

На правах рукописи



Ручьев Анатолий Геннадьевич

**Модели и методики мониторинга реализации этапов  
жизненного цикла продукции наукоемкого приборостроения**

Специальность 05.02.22 – Организация производства  
(радиоэлектроника и приборостроение)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2021

Работа выполнена на кафедре инноватики и интегрированных систем качества Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ГУАП).

Научный руководитель: **Ивакин Ян Альбертович**  
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Бундин Герман Георгиевич**  
доктор технических наук, доцент,  
старший научный сотрудник научно-образовательного  
комплекса АО «Научно-производственное предприятие  
«Радар ммс»

**Кирик Дмитрий Игоревич,**  
кандидат технических наук, доцент,  
декан факультета радиотехнологий связи ФГБОУ ВО  
«Санкт-Петербургский государственный университет  
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича»

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1

Защита состоится «30» ноября 2021 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.233.04 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по адресу: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит.А.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по адресу: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит.А. Автореферат и текст диссертации размещены на сайте университета <http://dissov.guap.ru>.

Автореферат разослан «13» октября 2021 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.233.04  
доктор технических наук, доцент



Фролова Е.А.

## **I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность работы.** В современных рыночных условиях предприятия наукоемкого приборостроения стремятся не только создавать и поставлять свои изделия потребителям, но и брать их на техническое обслуживание на основных этапах жизненного цикла и участвовать в утилизации на завершающих этапах. У предприятий наукоемкого приборостроения открывается новый, специфический рынок предоставления услуг по поддержанию процессов эксплуатации и восстановления технической готовности уже поставленных изделий. В интересах обеспечения организации, планирования и эффективного предоставления указанных услуг современные отечественные предприятия наукоемкого приборостроения активно разворачивают информационно-мониторинговые сети (ИМС) для поставленных потребителям приборных комплексов с целью мониторинга их состояния, технической готовности и уровня реализации мероприятий гарантийного и постгарантийного обслуживания. ИМС реализуют принцип «обратной связи предприятия наукоемкого приборостроения с потребителем», что позволяет снизить издержки и повысить эффективность применения изделий предприятия, а в конечном итоге, добиваться повышения уровня его производственной деятельности.

Однако сегодня процессы формирования и развертывания ИМС для продукции наукоемкого приборостроения, как средств мониторинга производственных процессов осуществляется на основе эмпирического опыта по междисциплинарному принципу. Этот факт ведет к необоснованным затратам при их создании, высокой итеративности процессов их перепроектирования и доработки, нерациональному характеру их дальнейшего использования. Укрепление же тенденции мирового приборостроения по поддержанию технической готовности сложных изделий за счет эксплуатационных услуг предприятий-производителей объективно требует качественного совершенствования и высокой эффективности применения ИМС, как средств мониторинга реализации основных этапов жизненного цикла (ЖЦ) указанных изделий. Обеспечить удовлетворение данного требования возможно только вооружив процессы проектирования и развертывания ИМС изделий наукоемкого приборостроения научно-методическим инструментарием моделирования и анализа.

В рамках реализации Указов Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» и от 21.07.2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года», в том числе с целью решения задачи по обеспечению ускоренного внедрения цифровых технологий в экономике и социальной сфере, одной из основных задач промышленных предприятий, в частности ориентированных на наукоемкие отрасли производства, является повышение уровня цифровизации производственных процессов. На улучшение организации процессов на всех этапах ЖЦ производства наукоемкой продукции направлена Государственная программа «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности», утвержденная Постановлением Правительства РФ от 15 апреля 2014 года №328, что определяет актуальность разработки информационных средств мониторинга этапов жизненного цикла продукции промышленных предприятий.

Актуальность темы исследования определяется необходимостью разрешения объективного противоречия между существующей потребностью в научно-методическом инструментарии моделирования ИМС для изделий наукоемкого приборостроения в интересах мониторинга реализации этапов их ЖЦ и недостаточным уровнем его развития в настоящий момент.

**Степень разработанности темы исследования,** направленного на повышение уровня производственной деятельности предприятий наукоемкого приборостроения за счет применения и совершенствования соответствующих ИМС, как средств мониторинга реализации этапов ЖЦ выпускаемой продукции, характеризуется научной междисциплинарностью и определяется ре-

зультатами научных работ ученых различных направлений. Методологической основой для разработки диссертации явились результаты следующих исследований:

- процессный подход к организации и анализу производства, раскрытый в работах Адлера Ю., Гарднера Р., Э.П.Райхмана, Е.Г.Семеновой, Х.Й.Миттага, Х.Ринне, В.А.Липатникова и др. На базе этого подхода в диссертационном исследовании произведена конкретизация моделей реализации этапов жизненного цикла изделий - продукции предприятий приборостроения;

- результаты научных работ по направлению развития методических и логико-алгоритмических моделей, средств оценки результативности организационно-производственных систем, разработанных в научных исследованиях К.Кернса, Т.Саати, Р.М.Юсупова, Б.Я.Советова, А.П.Ястребова, С.В.Богословского и др. Основные методы и модели этого направления легли в основу научно-методического аппарата мониторинга реализации этапов ЖЦ изделий в интересах обеспечения повышения уровня производственной деятельности предприятий приборостроения;

- объектно-ориентированный подход к разработке и созданию прикладного программного обеспечения современных высокосложных программных комплексов, развитый в трудах С.Макконелла, У.Харрисона, К.В.Кринкина, Я.А.Ивакина и др. На базе этого подхода проработаны и апробированы проблематика, пути и приемы автоматизации процесса мониторинга этапов жизненного цикла изделий наукоемкого приборостроения.

**Цель работы** – повышение уровня производственных процессов предприятий наукоемкого приборостроения за счет применения и совершенствования информационно-мониторинговых сетей, как средств мониторинга реализации этапов жизненного цикла выпускаемой продукции.

**Объект исследования** – информационно-мониторинговые сети для продукции наукоемкого приборостроения, как средства мониторинга реализации этапов их жизненного цикла.

**Предмет исследования** - моделирование ИМС для продукции наукоемкого приборостроения в интересах улучшения мониторинга реализации этапов жизненного цикла такой продукции.

**Задачи исследования:**

1. Анализ принципов и особенностей организации наукоемкого приборостроения, определение роли и значения информационно-мониторинговых сетей для мониторинга реализации основных и поздних этапов жизненного цикла соответствующей продукции;
2. Разработка моделей синтеза структуры и оценки результативности информационно-мониторинговой сети для продукции наукоемкого приборостроения;
3. Обоснование и разработка методики управления изменениями информационно-мониторинговой сети для продукции наукоемкого приборостроения;
4. Выработка методики информатизации мониторинга этапов жизненного цикла продукции наукоемкого производства на базе цифровых двойников, дающей возможность адаптировать предлагаемый научно-методический аппарат к условиям цифровой экономики.

**Методы исследований:** в целях решения задач исследования применены методы структурной обработки данных, системного анализа, квалиметрии, информационно-структурной реконструкции и проверки статистической значимости, а также научно-методические средства обоснования решений по цифровизации и информатизации современного производства.

