

На правах рукописи



Шубин Роман Валерьевич

**ПЛАТФОРМА КОНЦЕПТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ
ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ НАУКОЕМКИХ ИЗДЕЛИЙ**

Специальность 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2023

Работа выполнена:

на кафедре Робототехники и автоматизации производственных систем федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»).

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор **Прокофьев Геннадий Иванович**, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), кафедра Робототехники и автоматизации производственных систем, г. Санкт-Петербург.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор **Птицына Лариса Константиновна**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ), кафедра Информационных управляющих систем, заведующий кафедрой, г. Санкт-Петербург.

доктор технических наук, доцент **Петроченков Антон Борисович**, ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра «Микропроцессорные средства автоматизации», заведующий кафедрой, г. Пермь.

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО «СПбПУ»), г. Санкт-Петербург.

Защита состоится «20» февраля 2023 года в 16 часов на заседании диссертационного совета 24.2.387.03, созданном при Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» и на сайте университета www.etu.ru в разделе «Подготовка кадров высшей квалификации» - «Объявления о защитах докторских и кандидатских диссертаций».

Автореферат разослан «19» декабря 2022 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.387.03
к.т.н., профессор



/В. В. Цехановский/

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Организации, обеспечивающие жизненный цикл (ЖЦ) сложной наукоемкой продукции, являются центрами роста для мировой и государственной экономик. Сохраняя и расширяя присутствие на локальном и глобальном рынках высокотехнологичной наукоемкой продукции, организации формируют свои конкурентоспособные системы процессов, нацеленные на поддержку ЖЦ конкурентоспособной продукции.

Анализ проблем, возникающих при обеспечении ЖЦ сложных наукоемких изделий разных отраслей промышленности (судостроение, авиация, космос, энергетика...) позволяет сделать вывод о неэффективном и несистемном использовании автоматизированных технологий, ИТ-инфраструктуры организаций. Используемые и внедряемые технологии в совокупности зачастую не обеспечивают достижение целей организации, ликвидируют только часть проблем, а иногда и порождают новые.

Целеориентированная, гармонизированная совокупность взаимосвязанных автоматизированных программно-аппаратных средств, инструментов, оборудования, технологий (в т.ч. ИТ-инфраструктуры), обеспечивающих генерацию, преобразование, хранение и управление данными и информацией о процессах и продукции организации, поддерживающей полный жизненный цикл наукоемких, инновационных изделий промышленности, включающий в себя создание научно-технического задела, перспективные исследования, системный инжиниринг, разработку, испытания, производство, обслуживание, модернизацию, утилизацию – является *системой технологий, обеспечивающей жизненный цикл наукоемких изделий*.

Ранние стадии создания систем особенно важны. От того, насколько обоснованно и качественно выполнена разработка концепции, концептуальных моделей, зависит эффективность технического проектирования и работы самой системы технологий, качество и конкурентоспособность высокотехнологичной продукции и организации, ЖЦ которых поддерживается такими технологиями.

На сегодняшний день организации-лидеры отраслей промышленности подчеркивают важность стадии разработки концепции ЖЦ своей продукции, в том числе построение эффективной системы процессов и технологий.

Существуют концепции и лучшие практики технического проектирования и развития инфраструктур автоматизированных и информационных технологий (ИТ-инфраструктур). Однако отсутствует и необходима научно обоснованная система принципов, взаимосвязанных существующих методов, используемых стандартов и лучших практик, методических средств и правил, обеспечивающая создание концептуальных моделей организации и моделей ее системы технологий, а также трансформацию моделей с целью обоснованного определения концепции системы технологий при ее техническом проектировании - *платформа концептуального моделирования системы технологий*.

При отсутствии такой платформы реинжиниринг организации, выбор и внедрение сложных и дорогостоящих технологий дает труднопрогнозируемый и часто отрицательный результат.

Для организаций, обеспечивающих ЖЦ наукоемких изделий, характерны: большая номенклатура процессов, сложность изделий, многообразие используемых в производстве автоматизированных технологий и информационных систем. Этим обусловлена важность научно обоснованного преодоления трудностей разработки концепции эффективных систем технологий. Актуальность таких задач увеличивается с ростом масштабов работ по комплексной автоматизации и цифровизации промышленности, с созданием интегрированных автоматизированных систем управления организациями, с реинжинирингом и модернизацией наукоемких производств на основе знаний.

Диссертационное исследование посвящено вопросам моделирования системы технологий, обеспечивающей ЖЦ наукоемких изделий, и выполнено в рамках научной специальности 2.3.3. по направлениям:

- (п.3) методология, научные основы и формализованные методы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), а также технологической подготовкой производства (АСТПП);
- (п.6) научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления;
- (п. 13) теоретические основы и прикладные методы анализа и повышения эффективности, надежности и живучести АСУ на этапах их разработки, внедрения и эксплуатации.

Работа соответствует специальности 2.3.3, включает научные и технические исследования и разработки, модели и структурные решения человекомашинных систем, предназначенных для автоматизации производства и интеллектуальной поддержки процессов управления и необходимой для этого обработки данных в организационнотехнологических и распределенных системах управления в различных сферах технологического производства и других областях человеческой деятельности.

Таким образом, проблеме исследования - сложный теоретический и практический вопрос разработки системы технологий, обеспечивающей ЖЦ наукоемких изделий, можно сформулировать в следующих аспектах:

- **науки:** обоснование идеи, выбора методов и средств, обеспечивающих концептуальное моделирование процессов организации;
- **специальности 2.3.3:** исследование и выявление проблем, возникающих при синтезе моделей и получении структурных решений на этапе концептуального моделирования организационно-технических систем, предназначенных для автоматизации и интеллектуальной поддержки процессов управления организации и обеспечения жизненного цикла наукоемкой продукции;
- **практики:** научно обоснованная платформа разработки концепции системы технологий, обеспечивающей ЖЦ наукоемких изделий.

Проблема, сформулированная в диссертации, относится к области системной инженерии и затрагивает вопросы ЖЦ информационных систем и технологий, систем управления, посредством которых выполняется автоматизация, и систем управления производственными комплексами и технологическими процессами.

В работе формулируется и обосновывается система решений для синтеза структуры и параметров системы человеко-машинных компьютерных технологий, требуемых развивающимся организациям и предназначенных для автоматизации производства и интеллектуальной поддержки процессов управления и ЖЦ.

Обосновывается рациональное использование актуальных стандартизованных методов и средств исследования и концептуального моделирования процессов организации как сложной человеко-машинной системы, а также проектирования системы технологий.

Система технологий – результат процесса **создания на научной основе** автоматизированного производства и АСУТПП, их последовательной увязки в единую иерархическую структуру с целью повышения качества и эффективности всех звеньев производства в народном хозяйстве.

