МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ

УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ

УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»

(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

**Дуббесса Мулубирхан Хайлу**

**МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ МОНТАЖА, КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ БОРТОВЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Диссертация на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по направлению подготовки «Аviation and rocket-space technology»

Научный руководитель программы:

**Ковалёв Михаил Анатольевич,**

доктор технических наук, доцент

Самара – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

[ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ 4](#_Toc143522572)

[ВВЕДЕНИЕ 5](#_Toc143522573)

[ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ МОНТАЖА, КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ БОРТОВЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ 10](#_Toc143522574)

[1.1 Производственно-монтажные работы 10](#_Toc143522575)

[1.1.1 Основные понятия и определения 10](#_Toc143522576)

[1.1.2 Особенности производства бортового электрооборудования 12](#_Toc143522577)

[1.1.3 Особенности монтажа бортового электрооборудования 14](#_Toc143522578)

[1.1.4 Классификация монтажных работ 18](#_Toc143522579)

[1.2 Контрольно-испытательные работы 20](#_Toc143522580)

[1.2.1 Основные понятия и определения 20](#_Toc143522581)

[1.2.2 Принципы построения систем контроля и испытаний 22](#_Toc143522582)

[1.3.2 Особенности контроля и испытаний бортового   
электрооборудования 25](#_Toc143522583)

[1.3 Выводы по главе 26](#_Toc143522584)

[ГЛАВА 2 МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕОРИИ МОНТАЖА БОРТОВЫХ СИСТЕМ 27](#_Toc143522585)

[2.1 Основные понятия и определения 29](#_Toc143522586)

[2.2 Предметная область задачи монтажа бортовых систем 33](#_Toc143522587)

[2.3 Топология монтажного пространства 36](#_Toc143522588)

[2.4 Моделирование линейных связей бортовых систем в монтажном пространстве 41](#_Toc143522589)

[2.5 Формальные основы синтеза образа бортовых систем 43](#_Toc143522590)

[2.5.1 Синтаксическая аксиоматика описания монтажа   
бортовых систем 46](#_Toc143522591)

[2.5.2 Графическая аксиоматика описания процесса монтажа   
бортовых систем 50](#_Toc143522592)

[2.6 Выводы по главе 58](#_Toc143522593)

[ГЛАВА 3 ВОПРОСЫ КОНТРОЛЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ 60](#_Toc143522594)

[3.1 Постановка задачи контроля бортовых систем   
как распознание образа 61](#_Toc143522595)

[3.2 Методы выбора параметров распознавания образов   
бортовых систем 67](#_Toc143522596)

[3.2.1 Метод распознавания древовидных структур 69](#_Toc143522597)

[3.2.2 Статистические методы распознавания образов 72](#_Toc143522598)

[3.2.3 Метод функционального анализа в распознавании образов 73](#_Toc143522599)

[3.2.4 Методы теории классификации в распознавании образов 75](#_Toc143522600)

[3.3 Технические средства распознающих автоматов 80](#_Toc143522601)

[3.3.1 Комплектация и структура системы МАСКА 80](#_Toc143522602)

[3.3.2 Язык программирования системы МАСКА 81](#_Toc143522603)

[3.3.3 Программа контроля системы МАСКА 83](#_Toc143522604)

[3.4 Выводы по главе 85](#_Toc143522605)

[ГЛАВА 4 ВОПРОСЫ ИСПЫТАНИЙ БОРТОВЫХ СИСТЕМ 86](#_Toc143522606)

[4.1 Основные понятия и определения 87](#_Toc143522607)

[4.2 Организационная модель процесса испытаний бортовых систем 88](#_Toc143522608)

[4.3 Продукционная модель процесса испытаний бортовых систем 99](#_Toc143522609)

[4.4 Операционный комплекс испытаний бортовых систем 105](#_Toc143522610)

[4.4.1 Назначение и состав 105](#_Toc143522611)