**Тематика работы соответствует областям исследования:** 1. «Разработка научных, методологических и системотехнических основ проектирования организационных структур предприятий и организации производственных процессов. Стратегия развития и планирования организационных структур и производственных процессов.»; 2. «Разработка методов и средств эффективного привлечения и использования материально-технических ресурсов и инвестиций в организацию производственных процессов»; 3. «Разработка методов и средств информатизации и компьютеризации производственных процессов, их документального обеспечения на всех стадиях»; 4. «Моделирование и оптимизация организационных структур и производственных про-

цессов, вспомогательных и обслуживающих производств. Экспертные системы в организации производственных процессов»; 5. «Разработка научных, методологических и системотехнических принципов повышения эффективности функционирования и качества организации производственных систем. Повышение качества и конкурентно способности продукции, системы контроля качества и сертификации продукции. Системы качества и экологичности предприятий»; 10. «Разработка методов и средств мониторинга производственных и сопутствующих процессов», 11. «Разработка методов и средств планирования и управления производственными процессами и их результатами» паспорта специальности 05.02.22 – «Организация производства (радиоэлектроника и приборостроение)».

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Модель синтеза структуры ИМС для продукции наукоемкого приборостроения;
2. Модель оценки результативности ИМС продукции наукоемкого приборостроения;
3. Методика управления изменениями ИМС для продукции наукоемкого приборостроения;
4. Методика информатизации мониторинга этапов ЖЦ продукции наукоемкого производства на базе цифровых двойников.

**Научная новизна** предлагаемых научных результатов заключается в:

1. Модель синтеза структуры ИМС для продукции наукоемкого приборостроения обеспечивает усовершенствование современного научно-методического аппарата проектирования и организации ИМС для указанной продукции путем учета геопространственных и статистических аспектов такого синтеза, что, в конечном итоге, повышает результативность мониторинга реализации этапов ЖЦ выпускаемой продукции.
2. Модель оценки результативности ИМС продукции наукоемкого приборостроения позволяет, в отличие от известных методов, повысить уровень производственных процессов предприятий наукоемкого приборостроения, за счет расширенного учета и сведения в единую вложенную структуру всего множества показателей результативности применяемых ИМС и контроля эффективности решений по управлению этими сетями.
3. Методика управления изменениями ИМС для продукции наукоемкого приборостроения, в отличие от известных, обеспечила рост обоснованности решений по конфигурированию указанных сетей за счет применения аппарата информационно-системологической реконструкции при моделировании указанных изменений.
4. Методика информатизации мониторинга этапов ЖЦ продукции наукоемкого производства на базе цифровых двойников обеспечивает совершенствование процессов сбора и системного накопления данных по мониторингу реализации этапов ЖЦ для повышения уровня производственных процессов предприятий наукоемкого приборостроения.

**Обоснованность и достоверность научных результатов** обусловлена учетом научных достижений предметной области, анализом, типизацией и обобщением в диссертации полного круга различных научных подходов. Достоверность выносимых на защиту научных результатов обеспечивается корректным использованием апробированного в научной практике исследовательского аппарата, подтверждается данными апробаций и экспериментирования, фактами внедрения результатов на предприятиях наукоемкого приборостроения.

**Практическая значимость** заключается в:

- развитии научно-методического аппарата и программных средств проектирования и организации ИМС для продукции наукоемкого приборостроения;
- дополнением процедур оценки результативности ИМС продукции наукоемкого производства инструментарием сведения соответствующих частных показателей в интегральный по иерархической схеме вложенности;

- снижении итеративности процесса формирования ИМС для конкретных видов продукции приборостроения;
- выработке научно-методического и проектно-технологического аппарата, развития производственных процессов предприятий наукоемкого приборостроения посредством обратной связи с потребителями путем мониторинга реализации основных и поздних этапов жизненного цикла выпускаемых приборов;
- поддержании цифровизации отечественного высокотехнологичного производства;
- снижении затрат на сопровождение продукции наукоемкого приборостроения на основных и поздних этапах её жизненного цикла.

В ходе диссертационного исследования разработан базовый стандарт предприятия «Организация производственных процессов с использованием результатов мониторинга реализации основных и поздних этапов жизненного цикла поставляемых изделий», который определяет методики и процедуры развертывания информационно-мониторинговых сетей для продукции наукоемкого приборостроения, организацию сбора, накопления и обработки данных из таких сетей в интересах повышения уровня производственных процессов предприятия. Стандарт апробирован, внедрен и полностью реализован на предприятии АО «Концерн «ОКЕАНПРИБОР».

**Личный вклад автора** состоит в непосредственной разработке моделей синтеза структуры и оценки результативности ИМС продукции наукоемкого производства, методики управления изменениями указанной сети. Также им самостоятельно разработаны: методика информатизации мониторинга этапов жизненного цикла продукции наукоемкого производства на базе цифровых двойников, стандарт «Организация производственных процессов с использованием результатов мониторинга реализации основных и поздних этапов жизненного цикла поставляемой продукции» в качестве базового для приборостроительных предприятий. Все положения, выносимые на защиту, и выводы, представленные в диссертации, получены автором самостоятельно. Автор лично реализовал апробацию и публикацию научных результатов исследования.

**Реализация работы:** Научные результаты исследования апробированы, внедрены при организации и совершенствовании процессов разработки, производства и поставки продукции наукоемкого приборостроения, что подтверждается актами внедрения в АО «Концерн «ОКЕАНПРИБОР», ООО «Научно-производственная компания «Технологии. Инвестиции. Менеджмент», АО «Лазерные системы». Научные результаты внедрены в ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», а также в образовательный процесс ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

**Апробация.** Научные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 7 Международных научных и научно-практических конференциях и научных семинарах.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 16 работ, из них: 5 - без соавторов, 8 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, 1 публикация в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования, 7 статей в других изданиях.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы, содержащего 252 наименования, и трех приложений. Основной текст диссертации представлен на 214 страницах, включая 21 таблицу и 36 рисунков. Общий объем диссертационной работы с учетом приложений составляет 240 страниц.

## II. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Введение** посвящено обоснованию актуальности выбранной темы, формулировке цели, основных частных задач исследования. Показана научная новизна, практическая значимость выполненной работы. Приведены основные положения, выносимые на защиту, сведения об апробации и внедрении результатов работы.

В **Первой главе** представлен анализ предметной области исследования с позиций требований к организации мониторинга этапов ЖЦ продукции наукоемкого приборостроения.

Производство наукоемкого приборостроения – это высокосложные и дорогостоящие приборы и изделия, поддержание технической готовности которых сопряжено со спецификой их создания, установки, пуска-наладки и комплексной стыковки на объекте эксплуатации. Строгих и однозначных критериев отнесения продукции приборостроения к наукоемкой на сегодняшний день не существует. Можно сформулировать следующие классификационные признаки, позволяющие отнести продукцию приборостроения к наукоемкой:

1. Соответствие передовым достижениям современной научной мысли, свойственной предметной области применения продукции, а также лучшим мировым технологическим и техническим практикам на текущий момент;

2. Высокая сложность исполнения продукции, предопределяющая необходимость целенаправленной реализации на основных этапах ЖЦ мероприятий по поддержанию её технической готовности, необходимость специализированной подготовки эксплуатантов;

3. Превалирование в стоимости итогового изготовления продукции прибавочной стоимости от трудозатрат разработчика-изготовителя;

4. Наличие индивидуальной специфики в изготовлении, установке и комплексной стыковке на объекте применения; невозможность полной типизации продукции в серии.