Вопросы организации системы интегрированной логистической поддержки промышленного предприятия рассмотрены в трудах Богданова А.Е. и Шаламова А.С. Проблемы внедрения и использования передовых технологий инженерного анализа, проектирования и технологической подготовки производства – в работах Боровкова А.И. и Яблочникова Е.И. Концепции и методики эффективного управления промышленным предприятием – в исследованиях Туровца О.Г., Хана Д., Кохно П.А. Аспекты жизненного цикла сложных систем, системного управления подробно исследованы в трудах А. Косякова, У. Свита, Б. Бланшара, Д. Хитчинса. Методики генерации требований к ИТ и базам данных описаны Дж. Мартиным, К. Вигерсом, Э. Танненбаумом. Существует обширный научно-методический задел по разработке информационных систем и архитектур, создан-

ный учеными кафедры Информационных систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (Советов Б.Я, Цехановский В.В., Дубенецкий В.А. и др.). Описано формирование современных цифровых фабрик автоматизированными технологиями, в том числе управленческими. Однако не найдено решения проблемы научно-обоснованного синтеза концептуальных моделей организационно-технических систем технологий, обеспечивающих и автоматизирующих процессы ЖЦ наукоемкой продукции, а также решения проблемы формирования обоснованных исходных данных для технического проектирования системы технологий. Учитывая вышеуказанное, разработка и апробация платформы концептуального моделирования является актуальной задачей.

Цель работы: разработать научно обоснованную платформу концептуального моделирования, обеспечивающую эффективную разработку организацией концептуальных моделей ее системы технологий, направленной на автоматизацию и управление в процессах жизненного цикла.

Объектом исследования является сложная (недостаточно понятая и описанная, трудно прогнозируемая) иерархическая система процессов организации, обеспечивающей жизненный цикл наукоемкой продукции, включая ее систему технологий.

Предмет исследования: концепции, лучшие практики, модели, система методов и средств концептуального моделирования процессов организации и ее системы технологий.

Задачи исследования:

1. Обосновать актуальность разработки такой платформы концептуального моделирования, которая бы обеспечила эффективный ответ на вызовы, стоящие перед организациями, поддерживающими жизненный цикл инновационных наукоемких изделий.
2. Обосновать новизну и значимость использования понятий «система технологий» и «платформа концептуального моделирования».
3. Предложить и обосновать систему принципов и методов разработки концептуальных моделей процессов организации с целью определения требований системе технологий, классам и экземплярам классов технологий.
4. Разработать платформу концептуального моделирования, представляющую собой систему решений, дополненных методов, положений, технологий применения стандартов, позволяющих эффективно разрабатывать концептуальные модели организации и системы технологий организации, и, следовательно, обоснованно генерировать требования к конкретным технологиям.
5. Доказать и продемонстрировать возможность и целесообразность применения разработанной платформы на примере разработки системы технологий научно-производственной организации.

Методы исследования. В работе используется SADT-методология, предлагающая единый подход к созданию на основе научного, теоретического, эмпирического и экспертного знаний стандартного представления (модели) полного завершеного совокупного знания о предмете исследования в виде системы логически упорядоченных фрагментов знания разных уровней детальности, оформленных по универсальному шаблону. Решение научной задачи диссертации получено на базе интегрированных методов IDEF0, IDEF1X, DFD, основанных на методологии SADT и ассоциирующихся с ней. Эти методы использованы для разработки концептуальных моделей системы процессов организации и системы технологий.

Результаты, выносимые на защиту:

1. **Обоснована актуальность** разработки платформы концептуального моделирования, введены и обоснованы понятия «система технологий» и «платформа концептуального моделирования»;
2. **Предложена и обоснована идея** разработки платформы концептуального моделирования процессов организации и ее системы технологий;

3. **Разработана платформа**, содержащая систему решений для разработки согласованных концептуальных моделей организации и ее системы технологий;
4. **Доказана возможность и целесообразность применения** платформы концептуального моделирования в практике разработки системы технологий научно-производственной организации.

Научная новизна результатов диссертации заключается в новых научно-методических положениях системного инжиниринга процессов обеспечения жизненного цикла высокотехнологичных наукоемких изделий:

- *Научно обоснованная разработка платформы* концептуального моделирования процессов организации и ее системы технологий, включающая идею разработки, концепции и лучшие практики, систему методов IDEF0, IDEF1X и DFD, принципы и положения концептуального моделирования процессов организации и ее системы технологий.
- *Выявленные критические проблемы*, сопровождающие процесс разработки концептуальных моделей организации: недостаток данных о системе, наличие перекрестных связей в структуре процессов, трудность достижения консенсуса участниками моделирования. Научно-методическая проблема упрощения структуры в моделях «как будет» решается в рамках разработанной платформы разработки концепции системы технологий посредством использования процессов, подчиненных целям.
- *Модель процесса, подчиненного целям*, позволяющая решать методическую проблему многомерности и многосвязности процессов.

Практическая значимость результатов диссертации.

- Разработанная платформа концептуального моделирования позволяет руководству и менеджменту организации обосновать и разработать концепцию системы технологий, и может быть применена в организациях для системного инжиниринга процессов жизненного цикла наукоемких изделий.
- Разработанная платформа результативно используется в ведущих научно-производственных организациях судостроения (филиал «ЦНИИ СЭТ» ФГУП «Крыловский государственный научный центр» и ООО «НПЦ «СЭС»), позволила выполнить реинжиниринг системы технологий указанных организаций, значительно расширить номенклатуру разрабатываемых изделий и обеспечивать жизненный цикл инновационных наукоемких судовых электроэнергетических систем, включая системы электродвижения серии универсальных атомных ледоколов проекта 22220 «Арктика». Разработанные автором концептуальные модели используются для улучшения процессов этих организаций и их систем технологий.
- Обоснованная в результате трансформации моделей генерация требований к технологиям (сервисам, программному и аппаратному обеспечению, интерфейсам, персоналу, данным, оборудованию) способствует: снижению расходов на выбор, внедрение и сопровождение технологий; максимальному использованию функциональных возможностей автоматизированных средств и технологий; соответствию применяемых технологий миссии и стратегическим целям организации; комплексной автоматизации всех сфер деятельности организации.

Разработанный в диссертации инструментарий концептуального моделирования применяется при разработке обучающимися моделями выпускных квалификационных работ в рамках дисциплины магистратуры «Моделирование изначально сложных систем» и моделей диссертаций в рамках дисциплины аспирантуры «Моделирование сложных систем на ранних стадиях их создания». Сформулированные принципы и положения, позволяющие обоснованно формулировать требования к компонентам ИТ-инфраструктуры используются в учебном процессе бакалавриата по дисциплине «Автоматизированное проектирование электротехнических устройств». Указанные дисциплины читаются на кафедре РАПС СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Апробация работы. По теме работы сделаны доклады на конференциях: 67-я – 72-я Научно-технические конференции профессорско-преподавательского состава СПбГЭТУ; Конференции молодых ученых и специалистов ФГУП «Крыловский государственный научный центр», СПб, 2014 – 2017; Международные конференции Autodesk University Russia 2014 – 2015, Москва; Международная конференция по судостроению и океанотехнике NAOE2016, СПб, 2016; Первая отраслевая научно-практическая конференция «Производственные технологии в судостроении – вопросы информатизации» (ПТС ВИ-2021); Международная конференция «Проектирование и обеспечение качества информационных процессов и систем», СПб, 2022.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 работ, в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК 7 работ, 13 работ – в других изданиях и материалах конференций.

