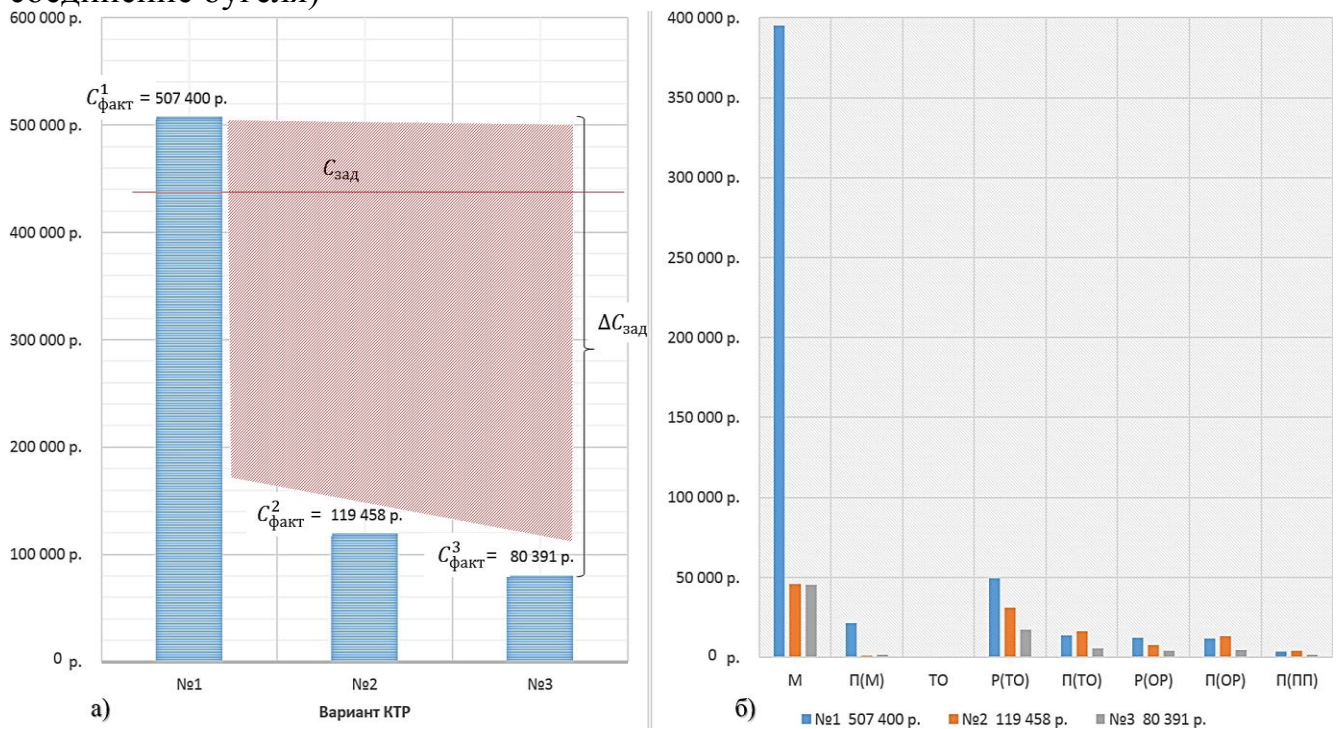


Рисунок 11 – Стоимость качества экземпляра компонента «Шпангоут» для рассматриваемых вариантов КТР и объема партии  $n=10$  шт.: а – фактическая стоимость и область управления стоимостью; б – структура стоимости: М – затраты на материал; ТО – затраты на приобретение технологического оборудования; Р(ТО), 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

В рамках выбранного варианта КТР3 решена задача II-го уровня. Результаты сравнения модификаций КТР и соответствующих систем производства приведены на рисунке 12.

Наибольший эффект достигается при последовательном решении задач обеих уровней.