В современных рыночных условиях предприятия наукоемкого приборостроения (НП) стремятся не только создавать и поставлять свои изделия потребителям, но и брать их на техническое обслуживание на основных этапах ЖЦ и участвовать в утилизации на завершающих этапах. В интересах обеспечения организации, планирования и эффективного предоставления указанных услуг современные отечественные предприятия Н активно развертывают ИМС для поставленных потребителям своей продукции с целью мониторинга их состояния, технической готовности и уровня реализации мероприятий гарантийного и постгарантийного обслуживания.

Технически любая ИМС продукции НП есть географически-распределенная вычислительная сеть, транспортно-информационными узлами которой выступают строго определенные компьютерные станции в территориальных подразделениях компании-поставщика (или дочерней компании, реализующей практику работ по пуско-наладке, эксплуатационных и ремонтных работ на объектах размещения) продукции НП или абонентские автоматизированные рабочие места эксплуатантов-потребителей указанной аппаратуры, реализуемые в рамках клиент-серверной архитектуры по технологии тонкого клиента. Таких логических уровней декомпозиционной организации может быть несколько. Нижнем звеном указанной логической декомпозиции сети выступает программный абонент, ассоциированный с эксплуатантом, воплощаемый на соответствующем компьютере, находящемся на объекте размещения единицы продукции НП. Эксплуатант в процессе применения указанной продукции реализует внесение текущей формализованной информации по особенностям эксплуатации каждой контролируемой единицы продукции наукоемкого приборостроения. Он и представители компании поставщика имеют возможность получать указанную информацию в генерализованном и интегрированном виде в соответствующих узлах ИМС, как правило, ассоциированных со структурными подразделениями компаний, которые реализуют работу по поддержанию технической готовности и эксплуатационной применимости поставленной продукции НП на местах.

Функционально ИМС продукции НП есть систематизированная иерархия согласованных между собой программно-аппаратных комплексов, позволяющих реализовать соответствующие распределенную базу данных и единое информационно-телекоммуникационное пространство.

Централизованным хранилищем основных образов упорядоченных и актуализированных данных по ходу эксплуатации и поддержанию заданного уровня технической готовности продукции наукоемкого приборостроения, как правило, является соответствующий центр хранения данных, он же Data-центр, реализуемый на аппаратных средствах головного изготовителя соответствующей серии указанной техники. Функциональные узлы ИМС по логико-функциональному наполнению и масштабу агрегируемой эксплуатационной информации ставятся в соответствие с уровнями в системе управления организации-эксплуатанте. Логико-организационная структура типовой ИМС продукции НП представлена на Рисунке 1.

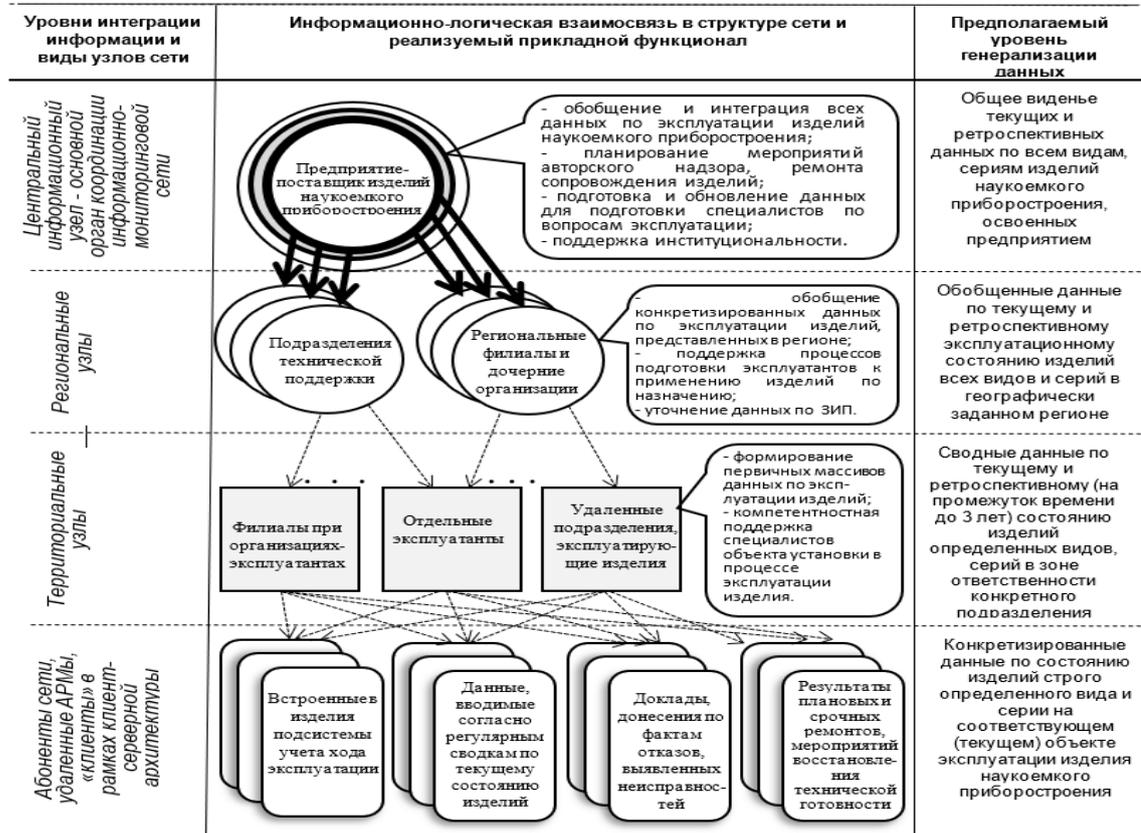


Рисунок 1. - Инфо-логическая структура информационно-мониторинговой сети данных о ходе эксплуатации и поддержания технической готовности продукции наукоемкого приборостроения

В работе НП приборостроения есть неотъемлемая часть обоснования, разработки и неформального проектирования указанных сетей. В современных условиях моделирование и предпроектная проработка параметров формирования ИМС производится с использованием общесистемных методических средств анализа и синтеза, на основе эмпирического опыта отдельных эксплуатантов и подвижников в развитии указанных сетей, по междисциплинарному принципу. Проведенное в рамках диссертационного исследования изучение существующего и применяемого сегодня научно-методического инструментария моделирования ИМС для продукции НП позволило выявить и обобщить основные требования, предъявляемые к разработке и проектированию указанных сетей, что показано в Таблице 1.

В ходе исследования обоснован вывод о том, что современный научно-методический инструментарий моделирования и анализа ИМС для НП фрагментарен и имеет недостаточный интегральный уровень развития в узкоспециальном понимании. Это ведет к необоснованным затратам при формировании ИМС, высокой итеративности процессов их перепроектирования и доработки, нерациональному характеру их дальнейшего использования.