Личный вклад автора. Все основные результаты работы диссертации получены автором самостоятельно.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и приложений. Список использованной литературы содержит 88 источников. Основная часть работы содержит 128 страниц машинописного текста, включая 28 рисунков и 2 таблицы. Приложения содержат 132 страницы машинописного текста, включая 27 рисунков и 12 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение посвящено обоснованию актуальности темы, определению текущего состояния предметной области исследования и основным характеристикам диссертационной работы.

В первой главе выполнен обзор и анализ существующих концепций, методик и практик улучшения и автоматизации деятельности организаций. Сформулированы задачи диссертационной работы.

Текущее состояние рынка высокотехнологичной наукоемкой продукции, а также проблемы, цели и вызовы, сформулированные государственной научно-технической политикой России, делают необходимым улучшение деятельности и повышение конкурентоспособности организаций, обеспечивающих ЖЦ такой продукции (научно-производственных организаций - НПО). При этом дифференциация рынка указанной продукции на локальный (государственный) и глобальный (мировой), а организаций исследуемого класса - на частные и государственные, характеризует различные структуры, цели и политики таких организаций. Несмотря на такое разделение, задачи улучшения и автоматизации деятельности, достижения и повышения конкурентоспособности на рынке и при выполнении государственного заказа являются актуальными для всех отечественных НПО.

Существуют современные концепции достижения целей и успешного развития организаций, направленные на решение сложных проблем, связанных с конкурентоспособностью. Это, прежде всего, концепции CALS (ИПИ – информационная поддержка ЖЦ изделий) и Контроллинга, активно использующие средства и технологии автоматизации в процессах обеспечения ЖЦ продукции организаций – процессах основной деятельности и процессах управления. Обе концепции – приверженцы системного и процессного подходов к деятельности и рассматривают деятельность и организацию как целеориентированную систему процессов, базирующуюся на некоторой совокупности принципов и технологий.

Деятельность организаций исследуемого класса направлена на обеспечение ЖЦ наукоемкой продукции – анализа рынка (потребности) разработки, проектирования, производства, обслуживания и утилизации инновационных, конкурентоспособных на рынке изделий (продукции). При этом вызовы внешней среды имеют тенденцию к ужесточению требований к продукции и деятельности, а также росту динамики их изменения. Главной особенностью деятельности НПО является наличие доминирующего процесса создания

научно-технического задела – генерации научных знаний, новых концептуальных и технических решений, и управления ими, что также определяет требования и цели других процессов. Обеспечение ЖЦ продукции таких организаций связано с необходимостью создавать, хранить и эффективно управлять данными, информацией и знаниями, что обосновывает потребность системы деятельности в обеспечивающей взаимосвязанной совокупности подсистем, инструментов, технологий и процессов – системе технологий организации. Понятие «система технологий» уместно использовать в диссертации, теории и практике как название класса системы систем, в которой подсистемами являются связанные данными управленческие, производственные, сервисные, проектные технологии. Технологии применяются в организации для решения практических задач (преобразования сущностей и их свойств) и обеспечивают процессы организации, достижение целей.

Успешное развитие системы процессов и системы технологий – неотъемлемая составляющая конкурентоспособности для НПО. Существуют лучшие практики реинжиниринга, проектирования, внедрения, эксплуатации и управления системами процессов всех сфер деятельности, например, Objectives and Key Results, Balanced Scorecard, ITIL, COBIT и др.

Поскольку концепции, методы и технологии разработки и внедрения автоматизированных информационных систем, ИТ-инфраструктуры известны и многократно апробированы, но отсутствуют обоснованные решения, обеспечивающие ранние стадии разработки систем технологий (стадии разработки концепции по ГОСТ 34.601-90), целесообразно ввести также понятие «платформа концептуального моделирования» - система решений, обеспечивающая создание концептуальных моделей системы технологий организации и генерацию исходных данных для стадий технического проектирования автоматизированных систем и технологий.

Такая платформа должна организовать уже известные методы и лучшие практики, дополнить их с целью обоснованного выбора связанных технологий для эффективного и рационального обеспечения ими процессов организации (рисунок 1). Платформу может использовать организация на стадии разработки концепции при создании своей системы технологий.

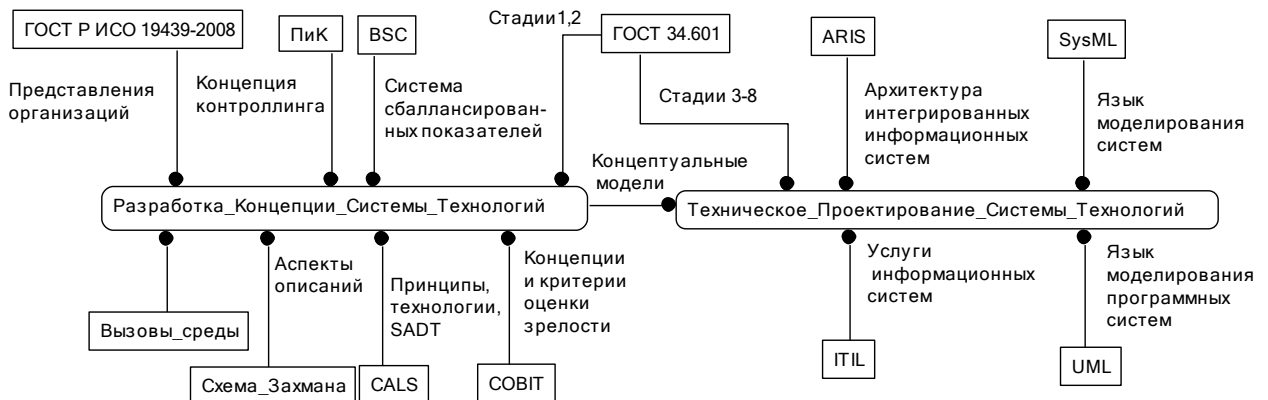


Рисунок 1 – Исследованные объекты и рекомендации по концептуальному моделированию системы технологий

Концепция системы технологий создается в общей концепции деятельности организации, выпускающей некоторый класс наукоемкой продукции. Результатами разработки концепции являются концептуальные модели организации, включающие: соответствующую классу продукции структуру процессов, инфраструктуру организации, проектную модель, модель системы технологий.

В основе идеи диссертации лежит гипотеза о том, что требуемые организации технологии (производственные, информационные технологии и системы и др.) могут дать должный эффект будучи сведены в некоторую систему технологий, подчиненную целям процессов организации и учитывающую ее ограничения и перспективы развития. Адекват-

ватную систему технологий организации возможно создать, если ее менеджмент сформирует требования к процессам и к используемым ими технологиям. Вместе с развитием организации должна развиваться и система ее технологий. Поэтому система технологий должна создаваться для достижения установленных целей организации на плановый период и подвергаться реинжинирингу при изменении этих целей в последующий период развития организации на ее жизненном цикле.