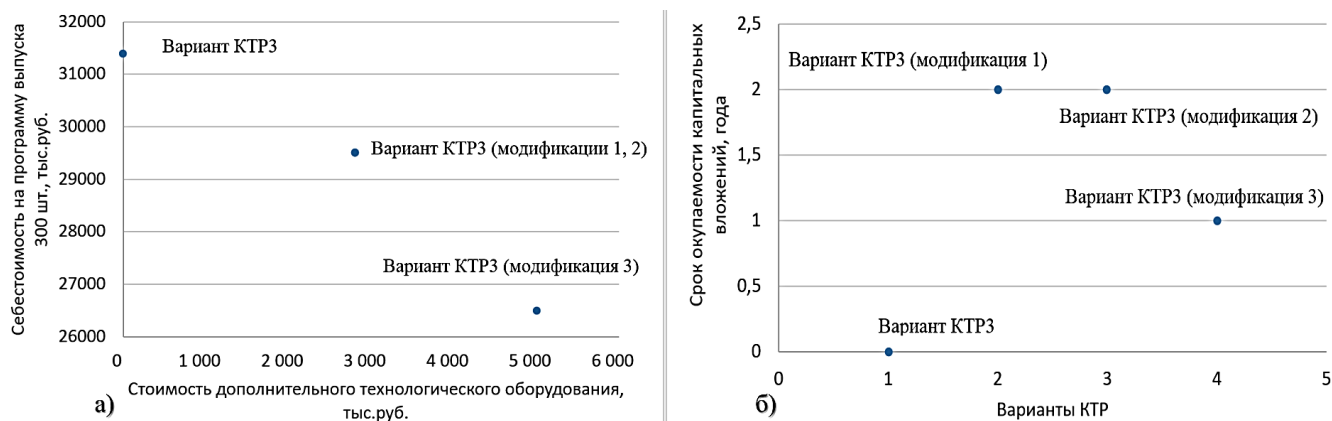


Рисунок 12 – Сравнение систем производства в рамках выбранного варианта КТР3: а – себестоимость изделия и стоимость дополнительного технологического оснащения в зависимости от варианта КТР и наличия оборудования; б – срок окупаемости дополнительного технологического оснащения

**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/сетевое 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.

Так, для ПАО «Криогенмаш», рисунок 13, использование разработанных моделей и методик позволило:

- выявить «проблемные» конструкции, а именно изделий «Конденсатор», «Блок ВРУ», оценить степень их негативного влияния на деятельность предприятия и установить требования к КТР 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 цеха окончательной сборки не менее чем в 3 раза, за счет предварительного отбора вариантов конфигураций конструкции «изделие-технология-производство» на этапе статического моделирования производственной системы цеха.

- 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 позволило также существенно сократить сроки выполнения проекта.