В работе показано, что применяемые методы и программные средства моделирования и анализа ИМС не позволяют учесть в полной мере специфику построения и функционирования указанных сетей для продукции НП в интересах мониторинга реализации этапов их ЖЦ.

Таблица 1. – Обобщенные требования к разработке и проектированию ИМС

Обобщающая группа требований	Краткое наименование конкретизированного требования	Интерпретация существа конкретизированного требования	Нормативно-технические документы, регламентирующие реализацию требования
Телекоммуникационные	1.1. Обеспечение потребной пропускной способности	Основные каналы передачи данных сети должны обеспечивать пропускную способность не менее ...ГБ.	ГОСТ Р 51904 – 2002; ГОСТ Р 9001 -2015; ГОСТ Р 51902 -2002;и др.
	1.2. Интегральный характер обслуживания	Сеть должна позволять решать различные прикладные задачи на базе одной и той же инфраструктуры обмена	ГОСТ Р 56136 – 2014; ГОСТ Р 51904 -2002; ГОСТ Р 15.301 – 2016.
	1.3. Удаленный (мобильный) характер поддержки	Должен быть обеспечен удаленный доступ к данным и сервисам с использованием мобильных каналов связи	ГОСТ Р 15.000 –2016; ГОСТ Р 15.301-2016; ГОСТ Р 27.403-2009;и др.
	1.4. Структурируемость «транспортной» сети	Телекоммуникационная основа сети должна позволять менять её топологию и структуру информационных связей	ГОСТ Р 56136 -2014; ГОСТ Р 51904 -2002; ГОСТ Р 15.301 – 2016;и др.
Программно-функциональные	2.1. Организация на базе сервис-ориентированной архитектуры ППО	Программная реализация прикладных функций осуществляется с использованием клиент-серверного построения и программных сервисов	ГОСТ Р 51904 –2002; ГОСТ Р 15910 – 2002; ГОСТ Р 12207-2010;и др.
	2.2. Модифицируемость и структурируемость ПО	ПО должно позволять возможности наращивания прикладного функционала и компонентной архитектуры	ГОСТ Р 15288 -2005; ГОСТ Р 51904 – 2002; ГОСТ Р 15910 – 2002; ГОСТ Р 12207 - 2010.
	2.3. Примлемость ресурсоемкости	Потребное количество вычислительных ресурсов для работы ПО должно быть приемлемым с т.з. принятой практики автоматизации	ГОСТ Р 51904-2002; ГОСТ 15.971 – 90; ГОСТ 28806 – 90.
	2.4. Эргономичность и интерфейсная дружелюбность	Прикладное ПО должно обладать максимально интуитивно понятным интерфейсом пользователя	ГОСТ Р 51904 – 2002; ГОСТ Р 15910 – 2002; ГОСТ 34.201 – 89.
	2.5. Понятность построения кода	Общая структура написания кода комплекса должна быть линейной; код должен быть подробно откомментирован	ГОСТ Р 15.000 -2016; ГОСТ Р 15.301-2016.
Информационно-технологические	3.1.1. Гетерогенность обрабатываемых данных	Должна допускаться возможность обработки данных от разнотипных, разноформатных и разнородных источников информации	ГОСТ Р 12207-2010; ГОСТ Р 15910-2002; ГОСТ 34.601-90.
	3.2.1. Гармонизированность источников информации	Формат обработки данных в сети должен учитывать возможность приведения данных к единому внутреннему формату представления	ГОСТ Р 53393-2009; ГОСТ Р 53394-2009; ГОСТ 15971 -90.
	3.3. Интеграционный характер обработанных данных	Обработка данных должна позволять получать новое качество репрезентации	ГОСТ Р 53394-2009; ГОСТ Р 12207-2010; ГОСТ Р 15910-2002.
	3.4. Структурная упорядоченность данных	Обработка гетерогенных данных должна позволять устанавливать в структуре данных отношения строгого порядка	ГОСТ Р 12207-2010; ГОСТ 15971 -90; ГОСТ Р 15.301-2016.
Экономические	4.1. Затратность наращивания сети	Затраты на увеличение размеров сети должны приводить к конструктивному эффекту для пользователей	ГОСТ Р 27000 - 2015; ГОСТ Р 31010 – 2011.
	4.2. Экономическая эффективность создания и функционирования сети за период	Отношения результата от применения сети к затратам на её развитие, поддержание за определенный период должно быть более 1 и стремиться к максимуму	ГОСТ Р 9000 – 2015; ГОСТ Р 51 901.1 -2002; ГОСТ Р 51 901.2 -2002; ГОСТ Р 51 901.3 -2002; ГОСТ Р 51 901.5 -2002.
	4.3. Наличие конструктивного эффекта в рамках системы эксплуатации	Эффект от использования сети должен давать конструктивный прирост эффективности соответствующей системе эксплуатации изделий	ГОСТ Р 51 901.4 -2002; ГОСТ Р 25010 -2015; ГОСТ Р 12207 -2010; ГОСТ 28806 -90.
	4.4. Наличие прибыли от функционирования сети	Эффект от использования информационно-мониторинговой сети должен быть представим в денежно-количественном виде	ГОСТ Р 9001 -2015; ГОСТ Р 31010 – 2011; ГОСТ Р 31000-2010;и др.

В обобщении результатов анализа предметной области ИМС для продукции НП сделан вывод, что существует объективная необходимость разработки комплексного научно-методического инструментария моделирования указанных сетей, в интересах мониторинга реализации этапов её жизненного цикла, обеспечивающего повышение уровня производственных процессов указанных предприятий. Предлагаемая совокупность инструментария моделирования ИМС позволит добиться системного улучшения мониторинга реализации этапов ЖЦ продукции наукоемкого приборостроения.

**Вторая глава** посвящена разработке базовых моделей ИМС реализации этапов ЖЦ продукции наукоемкого приборостроения. Первой из указанных является модель синтеза структуры ИМС для продукции наукоемкого приборостроения, состоящая из 3 информационно-логических блоков, а именно:

- постановки задачи синтеза структуры сети;
- интеграции и статистического обоснование сводной структуры сети;
- обоснования информационного обеспечения синтеза структуры сети.

В основу постановки задачи синтеза структуры сети положен принцип обоснованного выделения необходимого и достаточного, но не избыточного количества узлов указанной сети, для эффективного сбора, обобщения и интеграции данных по ходу и особенностям эксплуатации мониторируемых единиц продукции, а также экономически-, организационно- и технически- рациональное определение количества и качества телекоммуникационных каналов информационного взаимодействия указанных узлов.

Построение структуры сводной ИМС на базе интеграции исходных структур информационно-распорядительных связей для конкретных видов продукции НП есть статистически обоснованное слияние упорядоченного семейства вершин из всех исходных сетей в сводную граф-структуру, в рамках которой дуги сохраняют свойства присущие дугам исходных граф-структур. Такое построение структуры сводной ИМС реализуется через получение суммарной картины о всех транзакциях данных по эксплуатации экземпляров рассматриваемой продукции, о наличии и направленности устойчивых информационных связей между географическими пунктами  $\{c_i\}$  расположения единиц продукции НП, установлением на её основе сводно-интегрированной структуры искомой сети и проведением рационализации, применительно к текущей номенклатуре продукции.