Модель системы технологий должна синтезироваться на основании понятных руководству организации моделей системы процессов, которые должны содержать цели и задачи технологий, используемые ими данные и требования к решению задач. Разрабатываемая руководством и менеджментом организации модель системы процессов трансформируется согласно определенным правилам в модель проектируемой системы технологий (рисунок 2). Целесообразно синтезировать модели таких структур организации, которые обеспечат эффективность ее деятельности и заданный уровень конкурентоспособности в условиях ограничений и вызовов среды.



Рисунок 2 – Идея разработки концептуальных моделей

Таким образом, выполненный в первой главе анализ позволяет сформулировать основные характеристики диссертации, приведенные в разделе общих характеристик работы.

Во второй главе сформулирована и обоснована система принципов и методов разработки концептуальных моделей системы процессов организации с целью определения требований к системе технологий, классам и экземплярам классов технологий.

Решение научной задачи диссертации представлено функциональной моделью, показанной на рисунке 3, блоки которой отражают действия, а связи – данные.

Блок 1 должен сгенерировать модели системы процессов деятельности организации с целью выявления требуемых процессам технологий, требований к каждой из технологий (решаемых задач, потребляемых и генерируемых ими данных), а также требований к системе технологий организации (системных требований). Создавать эти модели должен менеджмент организации по инициативе и под контролем ее руководства, используя концепции и лучшую практику достижения конкурентоспособности и учитывая особенности организации. При этом возникает задача выбора рациональных методов моделирования, пригодных для всех блоков предлагаемой схемы, и разработки методики моделирования. На концептуальном уровне математическое описание моделей процессов отсутствует. Основная задача моделирования – создание понятных разным участникам (специалистам) разработанных ими и согласованных моделей «как будет» концептуального представления организации в разных аспектах (функциональном, информационном, ресурсном, организационном).

Блок 2 должен, на основе разработанной модели системы процессов и системных требований (общих требуемых характеристик технологий), определить классы, к которым относятся требуемые процессам технологии, и построить модель системы классов технологий, требуемой для создаваемой системы технологий. Структуру классов предлагается

синтезировать на основе требуемых общих характеристик технологий и данных, выявленных и отраженных в отмеченных выше моделях системы процессов и данных организации. Модель системы классов и последующие модели должны разработать специалисты организации в области используемых ею технологий.

Блок 3 должен для каждого из классов разработанной системы классов технологий выбрать подмножества (экземпляры класса), способные работать с моделями данных технологических процессов и удовлетворяющие требованиям технологических процессов.

В блоке 4 из каждого выбранного подмножества возможных технологий (экземпляров класса) нужно выбрать по одному экземпляру технологий, удовлетворяющему критериям оценки технологий, сформулированным менеджментом организации и отраженным в моделях системы процессов и системы классов технологий, и объединить выбранные технологии в модель системы технологий конкретной организации.



Рисунок 3 – Модель процесса концептуального моделирования системы технологий

Требованиями к методам концептуального моделирования системы технологий являются:

- использование в моделях структурированного естественного языка, понятного всем заинтересованным сторонам концептуального моделирования (специалистам разного профиля);
- ориентация на коллективную разработку моделей персоналом организации в асинхронном режиме (необходимость коллективной разработки и экспертной оценки моделей «как будет»);
- возможность создавать связанные между собой модели разных аспектов (функционального, данных, ресурсного и организационного);
- возможность отображения в аспекте описания объектов из других аспектов описания;
- наличие методологии, обеспечивающей надежность и достоверность результатов моделирования;
- визуальное представление, позволяющее легко понимать суть модели;
- возможность генерации моделей с использованием ручных и автоматизированных средств (CASE);
- модели должны отражать как декомпозицию, так и сборку процессов, представлять главные представления организации по ГОСТ Р ИСО 19439-2008;

- возможность использования концептуальных моделей в техническом проекте системы технологий.

В отличие от методов, используемых в техническом проектировании, IDEF-методы, порожденные и ассоциированные с SADT, позволяют в модели одного аспекта связывать и согласовывать задачи функций и их связи-данные (входы и результаты; цели и требования к результатам и процессам; ресурсы и роли участников процессов, используемые для решения задач функций), что необходимо для представления моделей организации и учета влияния моделей разных аспектов друг на друга. Интеграция IDEF-методов позволяет установить взаимодействие между моделями разных аспектов, например, экспортировать и импортировать сущности и их атрибуты между функциональными моделями и моделями данных. Используя предложенные средства, можно моделировать системы процессов как текущего состояния (модели «как есть»), так и целевого (модели «как будет»). При этом разработанные модели обязаны проходить верификацию в соответствии с разработанной SADT-методологией процедурой верификации, чем обеспечивается их достоверность.

IDEF-моделирование также поддерживают среды автоматизации (например, Business studio, Process Modeller, Data Modeller, Design/IDEF, 3SL Cradle).

В результате проведенных исследований обнаружено, что концептуальное моделирование сталкивается с рядом трудностей и направлено на их преодоление:

1. Высокая трудоемкость получения и неполнота данных о функционирующих процессах. Обусловлена некачественным или отсутствующим описанием процессов;
2. Отсутствие системы метрик (количественной оценки) процессов деятельности. Критерии оценки процессов зачастую не формализованы. Существующие механизмы оценки процессов нерегулярны, слабо формализованы;
3. Трудность достижения консенсуса (для выбранной точки зрения модели) между участниками моделирования в связи с различным пониманием управленческих и технологических процессов разными руководителями. В разработке моделей принимает участие большое количество руководителей разного уровня с различным видением целевого состояния процессов «как будет»;
4. Отсутствие необходимых данных для синтеза моделей целевого состояния «как будет» и вытекающая из этого необходимость добывать и генерировать новые данные на определенных уровнях декомпозиции;
5. Наличие в моделях системы процессов состояния «как есть» большого количества перекрестных обратных связей, многомерность и многосвязность затрудняет понимание и управление процессами.

Характеристики системы (совокупности элементов и связей) как целого определяются ее структурой. Она отвечает на вопросы о том, что должна делать система и является основополагающим описанием. Ответы на вопросы «кто», «в какой последовательности», «когда» и другие, являются вторичными. Поэтому требования многих стандартов построения сложных систем (например, стандарты систем менеджмента качества и моделирования организаций) требуют обязательного описания их структуры. Следуя стандартам и лучшим практикам, структуру организационно-технических автоматизированных систем управления целесообразно строить с использованием обратных связей и регуляторов в замкнутых контурах управления, роль которых могут выполнять как автоматы, так и люди (руководители).

Руководствуясь этим, можно синтезировать многоконтурные автоматизированные организационно-технические системы с перекрестными связями, аналогичные по структуре техническим системам, которые теория управления относит к классу многомерных многосвязных систем. Осуществление централизованного управления в таких системах (в том числе технических и при наличии их математического описания) трудоемко в части синтеза их регуляторов в виде единой доминирующей управляющей функции (организационной единицы), а также при внедрении и эксплуатации. Децентрализованное (распре-

деленное) управление, организованное в виде множества доминирующих функций, генерирующих управленческие решения и требования к процессам и подсистемам, на каждом уровне управления организацией, не оптимально, но позволяет существенно уменьшить затраты на их проектирование, реализацию (изготовление) и внедрение вследствие меньшей сложности связей, а также повысить устойчивость и живучесть создаваемых систем.