[4.4.2 Структурно-функциональная схема 109](#_Toc143522612)

[4.5 Выводы по главе 110](#_Toc143522613)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 111](#_Toc143522614)

[СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 113](#_Toc143522615)

# ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ЛА – летательный аппарат;

БКО – Бортовой комплекс оборудования;

ЭО – электрооборудование;

СЭС – система электроснабжения;

РТМ – руководящие технические материалы;

ТП – технологический процесс;

НТД – нормативно-техническая документация;

БС – бортовая система;

ЕСТПП – единая система технологической подготовки производства;

ИИ – искусственный интеллект;

ТСИ – теория стохастической индикации;

ОКИ – Операционный комплекс испытаний.

# ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Сложность процессов изготовления и монтажа бортовых систем (БС) летательных аппаратов (ЛА) на завершающих этапах производства авиационной техники непрерывно возрастает. Это связано с ростом размерности, количеством решаемых задач, требований к эффективности, надёжности и ремонтопригодности бортового комплекса оборудования (БКО) ЛА.

Существующие технологические процессы изготовления и монтажа БС просто не успевают совершенствоваться вслед за возрастанием сложности авиационной техники, цифровизацией БКО, изменением размерности и номенклатуры агрегатов, вычислительных модулей, внедрением новых интерфейсов обмена информацией, разнообразием применяемых бортовых кабелей и жгутов.

Проведенные исследования показали практическое отсутствие решение этой проблемы с формальных позиций, а современные методы монтажа БС базируются на общих подходах, описанных в руководящих технических материалах (РТМ), различных производственных инструкциях, а также на эвристических методах и опыте.

Наряду с изложенным существует проблема достоверного контроля выполненного монтажа электрооборудования (ЭО) ЛА. Она связана с отсутствием эффективных средств контроля.

Таким образом, научные исследования в области разработки методов повышения эффективности процессов монтажа, контроля и испытаний БС ЛА на заключительных этапах производства авиационной техники является актуальными.

**Степень разработанности темы.** К настоящему времени проблемы заключительного этапа производства не нашли должного отражения в современной научно-технической литературе. Однако решение частных задач монтажа контроля и испытаний ЭО ЛА отражены в трудах Российских и Зарубежных учёных:  
А. С. Чумадин, А. Г. Братухин, М. Н. Горбунов, А. Л. Абибов, И. М. Бирюков, В. Н. Крысин, В. А. Барвинок, А. Н. Коптев, К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шеффер и др.

**Цель диссертационного исследования** – разработка научной базы для совершенствования и рационализации технологических процессов (ТП) монтажа, контроля и испытаний БС ЛА.

**Основные задачи исследования:**

1. Провести анализ современного состояния теории и практики методов решения задач монтажа, контроля и испытаний БС ЛА (цель исследования поставлена после проведённого анализа);
2. Разработать методы формализованного представления объектов и процессов монтажа БС ЛА;
3. Разработать методы контроля БС ЛА на основе решения задач распознавания образов и классификации формализованных объектов;
4. Разработать модели процессов испытаний БС ЛА, позволяющие решать задачи их совершенствования и рационализации.

**Область исследования –** производство и испытания авиационной техники.

**Объектом исследования** технологические процессы монтажа, контроля и испытаний БС ЛА.

**Предметом исследования** являются методы и методология монтажа, контроля и испытаний БС ЛА на примере ЭО самолёта ТУ-214.

**Методы исследования** базируются на применении известных и общепризнанных теорий: математической статистики, теории графов, теории образов, теории поиска и принятия решений, теории надёжности, функционального анализа, механизмов моделирования.