Синтез структуры ИМС осуществлен путем анализа количества транзакций передачи данных по вопросам эксплуатации единиц продукции НП между пунктами  $\{c_i\}$ , построения на этой основе указанной структуры с последующей её адаптацией к конкретным условиям фактического развертывания информационно-проводительной сети. В ходе опроса эксперта (-ов) формируются исходные матрицы  $\|a_{ij}^k\|$ , описывающие дуги исходных граф-структур информационно-распорядительных связей по конкретным видам продукции, на их основе синтезируется сводная матрица  $\|z_{ij}\|$  суммарного учета транзакций и строится матрица  $\|d_{ij}\|$  смежности графа канонической структуры ИМС, которая определяет устойчивые связи в структуре ИМС. На основе последней матрицы  $\|d_{ij}\|$  синтезируется структура  $G$  искомой ИМС. Обосновано, что вероятность того, что из  $k$  учтенных транзакций обмена данными по эксплуатации рассматриваемых единиц продукции  $r$  окажутся за определенную направленность между 2-мя элементами из множества узлов ИМС распределена по нормальному закону. Это позволило использовать стандартизированный математический аппарат проверки вероятностного вывода для испытаний Бернулли, где число испытаний равно числу  $k$  учтенных транзакций.

Исходя из представленного, найдено пороговое число учитываемых транзакций  $S_k$  из всего числа учтенных транзакций  $k$ , которое с заданной степенью риска  $\alpha$ , является достаточным для признания наличия устойчивой и направленной информационной связи между 2-мя элементами из множества узлов ИМС (постулировано  $\alpha = 0,1$ ), т.е.

$$S_k \geq m^{-1}[K + t_\alpha \sqrt{K(m-1)}], \quad (1)$$

где:  $m$  – число вариантов направленности информационной связи;  $K$  – число учитываемых транзакций передачи данных по вопросам эксплуатации единиц продукции наукоемкого приборостроения;  $t_\alpha$  - квантиль нормального распределения.

Определено правило преобразования сводной матрицы  $\|z_{ij}\|$  суммарного учета транзакций в матрицу  $\|d_{ij}\|$  смежности графа канонической структуры ИМС, которая описывает избыточную структуру  $G$  искомой ИМС. В итоге структура конкретизированной ИМС для продукции наукоемкого приборостроения представляет собой двойку

$$G = \langle C, U \rangle, \quad (2)$$

где:  $C$ - семейство (т.е. проиндексированное множество  $\{C_\rho\}$ ) географических пунктов, в которых размещены единицы продукции НП, центры их технического обслуживания;  $U$  - подмноже-

ство дуг канонической структуры ИМС, интер- претирующее отношения порядка из матрицы  $\|d_{ij}\|$ , но без транзитивно замыкающих связей, которые удовлетворяют условию

$$\forall c_i, c_j, c_k \in C((c_i \prec c_j) \& (c_j \prec c_k) \& (c_i \prec c_k)), \quad (3)$$

где символ “ $\prec$ ” обозначает направление информационного доминирования в системе информационно-распорядительных связей.

Обоснование информационного обеспечения синтеза структуры сети в работе представляет строгое определение последовательности действий с подготовленными массивами данных в реализации синтеза структуры ИМС.

Второй из разработанных базовых моделей ИМС реализации этапов ЖЦ продукции НП является модель оценки результативности указанных сетей. В работе под результативностью ИМС продукции НП понимается степень реализации запланированного уровня обеспеченности руководителей соответствующих приборостроительных предприятий актуальными данными о текущем и ретроспективно-обобщенном ходе эксплуатации и поддержания технической готовности поставляемых конкретных типов продукции, а также достижения запланированных результатов повышения уровня производственных процессов таких предприятий посредством средств мониторинга реализации этапов ЖЦ выпускаемых приборов. Результативность ИМС продукции НП на практике оценивается посредством анализа такого интегрального показателя как «обеспечиваемая ИМС степень влияния на уровень соответствия производственной деятельности предприятия НП актуальным запросам потребителей-эксплуатантов поставляемой аппаратуры». Задача анализа такого интегрального показателя сведена к нахождению значения указанной степени влияния через мультипликативно-аддитивную свертку оценок влияния по основным составляющим результативности, которые выступают как сводные показатели учета влияния на уровень соответствия производственной деятельности предприятия НП актуальным запросам потребителей-эксплуатантов в рамках иерархической системы показателей (Рисунок 2).

Для этого применяется математический аппарат анализа иерархий, позволяющий рассчитывать числовой вектор, задающий собой соответствующие значения коэффициента влияния  $K_{вл}$  в текущей композиции агрегирования как значения порядка предпочтительности показателей результативности ближайшего нижнего уровня. Для этого в каждой композиции агрегирования сводного показателя результативности через попарное сравнение задается на базе шкалы сравнительной важности матрица  $A = \|a_{ij}\|$  парных сравнений нижестоящих показателей, где  $a_{ij}$  - сравнительная оценка влияния  $i$ -го показателя результативности перед  $j$ -м в композиционно общем для них агрегирующем показателе. Нахождение степени влияния в композиции агрегирования более простых показателей в составе более сложных сведено к расчету собственного вектора  $X$  матрицы  $A$ , элементы  $x_i \in X$  которого являются значениями коэффициента влияния  $K_{вл}$  в текущей композиции агрегирования. Расчетная формула определения оценки собственного вектора матрицы  $X$  имеет вид

$$x_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \left( \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} \right)}, \quad (4)$$

где  $n$  - размерность матрицы парных сравнений. На базе значений коэффициента влияния  $K_{вл}$  в текущей композиции агрегирования рассчитываются интегральные значения коэффициентов влияния каждого конкретного варианта реализации функционала, состава и структуры организации ИМС на уровень соответствия производственной деятельности предприятия наукоемкого приборостроения актуальным запросам потребителей-эксплуатантов путем следующей мультипликативно-аддитивной свертки, которые представляют собой значения оценки искомой результативности. При этом получаемая оценка выступает в качестве средства быстрого анализа аномалий её построения и функционирования.

**Третья глава** посвящена разработке научно-методических средств мониторинга реализации этапов ЖЦ продукции наукоемкого приборостроения.

В первую очередь, к таким средствам отнесена методика управления изменениями ИМС для продукции наукоемкого приборостроения, обеспечивающая обоснование решения по рациональному сокращению числа связей, оптимизации структуры ИМС при возникновении внешних ограничений. В рамках данной методики за основу выбора новой структуры принят критерий «информационно-системной близости» для сопоставимых информационных систем с поведением, который определяется как информационное расстояние  $D(f, f^*)$ , рассчитываемое исходя из формул энтропии согласно количественной теории информации К. Шеннона:

$$D(f, f^*) = \frac{1}{\log_2 |C|} \sum_{c \in C} f(c) \log_2 \frac{f(c)}{f^*(c)}, \quad (5)$$

где:  $c$  - характеристика анализируемой структуры ИМС;  $f(c)$  –целевая функция анализируемой ИМС для текущей её структуры;  $f^*(c)$  –целевая функция анализируемой ИМС для реконструируемой её структуры;  $|C|$  - мощность множества вариантов реконструкции структуры ИМС;  $1/\log_2 |C|$  - нормирующий коэффициент, обеспечивающий выполнение условия  $0 \leq D(f, f^*) \leq 1$ . Т. е., при констатации необходимости оптимизации, сокращения ИМС того или иного типа продукции за рациональный вариант новой структуры сети принимается тот, который является наиболее информационно близким с точки зрения современной системологии.