«Уходить» от многомерных многосвязных систем процессов можно на уровне моделирования структуры «как будет». Так как система процессов организации является целеориентированной, то ее процессы подчинены декомпозированным целям. Следовательно, структура процессов может быть построена с заданной степенью детализации как целеориентированная структура подчиненного управления. В отличие от технических систем, где входом подчиненной структуры является сигнал управления, а выходом регулируемая физическая величина, для подчиненного блока функциональной модели, преобразующей входы в результаты, управлением является цель, а результатом управления – степень достижения цели. Менеджмент заключается в постановке цели и ее достижении посредством синтеза внутренней структуры подчиненного блока (подсистемы), а также выделения ему долговременных ресурсов («механизмов») требуемых для достижения заданного диапазона значений цели. При этом данные, необходимые для управления подчиненной подсистемой хранятся и используются внутри нее, а во вне передаются данные, необходимые доминирующей над ней системе. Такой блок может работать в режиме «ручного управления», что упрощает внедрение системы и повышает ее живучесть.

Подчиненное целям управление процессами – введенный в работе принцип концептуального моделирования, суть которого заключается в том, что иерархические процессы и функции подчинены декомпозированным целям соответствующего уровня. Понятие уместно использовать в диссертации, теории и практике как название класса процессов, обеспечивающих достижение заданных целей при установленных ограничениях и в условиях определенных возмущений (рисунок 4).

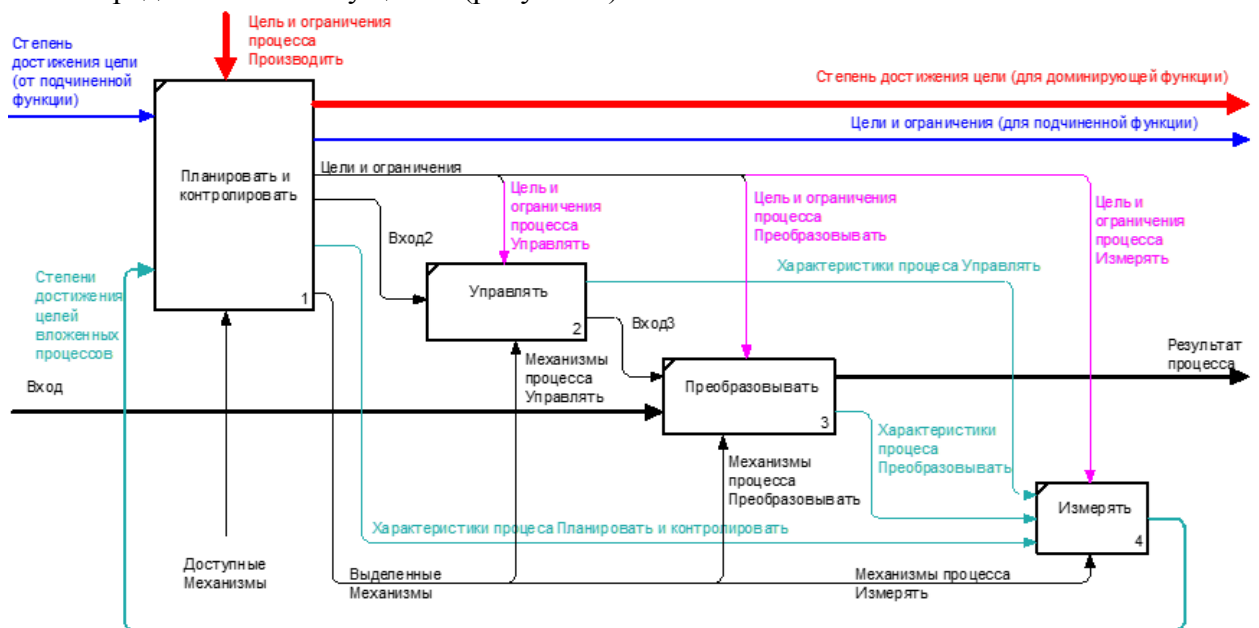


Рисунок 4 – Модель процесса, подчиненного целям

Модели процессов организации могут строиться менеджментом организации для разных целей и для разного их практического использования с использованием выбранных средств. Для разработки системы технологий нужны модели системы процессов, построенные с точки зрения руководства организации, целью которых являются ответы на основные вопросы:

- *Какова структура системы процессов, использующих технологии?*

- *Какие технологии и роли персонала (Механизмы) используются в процессах, каковы требуемые характеристики технологий и компетенции ролей?*
- *Какие входные данные используют функции (Входы) и в какие данные они их преобразуют (Выходы), каковы характеристики этих данных?*
- *Каковы требования к функциям (процессам) преобразования?*

В результате исследования и моделирования деятельности примера НПОр (приведены в томе 2 диссертации), по результатам анализа процесса моделирования сформулированы *принципы* разработки концептуальных моделей организаций:

- цель: конкурентоспособность системы технологий;
- системный и процессный подходы к разработке моделей;
- точка зрения моделей: высшего руководства;
- процессы подчинены целям;
- данные для системы технологий определяются из модели системы процессов организации;
- детальность моделей: определены решаемые задачи, требования, технологии и компетенции, сущности и атрибуты связей;
- методы концептуального моделирования системы процессов организации - семейство IDEF-методов.

Руководствуясь предложенными принципами, моделируя деятельность по управлению организацией в различных аспектах и отвечая на поставленные перед моделями вопросы, можно уже на начальном этапе синтеза оптимальной (улучшенной) структуры деятельности выявлять функции, автоматизация и реинжиниринг которых наиболее актуальны и возможны на данном уровне развития организации для достижения и поддержки необходимого уровня конкурентоспособности, а также определять средства и механизмы, обеспечивающие автоматизированные функции.

Базирующаяся на указанных принципах разработанная в диссертации платформа позволяет обеспечить обоснованный синтез концепции и реинжиниринг системы процессов организации.

В третьей главе установлены этапы и правила трансформации моделей процессов в модели системы технологий, апробированные в ходе реинжиниринга системы процессов и системы технологий примера НПОр, обеспечивающей ЖЦ наукоемкой продукции судостроения.

Результаты моделирования системы процессов, построенной для целей синтеза системы технологий (рисунок 5), концептуально определяют требуемые характеристики технологий и компетенции ролей как механизмов процессов, а используемые ими данные – как связи процессов. На этой основе можно построить функциональную модель системы классов требуемых технологий (рисунок 6), *используя в качестве ее функций классы технологий, в качестве входов и выходов – характеристики входных и выходных данных, в качестве управлений – требования к технологиям, а в качестве механизмов – роли персонала*. Экосистемы технологий и рынок автоматизированных решений сформировали набор классов технологий автоматизации, предназначенных для решения соответствующих классов задач ЖЦ организации и ее продукции, развивают и пополняют как количество классов, так и их экземпляры.