**Научная новизна**

1. В рамках решения задачи 2 разработана модель предметной области задачи монтажа БС, предложен язык формализованного описания монтажного пространства на основе «геометрии положения» Анри Пуанкаре и теории образов;
2. В рамках решения задачи 3 разработаны методы распознавания состояний объектов БС: метод древовидных структур, статистический метод, метод функционального анализа, метод теории классификации; а также предложены технические средства их реализации.
3. В рамках решения задачи 4 разработаны: организационная модель процесса испытаний, позволяющая снизить сложность организации испытаний БС большой размерности; продукционная модель процесса испытаний, описывающая текущее техническое состояние объекта испытаний. Предложена концепция операционного комплекса испытаний бортовых систем на примере СЭС самолёта ТУ-214.

**На защиту выносятся:**

1. Модель предметной области задачи монтажа БС, язык формализованного описания монтажного пространства;
2. Методы распознавания состояний объектов БС: метод древовидных структур, статистический метод, метод функционального анализа, метод теории классификации;
3. Организационная и продукционная модели процесса испытаний, а также концепция операционного комплекса испытаний БС.

**Теоретическая и практическая значимость работы:**

Теоретическая значимость роботы заключается в разработке новых теоретических положений методологии процессов монтажа контроля и испытаний БС ЛА.

Практическая значимость работы состоит в том, что с помощью разработанной научно-практической базы и предложенными техническими средствами возможно провести совершенствование и рационализацию реальных ТП монтажа контроля и испытаний БС, в частности: снижение трудоёмкости, повышение автоматизации и качества работ.

**Реализация результатов работы**:

Полученные в диссертационной работе результаты были предложены для использования при формировании директивной технологий монтажа, контроля и испытаний в производстве авиа-агрегатного завода (г. Самара), а также в Национальном институте авиационных технологий (НИАТ) (г Москва) - для создания руководящих технических материалов.

**Апробация работы**:

Основные положения диссертации доложены на XIV Международная научная конференция “XIV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2021» (Springer Nature Switzerland AG, 2022) и XVIII международная научно-практическая конференция старшеклассников, студентов и аспирантов «Молодёжь и наука» (Уральский Федеральный Университет, 2022).

По теме диссертационной работы автором опубликовано 5 статей в периодических научных и научно-технических изданиях, рекомендованных ВАК РФ и в материалах Международных и Всероссийских конференций.

**Объем и структура диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Работа содержит 120 страниц текста, 15 рисунков, список литературы включает 121 наименований.

# ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ МОНТАЖА, КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ БОРТОВЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В процессе эксплуатации ЛА происходят процессы постепенного развития и накопления неисправностей в их деталях и оборудовании. Это может быть коррозия, износ трущихся поверхностей, окисление и подгорание контактов, ослабление креплений, старение материалов изоляции, усталостные трещины и т.д. В какой-то момент времени подобные процессы накопления неисправностей могут привести к дефектам. Высокие требования предъявляются к безопасности полетов, проводится большой объем профилактических и восстановительных работ как на борту ЛА, так и в лабораториях на снятом с борта оборудовании.

Все возрастающие требования к безопасности полетов приводят к росту сложности бортовых систем (БС), в частности бортовых электрических систем ЛА.

Процессы монтажа БС являются сложными и требуют выполнения многочисленных операций. Они включают отработку и доводку выходных параметров систем, а также учет специфических условий производства и эксплуатации.

В связи с повышенными требованиями к качеству и надежности БКС, важным становится вопрос технологичности их конструкций в производстве. Создание конструкций, которые будут технологичны в производстве, становится одним из важнейших принципов конструирования современных ЛА [7–9].

## 1.1 Производственно-монтажные работы

### 1.1.1 Основные понятия и определения

Каждый вид продукции, выпускаемый авиационным предприятием, называется изделием. Части изделия представляют собой его элементы. Действия, в результате которых происходит изменение формы, размеров или свойств элементов, называются их обработкой.

Соединение отдельных элементов в заданное целое, обеспечивающее их взаимное положение и взаимосвязь, называется сборкой. Технологический процесс сборки — это процесс определенного и последовательного размещения элементов в пространстве и соединения их способами, указанными в чертежах. Результатом осуществления технологического процесса сборки является получение узла, отсека, агрегата или планера (каркаса) ЛА.