В ходе исследования детально обоснованы возможности по приведению шкал оценивания для исходных параметрических данных по структуре ИМС с целью эквивалентного преобразования измерений по различным шкалам, встречающимся в практике проектирования и развертывания указанных сетей, к единой мере, применимой в рамках методики.

Представление управления структурой ИМС как процесса информационно-логической реконструкции исходной системы позволяет за конечное число шагов находить рациональный вариант изменений структуры ИМС, минимизирующий информационные потери в реализации функционала этой сети после внесения в неё изменений. Последовательность указанных шагов в работе сведена в алгоритм (Рисунок 3).

Во вторую очередь, к указанным научно-методическим средствам отнесена разработанная методика информатизации мониторинга этапов ЖЦ продукции НП на базе цифровых двойников жизненного цикла единицы продукции наукоемкого приборостроения, как виртуальной (информационной) копии или модели процесса эксплуатации указанной единицы продукции на протяжении всех этапов её ЖЦ, позволяющей осуществлять информационно-компетентную поддержку, анализ, манипулирование эффективностью, а в конечном итоге, оптимизацию самого процесса эксплуатации. В ходе исследования разработана, детализирована и апробирована рациональная логическая схема данных по ЖЦ продукции НП, которая является основой для формирования цифровых двойников ЖЦ единиц продукции наукоемкого приборостроения. Такое обоснование логической схемы данных по ЖЦ продукции проведено путем качественно-количественного анализа предлагаемого научно-технического решения по формированию единой распределенной базы данных по ходу эксплуатации продукции НП на основе цифровых двойников их ЖЦ в сравнении с альтернативными решениями над множеством требований, предъявляемых к таким решениям.

**Уровень производственной деятельности предприятия НП в сопоставлении к актуальным запросам потребителей-эксплуатантов поставляемой аппаратуры**

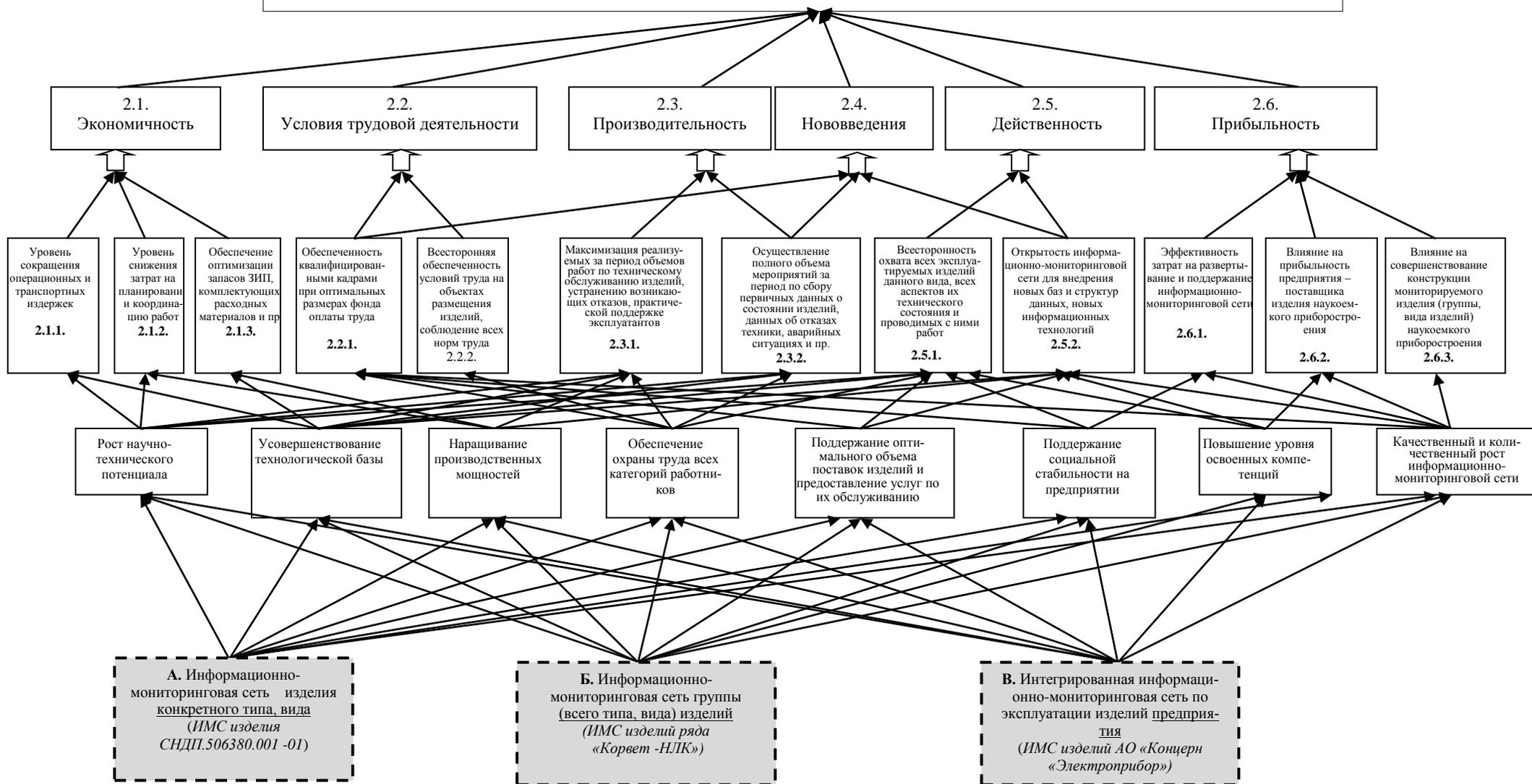


Рисунок 2.– Базовая система показателей учета влияния информационно-мониторинговой сети на уровень соответствия производственной деятельности предприятия НП актуальным запросам потребителей-эксплуатантов