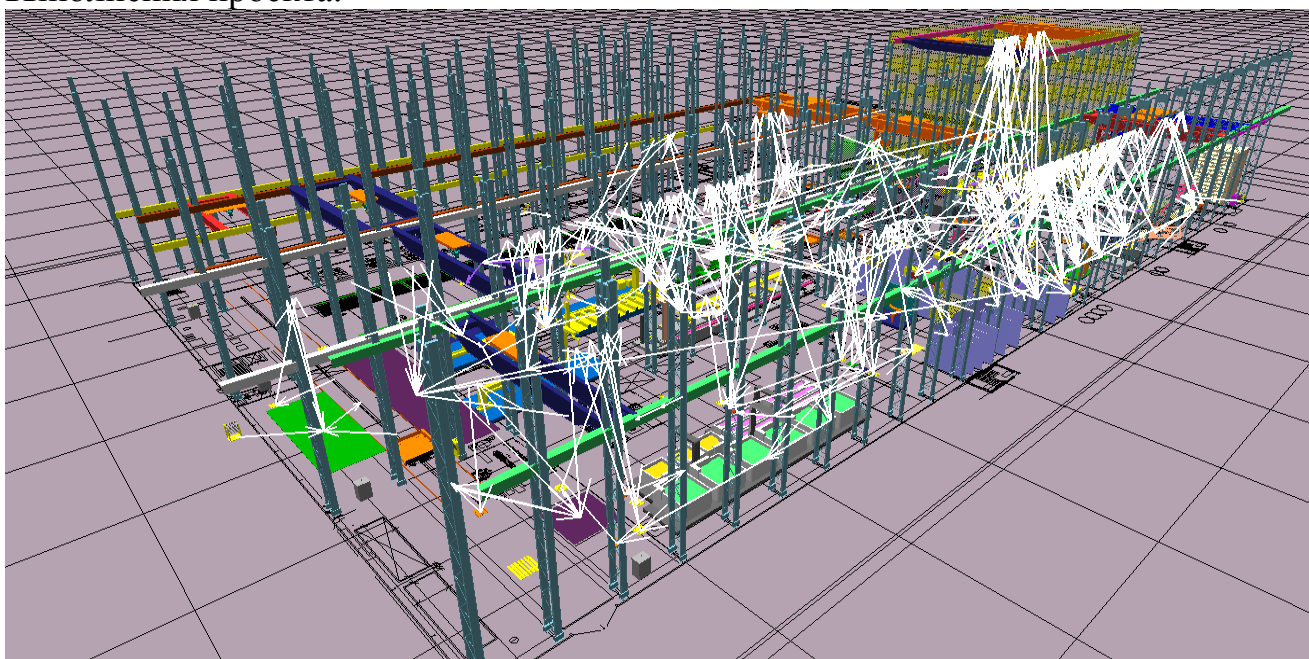


Рисунок 13 – Имитационная модель производственной системы ПАО «Криогенмаш» в системе имитационного моделирования DELMIA QUEST

**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.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

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.

**1.** Разработана конструкция системы «Изделие-Технология-Производство», которая обеспечивает интеграцию обслуживающих систем, используемых на стадиях «Разработка» и «Производство» жизненного цикла продукции. Роли элементов системы отведены обеспечивающим 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) обеспечивающих систем достигается посредством использования в разработанной системе полиструктурной модели реализации производственной деятельности. Полиструктура считается неравномерной, поскольку предусматривает установление приоритетов обеспечивающих систем. Наивысший приоритет имеет конструкторская система. Любой из результатов этой системы подлежит валидации на предмет оценки возможности его использования в двух других обеспечивающих 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.

**2.** 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.

**3.** 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.

**4.** 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.

**5.** Выполнены оценки технического эффекта от практического использования разработанных методик и моделей. В ее 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 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.

**6.** 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.

**7.** 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.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

### *Публикации в изданиях, рекомендованные перечнем ВАК РФ*

1. 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>.

2. 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.

3. 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.

4. Долгов В. А., Попов Э. В., Кабанов А. А., Тимерханова Э. Р., «Повышение эффективности ремонта и модернизации летательных аппаратов на «ОАО «Гуполев» путем разработки гибкой информационной модели производственно-технологических решений,» *Сборка в машиностроении, приборостроении*, № 2, 2015, с.3-8.

5. 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>.

6. 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.

### *Публикации в других изданиях*

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. 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*, Свальява, 2014, с.78-80.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. Долгов В. А., Кабанов А. А., Андреев Н. С., «Методика аудита производственно-логистических систем в проектах технического перевооружения 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; Изд-во Эс-Си-Эм Консалтинг - Москва, 2015 г. с.124-129.

15. 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.

16. Кулик Ю. П., Кабанов А. А. Описание демонстрационного примера и результатов моделирования производственных потоков // Научно-исследовательский отчет по опытно-конструкторской работе «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» по Договору № 42820-06060, М: ОАО «Концерн ПВО «Алмаз-Антей», 2012. – 148 с.