Технологический процесс монтажа включает в себя процедуры сборки и установки оборудования на каркасе летательного аппарата, а также установку и крепление коммуникаций, соединение всех элементов в работающие бортовые системы, а также проверку и контроль их функционирования. Результатом осуществления ТП монтажа является получение различных БС ЛА.

БС летательного аппарата - это совокупность целесообразно организованных, взаимосвязанных и совместно действующих элементов, предназначенных для выполнения определенных задач.

Из этих определений следует, что монтаж БС является разновидностью одного и того же по характеру ТП - сборочного.

Совокупность мер, направленных на изготовление изделия, составляет производственный процесс. Та его часть, в течение которой происходит обработка или сборка, называется ТП. Обработка и сборка всегда сопровождаются и заканчивается проверкой качества выполненной работы, называемой техническим контролем или просто контролем. Окончательный контроль законченных производством изделий производится по расширенной программе и называется их испытанием [8,10].

Объединение элементов БС осуществляется с помощью объемного монтажа. Объемный монтаж является основным видом монтажа БС и осуществляет связь между готовыми изделиями БС с помощью разъемных соединителей. Данный вид монтажа находит очень широкое применение, но при этом могут использоваться и неразъемные соединения.

Все многообразие объектов БС на любом этапе их создания связано с определенными преобразованиями элементов конечных множеств, природа которых, в нашем случае, определена физическими объектами (элементами - реле, контакторы, генераторы, преобразователи, связями - электрическими проводниками, шинами и т.п.). Таковы основные опытные данные, характеризующие объекты БС ЛА и технологию их производства.

### 1.1.2 Особенности производства бортового электрооборудования

Процесс разработки и производства ЭО ЛА состоит из нескольких этапов, включающих проектирование компоновки элементов в БС, разработку маршрута проводки и соответствующей технической документации, проектирование технологических операций для производства отдельных элементов БС, создание программы контроля качества, а также монтаж и проведение контроля БС. Для эффективности и оптимизации этих процессов, необходимо использовать математические методы и компьютерные технологии.

Для болеё эффективного контроля состояний и свойств объектов необходимо получать болеё полную информацию о них на предшествующих этапах. Современные компьютерные технологии, такие как 3D-моделирование и программы обработки и расчета электронных моделей, широко применяются в процессах проектирования и производства авиационной техники. В связи с этим возникает необходимость использовать данную информацию на стадии эксплуатации авиационной техники.

Информация, полученная на стадии проектирования и производства авиационной техники, необходима и полезна на этапе эксплуатации. Для оптимизации процессов и обмена информацией между Заказчиком, Производителями и Потребителями, в 80-х годах прошлого века была разработана концепция CALS (Computer Aided Logistic Support). Она заключается в использовании компьютерных технологий для управления жизненным циклом изделий и обеспечения единообразных способов взаимодействия участников этого процесса в соответствии с международными стандартами. Для реализации этой концепции создается интегрированная информационная среда, которая повышает эффективность управления и сокращает бумажный документооборот. Основополагающим принципом для CALS технологий является сохранение и обмен информацией [41,42].

Благодаря этому принципу участники производственных процессов могут получать доступ к необходимым данным в режиме реального времени, сокращая время на принятие решений и повышая эффективность работы. Кроме того, стандартизация форматов и методов обмена информацией позволяет снизить вероятность ошибок и несоответствий, а также улучшить качество конечного продукта.

Операции сборки, монтажа и регулирования ЭО ЛА значительно болеё трудоемки, чем заготовительные операции. Общая стоимость затрат на эти работы составляет 60-70% всех прямых производственных расходов. Это связано с тем, что сборочные, монтажные и регулировочные работы представляют собой сложные и разнообразные движения, которые не могут быть механизированы и не подчиняются определенным закономерностям. Для выполнения этих операций необходимо высококвалифицированный специалист (исполнитель). Поэтому успехи в технологии монтажа не обеспечивают коренного улучшения эффективности производства БС ЛА в целом. Здесь определяющеё влияние оказывает совершенствование сборки, монтажа, регулирования.