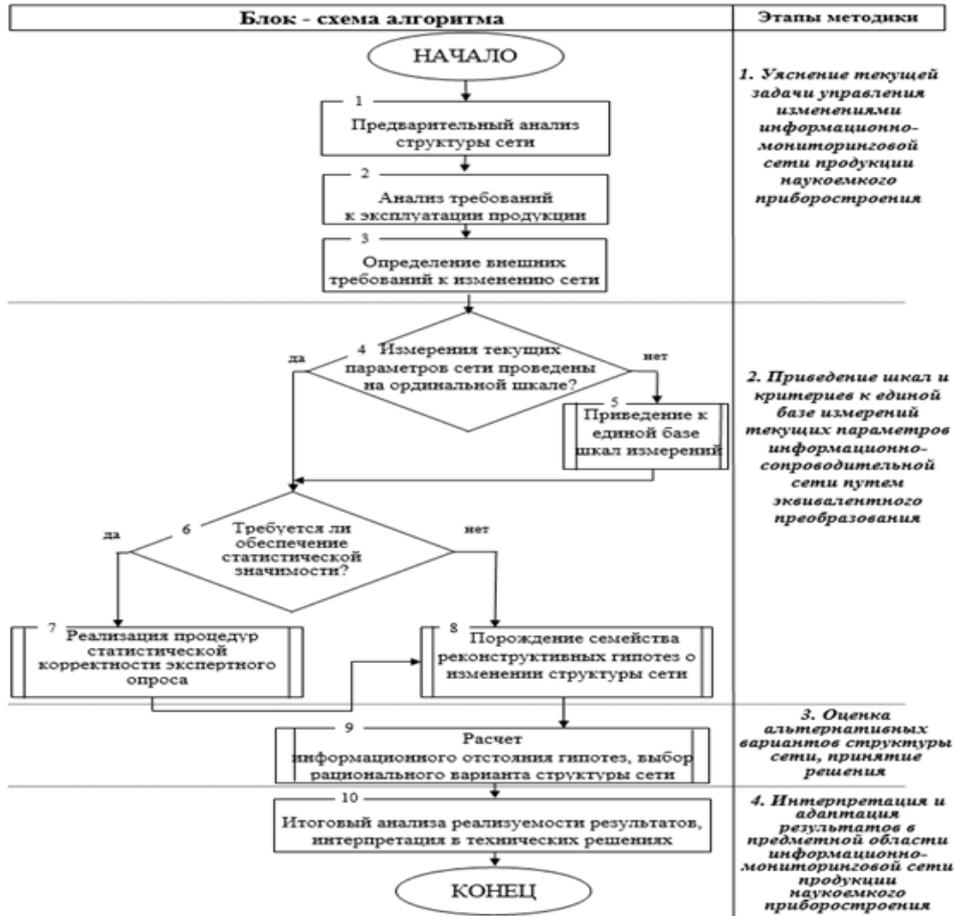


Рисунок 3. – Обобщенный алгоритм реализации методики управления изменениями ИМС для продукции наукоемкого приборостроения

Методика информатизации мониторинга этапов жизненного цикла продукции наукоемкого производства на базе цифровых двойников носит интеграционный характер для предыдущих трех научных результатов диссертационного исследования и её алгоритм обобщает все ранее представленные процедуры как подалгоритмы (Рисунок 4).

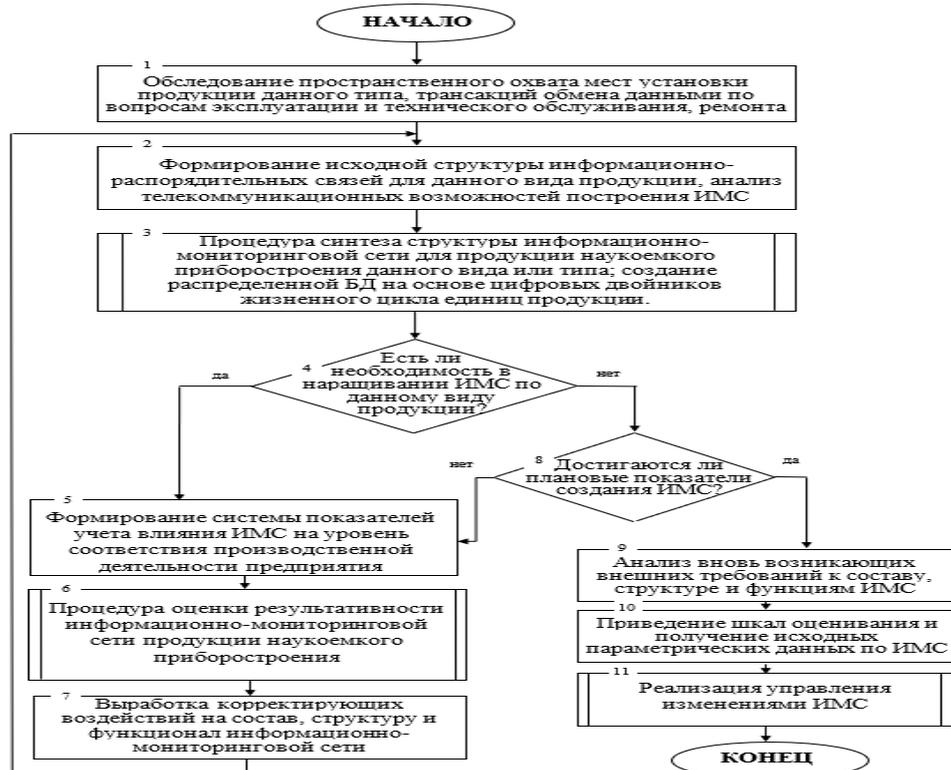


Рисунок 4. –Алгоритм информатизации мониторинга этапов ЖЦ продукции НП на базе цифровых двойников

Оценка эффективности результатов исследования проведена в рамках имитационного моделирования совокупности производственных процессов предприятий НП с использованием разработанного научно-методического инструментария (Таблица 3).

Таблица 3. - Итоги сравнительного анализа разработанных и применяемых средств моделирования ИМС как средств мониторинга ЖЦ продукции НП

Критерии (свойства-показатели и индикативные значения), примененные в сравнительном анализе	Разработанные модели и методики мониторинга реализации этапов ЖЦ продукции НП	Универсальные средства и процедуры проектирования и совершенствования информационно-сопроводительных систем и их БД	Методы, стандарты и программные продукты ИТ-сектора экономики, применимые для моделирования и проектирования ИМС
Наличие связанной и формализуемой системы показателей мониторинга	<b>Есть</b>	Нет	Нет
Возможности по числу учитываемых показателей мониторинга (min-max)	<b>2 -200</b>	5-10	20-50
Обеспечиваемая точность оценки влияния ИМС на производственный уровень	<b>До 0,01</b>	0,1-0,2	-
Уровень системологической объективности при рационализации ИМС	<b>1</b>	0,5	0
Практическая применимость в рамках процессов проектирования новых и внесения изменений в существующие ИМС: – автоматизируемость (переносимость в ППО); – наличие единой меры и возможности шкалирования параметров оценивания; – простота интерпретации в предметной области ИМС; – максимальная глубина геопространственного охвата ИМС; – технологическая сложность аппарата.	<b>Полная, Однозначная Есть, Ординальная Высокая Не ограничена Высокая</b>	Неполная Нет  Низкая Региональная Высокая	Неоднозначная Нет  Не высокая Нет Низкая
Трудоемкость применения	<b>Низкая</b>	Высокая	Низкая
Адаптивность реализации в рамках типового процесса организации мониторинга продукции	<b>Высокая</b>	Низкая	Низкая

В **Заключении** перечисляются и обобщаются основные результаты диссертационной работы, а также перечисляются направления дальнейших исследований по данной тематике.

### III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертационной работе достигнута цель, имеющая важное экономическое значение - повышение уровня производственных процессов предприятий наукоемкого приборостроения за счет применения и совершенствования ИМС этапов жизненного цикла выпускаемой продукции.