Процесс построения модели классов заключается в классификации решаемых функциями задач и используемых ими технологий, установленных в разработанной ранее системе процессов организации. При этом следует учитывать текущее состояние организации и ее перспективы развития.

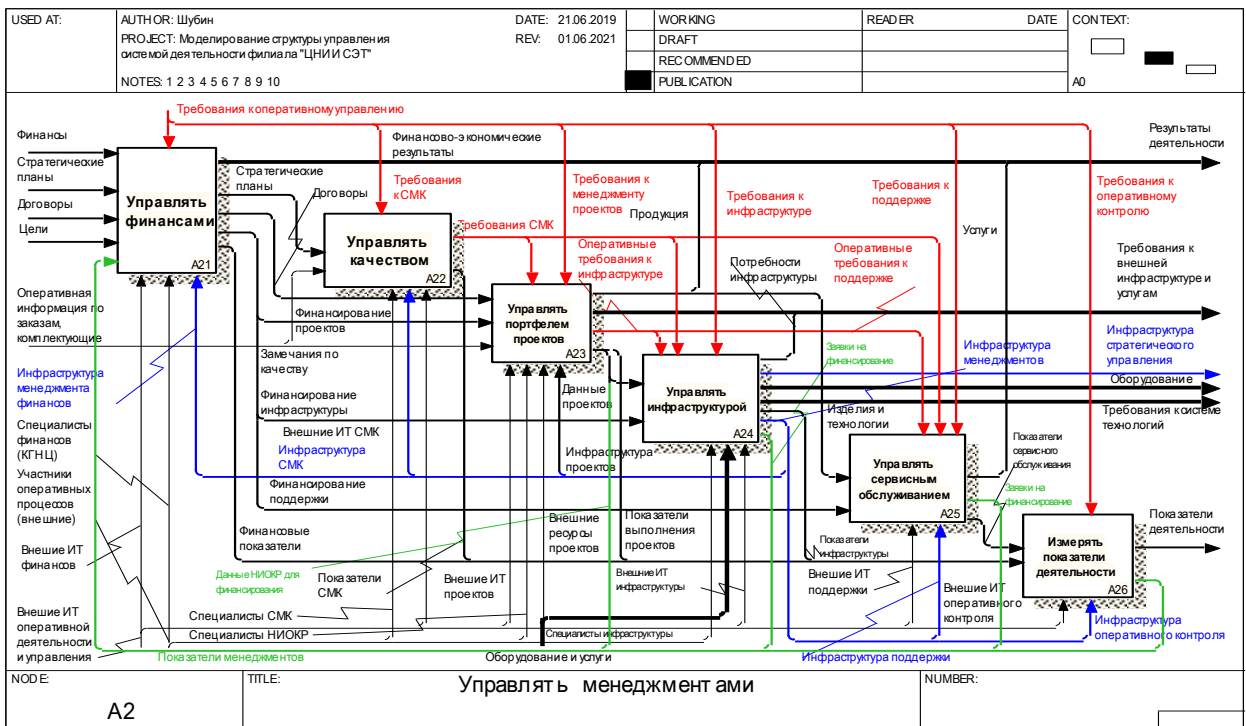


Рисунок 5 – Диаграмма модели целевого состояния системы процессов примера НПО

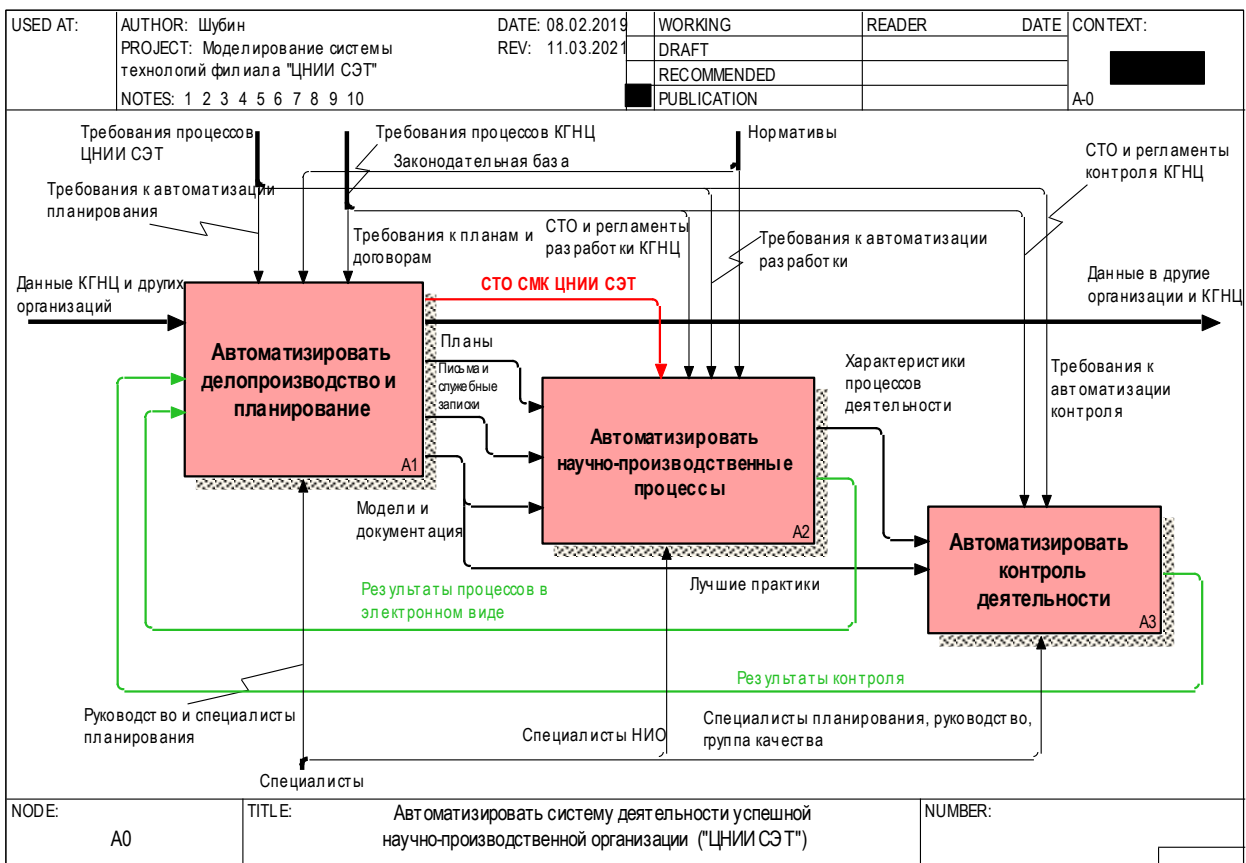


Рисунок 6 – Диаграмма модели целевого состояния системы классов технологий примера НПО

При дальнейшей декомпозиции модель достигает уровня использования классов технологий, имеющихся в экосистемах технологий или разрабатываемых организацией, и связей между ними в виде спецификаций данных. В спецификации данных используются определенные сущности (например, геометрические модели) и их атрибуты (геометрические размеры, массовые характеристики и т.д.). Значения атрибутов определяются в ре-

результате выполнения компонентами системы технологий определенных действий (рисунок 7).

В этой связи наиболее удобным и наглядным для понимания является разработка уровней декомпозиции модели на языке методологии графического структурного анализа и проектирования информационных систем DFD (data flow diagrams — диаграммы потоков данных). DFD-диаграммы поясняют работу функций IDEF0-модели, оперируют информационными системами и данными.

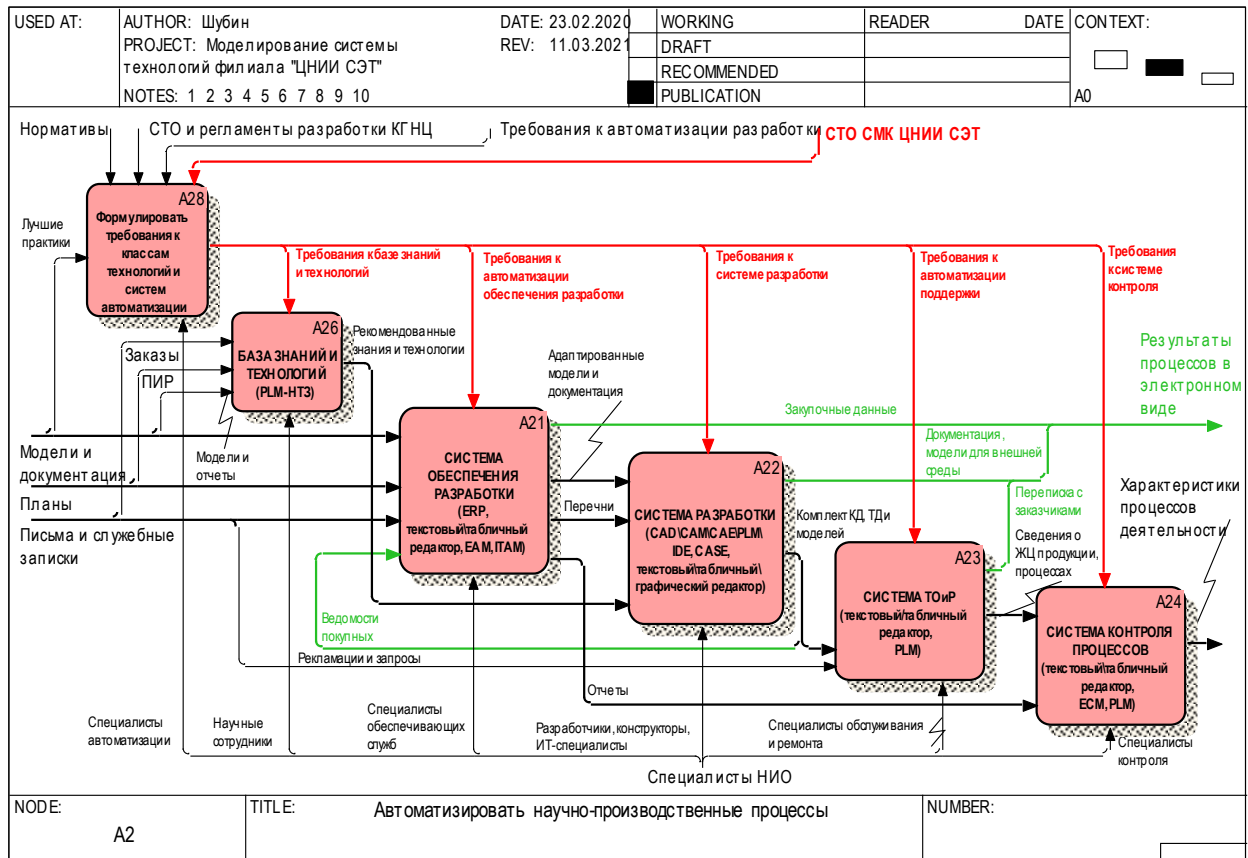


Рисунок 7 – DFD-диаграмма модели целевого состояния системы классов технологий примера НПОр

Из связей управления и входов DFD-диаграмм модели системы классов технологий выделяются требования к каждому классу технологий.

Для обоснования выбора конкретного экземпляра класса технологии создается сводная таблица требований и их значений для всех имеющихся на рынке систем и технологий данного класса. Значения требований нормируются, вычисляется интегральное значение для каждого экземпляра. По результатам сравнительного анализа интегральных значений можно сделать вывод о целесообразности внедрения (создания новой, адаптации существующей) в систему технологий конкретного экземпляра технологии или системы автоматизации.

На основании совокупности выбранных технологий, удовлетворяющих требованиям конкретной организации, концептуальная модель системы классов технологий трансформируется в модель системы технологий конкретной организации, где системы и функции представляют собой выбранные экземпляры классов технологий, а связи между ними являются документами и моделями, реализованными в виде файлов, которыми технологии обмениваются посредством своих интерфейсов. При этом требования и механизмы-роли остаются неизменными.

Четвертая глава посвящена обобщению результатов работы.

Сформулирована последовательность этапов концептуального моделирования системы технологий обеспечения ЖЦ наукоемкой продукции:

1. Идентификация проблем организации и ЖЦ ее продукции. Определение исходной информации для моделирования: миссии, целей, показателей, критериев оценки процессов.

2. IDEF-моделирование системы процессов организации с точки зрения ее руководства с целью построения системы технологий. Моделирование выполняется для текущего и целевого состояний деятельности.

3. Генерация системных требований к технологиям, обеспечивающим процессы ЖЦ продукции организации.

4. Декомпозиция системных требований – генерация требований к классам технологий, направленных на: минимизацию стоимости владения, улучшение функциональности и качества соответствующих процессов и продукции. Разработка IDEF\DFD-моделей системы классов технологий.

5. Трансформация модели классов технологий в модель системы технологий. Выполняется сравнительный анализ имеющихся на рынке экземпляров классов на предмет соответствия требованиям. Требования могут быть нормированы и ранжированы. Определяются технологии, наилучшим образом удовлетворяющие требованиям.

6. Передача результатов концептуального моделирования в процессы технического проектирования системы технологий. Далее ЖЦ системы технологий организации выполняется в соответствии с известными апробированными практиками и методиками (ГОСТ серии 34, ЕСПД, ITIL, ITISM и др.).

Таким образом, посредством моделей примера НПОр продемонстрирована прослеживаемость общих требований процессов ЖЦ к системе технологий до требований к классам средств и технологий автоматизации. Выполняя анализ соответствия требованиям для имеющихся на рынке экземпляров классов, возможно сделать обоснованный выбор конкретной технологии (системы). Взаимосвязанная совокупность таких технологий и систем образует эффективную систему технологий, организация и управление которой осуществляется известными лучшими практиками.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В ходе проведенных теоретических и экспериментальных исследований в диссертационной работе получены следующие результаты.