В работе получены следующие новые научные результаты:

1. Разработана модель синтеза структуры ИМС для продукции НП, позволившая усовершенствовать современный научно-методический аппарат проектирования и организации ИМС для указанной продукции с учетом геопространственных и статистических аспектов, что в конечном итоге повышает результативность мониторинга реализации этапов ЖЦ выпускаемой продукции.

2. Разработана модель оценки результативности ИМС продукции НП, позволившая повысить уровень производственных процессов предприятий НП за счет расширенного учета и сведения в единую вложенную структуру всего множества показателей результативности применяемых ИМС и контроля эффективности решений по управлению этими сетями.

3. Разработана методика управления изменениями ИМС для продукции НП, которая в отличие от известных обеспечила рост обоснованности решений по конфигурированию указанных сетей, за счет применения аппарата информационно-системологической реконструкции при моделировании указанных изменений.

4. Разработана методика информатизации мониторинга этапов ЖЦ продукции НП на базе цифровых двойников, обеспечившая совершенствования процессов сбора и системного накопления данных по мониторингу реализации этапов ЖЦ для повышения уровня производственных процессов предприятий НП.

Внедрение результатов исследования на предприятиях НП подтвердило рост показателей результативности применяемых и разворачиваемых ИМС, повышение обоснованности решений по их развитию и конфигурированию.

Результатом внедрения предлагаемого научно-методического инструментария моделирование ИМС для продукции НП, в интересах улучшения мониторинга реализации этапов ЖЦ такой продукции является снижение числа итераций процесса проектирования указанных сетей, при их разработке и переконфигурировании. Предложенный инструментарий обеспечил снижение указанной итеративности на 15-20%, добиться сокращения общего времени проектирования и формирования ИМС для отдельных видов продукции НП на 20-30%.

#### **IV. СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

##### **Публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях**

1. Ручьев, А.Г. Интеграция данных в рамках квалиметрической модели цифрового двойника жизненного цикла изделий наукоемкого авиаприборостроения / Я.А. Ивакин, В.М. Балашов, А.Г. Ручьев, М.С. Смирнова // Наука и бизнес: пути развития №2 (116) 2021 С. 62-65
2. Ручьев, А.Г. Схема данных для представления жизненного цикла изделий наукоемкого приборостроения при квалиметрических исследованиях / Я.А. Ивакин, Е.Г. Семенова, А.Г. Ручьев, М.С. Смирнова // Наука и бизнес: пути развития №3 (117) 2021 С. 45-49
3. Ручьев, А.Г. Научно-методический инструментарий моделирования и анализа информационно-мониторинговых сетей / Я.А. Ивакин, Е.Г. Семенова, А.Г. Ручьев, М.С. Смирнова // Наука и бизнес: пути развития. №4 (118) 2021 С. 48-53
4. Ручьев, А.Г. Особенности применения информационно-мониторинговых сетей на этапах жизненного цикла изделий наукоемкого приборостроения / А.Г. Ручьев // Наука и бизнес: пути развития. №5 (119) 2021 С. 125-128
5. Ручьев, А.Г. Особенности формирования и совершенствования структуры информационно-мониторинговых сетей / В.М. Балашов, Е.Г. Семенова, Я.А. Ивакин, А.Г. Ручьев, М.С. Смирнова // Вопросы радиоэлектроники. 2021. № 4. С. 23-29
6. Ручьев, А.Г. Постановка задачи синтеза структуры информационно-мониторинговой сети изделий наукоемкого приборостроения / В.М. Балашов, Я.А. Ивакин, Е.Г. Семенова, А.Г. Ручьев, М.С. Смирнова // Вопросы радиоэлектроники. 2021. № 4. С. 37-42
7. Ручьев, А.Г. Предметная интерпретация результативности информационно-мониторинговых сетей / А.Г. Ручьев // Наука и бизнес: пути развития. №7 (121) 2021 С. 66-68
8. Ручьев, А.Г. Применение моделей информационно-мониторинговых сетей продукции наукоемкого приборостроения / А.Г. Ручьев // Наука и бизнес: пути развития. №9 (123) 2021 С. 84-88

##### **Статьи в рецензируемых журналах, входящих в системы цитирования Web of Science и Scopus**

9. Ruchev, A.G. Providing of statistical stability of qualimetric studies on the basis of geochronological tracking / Ya.A. Ivakin, E.G. Semenova, A.G. Ruchev, M.S. Smirnova // Journal of Physics: Conference Series. (APITECH-III) 2021

##### **Статьи и материалы конференций**

10. Ручьев, А.Г. Анализ средств мониторинга реализации этапов жизненного цикла продукции / Я.А. Ивакин, А.Г. Ручьев // в сб. материалов II между. научно-практической конференции «Образование. Бизнес. Наука. Культура.» (г. Димитровград, 2019). – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2019. – С. 201- 204
11. Ручьев, А.Г. Анализ применимости информационно-мониторинговых сетей при проектировании процессов создания продукции наукоемкого приборостроения / Е.Г. Семенова, Я.А. Ивакин, А.Г. Ручьев // в сб. трудов Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы реализации государственной политики устойчивого развития территорий в Российской Федерации. Национальные проекты», (г. Димитровград, 2019). – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2019. – С. 147-150
12. Ручьев, А.Г. Методы и средства повышения уровня производственных процессов предприятий приборостроения // В сб. материалов IV международной научно-практической конференции «Образование. Бизнес. Наука. Культура.» (г. Димитровград, 2020). – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2020. – С. 112- 117
13. Ручьев, А.Г. Постановка задачи обеспечения статистической устойчивости квалиметрических исследований на базе геохронологического трекинга / Е.Г. Семенова, Я.А. Ивакин, А.Г. Ручьев, М.С. Смирнова // в сб. трудов XXIV Международной научной конференции “Волновая электроника и инфокоммуникационные системы” (WECONF-2020), ГУАП, г. Санкт-Петербург, 2020 г. С. 302-307
14. Ручьев, А.Г. Алгоритм управления изменениями информационно-мониторинговой сети для продукции наукоемкого приборостроения // СХХ Международные научные чтения (памяти Налимова В.В.): сб. статей Международной научно–практической конференции (Москва, 2021 г.). – Москва: Научная артель, 2021. – С. 121-126
15. Ручьев, А.Г. Схема формата представления данных по протеканию жизненного цикла продукции наукоемкого приборостроения / Я.А. Ивакин, А.Г. Ручьев // СХХI Международные научные чтения (Памяти Трифонована Г.Ф.): сб. статей Международной научно–практической конференции (Москва, 2021 г.). – Москва: Научная артель, 2021. – С. 183-188
16. Ручьев, А.Г. Базовая методика формирования информационно-мониторинговых сетей данных об эксплуатации и поддержании технической готовности продукции наукоемкого приборостроения / Е.Г. Семенова, Я.А. Ивакин, А.Г. Ручьев // СХХII Международные научные чтения (памяти Фета А.И.): сб. статей Международной научно–практической конференции (Москва, 2021 г.). – Москва: Научная артель, 2021. – С. 33-39