Решена научная задача согласования системы процессов организации с обеспечивающими такую систему технологиями. Цели, показатели, данные и информация, используемые ресурсы системы процессов трансформируются в требования к технологиям, объединенным в систему, что позволяет организациям решать задачи обеспечения жизненного цикла инновационных наукоемких изделий.

Разработана система решений, представляющая собой методологическую платформу концептуального моделирования системы технологий для организаций, обеспечивающих ЖЦ инновационных наукоемких изделий; система практических рекомендаций для разработки концептуальных моделей системы технологий и моделирования процессов деятельности организаций.

Разработаны и внедрены в производственные процессы крупных научно-производственных организаций: филиала «ЦНИИ СЭТ» ФГУП «Крыловский государственный научный центр» и ООО «Научно-производственный центр «Судовые электротехнические системы», утвержденные модели процессов и модели системы автоматизированных технологий текущего и целевого состояний организации, а также положения разработки концепции системы технологий, определяющей взаимосвязанные автоматизированные инструменты и технологии, требования к ним, на основании которых создана и развивается ИТ-инфраструктура, обеспечивающая выполнение проектов по созданию и

поддержке наукоемкой электротехнической продукции судостроения (см. Приложения), что подтверждается соответствующими актами внедрения.

Инновационный потенциал результатов позволяет организации повысить качество проектирования и модернизации своей системы технологий, что дает возможность эффективно обеспечивать ЖЦ наукоемких инновационных изделий.

В перспективе результаты работы могут быть использованы для синтеза других целеориентированных подсистем организации, требующих системного обоснования, например, подсистем управления персоналом, знаниями.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК:

1. Шубин Р.В., Прокофьев Г.И. Концепция ранней стадии проектирования системы управления предприятием // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2016. – №2. – С. 53-59.
2. Шубин Р.В., Прокофьев Г.И. Проектирование ИТ-инфраструктуры системы управления научно-производственного предприятия // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2017. – №3. – С. 47-55.
3. Шубин Р.В. Разработка модели ИТ-инфраструктуры системы управления научно-производственного предприятия // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2018. – №3. – С. 61-65.
4. Шубин Р.В. Модели структуры процессов автоматизации деятельности научно-производственной организации // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2020. – №3. – С. 66-75.
5. Прокофьев Г.И., Шубин Р.В. Методы IDEF в моделировании организаций // «Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»». 2020. Вып. 6. - С. 37 - 43.
6. Шубин Р.В., Прокофьев Г.И. Модели структуры информационных технологий научно-производственной организации // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2021. – №1. – С. 42-50.
7. Шубин Р.В. Проектирование системы технологий научно-производственной организации // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2022. – №1. – С. 45-53.

Статьи, опубликованные в других изданиях и материалах конференций:

1. Шубин Р.В. «Информационный менеджмент предприятий судостроения. Проблемы, пути и опыт их решения». /67-я Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава университета: Сборник докладов студентов, аспирантов и молодых ученых. Санкт-Петербург, 27 января – 3 февраля 2014. 290 с. Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ». УДК 621.3, ББК 3 2, Н34.
2. Шубин Р.В. «Информационные технологии в электротехническом проектировании» /Российское кораблестроение: от академика А.Н. Крылова до наших дней : Тез.докл.конф. / ФГУП "Крыловский гос. науч.центр" .— СПб, 2014 .— 129-131 с. УДК 621.311.001.63: 629.5.
3. Шубин Р.В., Балабанов Б.А. Проблемы автоматизации электротехнического проектирования и опыт их решения в филиале «ЦНИИ СЭТ» ФГУП «КГНЦ» // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2015. – № 89 (373). – С. 121-132.
4. Шубин Р.В. «Развитие информационных технологий в проектировании изделий и управлении предприятием в филиале «ЦНИИ СЭТ». /Конференция молодых ученых и

- специалистов 2015: Тезисы докладов. – СПб.: «ФГУП Крыловский государственный научный центр», 2015. 168с: ил. УДК 629.5:061.3, ББК 39.42, К 64.
5. Шубин Р.В. «Проблемы и опыт автоматизации проектирования на предприятиях средствами ИТ». /68-я Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава университета: Сборник докладов студентов, аспирантов и молодых ученых. Санкт-Петербург, 28 января – 5 февраля 2015. 298 с. Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ». УДК 621.3, ББК 3 2, Н34.
 6. Шубин Р.В. «Проектирование ИТ-инфраструктуры системы управления научно-производственного предприятия». /Конференция молодых ученых и специалистов 2016: Тезисы докладов. – СПб.: «ФГУП Крыловский государственный научный центр», 2016. 127с: ил. УДК 629.5:061.3, ББК 39.42, К 64.
 7. Шубин Р.В. «Разработка требований к автоматизированной системе управления проектами судостроительного предприятия электротехнического профиля». /Труды международной конференции по судостроению и океанотехнике (NAOE2016) : Сб. ст. : Int. Conference on Naval Architecture and Ocean Engineering (NAOE2016, 6-8 June, 2016, St-Petersburg, Russia) / СПбГМТУ ; НТОС им. акад. А.Н. Крылова ; под ред. К.В. Рождественского .— СПб, 2016 .— с.566-569.
 8. Шубин Р.В. «Разработка требований к автоматизированной системе управления проектами судостроительного предприятия электротехнического профиля». /69-я Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава университета: Сборник докладов студентов, аспирантов и молодых ученых. Санкт-Петербург, 26 января – 4 февраля 2016. 349 с. Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ». УДК 621.3, ББК 3 2, Н34.
 9. Шубин Р.В., Прокофьев Г.И. «Проектирование ИТ-инфраструктуры системы управления научно-производственного предприятия». /70-я Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава университета: Сборник докладов студентов, аспирантов и молодых ученых. Санкт-Петербург, 1 – 11 февраля 2017. 347 с. Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ». УДК 621.3, ББК 3 2, Н34.
 10. Шубин Р.В. «Разработка модели ИТ-инфраструктуры системы управления научно-производственного предприятия». /71-я Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава университета: Сборник докладов студентов, аспирантов и молодых ученых. Санкт-Петербург, 29 января – 9 февраля 2018. 304 с. Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ». УДК 621.3, ББК 3 2, Н34.
 11. Шубин Р.В. «Разработка универсальной модели системы деятельности успешной научно-производственной организации». /72-я Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава университета: Сборник докладов студентов, аспирантов и молодых ученых. Санкт-Петербург, 5 – 12 апреля 2019. 295 с. Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019. УДК 621.3, ББК 3 2, Н34.
 12. Шубин Р.В. «Комплексная автоматизация разработки электротехнической продукции в филиале «ЦНИИ СЭТ» ФГУП «КРЫЛОВСКИЙ ГНЦ». /Первая отраслевая научно-практическая конференция «Производственные технологии в судостроении – вопросы информатизации» (ПТС ВИ-2021). Труды конференции. СПб, 2021 .— 178-186 с.
 13. Г. И. Прокофьев, Д. В. Самохвалов, Р. В. Шубин / Концептуальное моделирование организации // Проектирование и обеспечение качества информационных процессов и систем : Сборник докладов Международной конференции, Санкт-Петербург, 15–17 марта 2022 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина), 2022. – С. 62-65.