Широкое внедрение печатного монтажа, функциональных модулей и интегральных микросхем, высокопроизводительных и надежных методов пайки и сварки, стабильных ТП, обеспечивающих незначительный разброс параметров элементов и компонентов, способствует упрощению и удешевлению сборочно-испытательных работ.

С целью сокращения технологического цикла намоточных работ и для исключения операции проклейки применяют обмоточные провода с термопластичным (приобретающим пластичность при нагревании) покрытием. Намоточные станки оснащают механическими раскладчиками провода с контролируемым натяжением. Используют приборы для обнаружения короткозамкнутых витков.

### 1.1.3 Особенности монтажа бортового электрооборудования

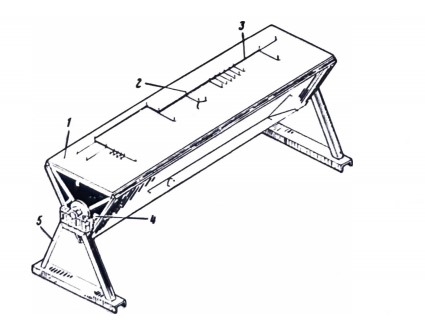
Бортовые электросистемы включают в себя источники электроэнергии, потребители электроэнергии и систему распределения электроэнергии.

Источники электроэнергии включают в себя генераторы переменного и постоянного тока, преобразователи напряжения, электростатические генераторы и другие устройства для производства и подачи электроэнергии в электросистему ЛА.

Потребители электроэнергии включают в себя различные электро-механизмы, такие как электроприводы освещение, коммутационное оборудование, изделия ЭО ЛА.

БКС ЛА включает в себя различные кабели и провода, выключатели, предохранители, разъединители, реле, а также различные системы контроля и защиты, необходимые для обеспечения безопасности и эффективности работы ЭО ЛА [6,13].

Монтаж электросистем сводится к установке на ЛА как источников и потребителей энергии, так и систему распределения энергии. Наиболеё трудоемки монтажи электропроводок. Разбиение электросети ЛА на фидеры (обычно на 20-40 фидеров) позволяет упростить монтаж, эксплуатацию и ремонт. Фидер - это часть электросети, обеспечивающая передачу электроэнергии от источника к потребителям. Каждый фидер имеёт свой набор потребителей и соответствующую коммутационную аппаратуру, что позволяет упростить процедуры проверки, ремонта и замены оборудования, а также улучшить надежность работы всей системы в целом.

Изготовление жгутов проводов в заготовительных цехах или мастерских электрооборудования является одним из важнейших этапов производства ЛА. Жгуты проводов собираются в соответствии с монтажными схемами на специальных плазах (рисунок 1).

1 - панель; 2 - фиксаторы проводов; 3 - схема раскладки проводов жгута; 4 - фиксатор положения плаза; 5 – стойка

Рисунок 1 Поворотный плаз для бортового жгута

Затем жгуты перемещаются на монтажный участок, где провода монтируются на борт в соответствии с монтажными схемами [9,10].

Преимущества изготовления жгутов проводов в заготовительных цехах заключаются в том, что это позволяет сократить время монтажа и повысить качество сборки жгута. Кроме того, сборка жгутов проводов на специальных плазах позволяет избежать ошибок, которые могут возникнуть при монтаже на борту, связанных с неправильной длиной проводов или их неправильным подключением.

Для легкого распознавания назначения проводов и жгутов используется изоляция различных цветов, что позволяет операторам быстро идентифицировать нужные провода. Например, в авиации часто используют следующие цветовые коды:

* электрооборудование: белый или красный;
* радиооборудование: голубой;
* навигационное оборудование: зеленый;
* системы управления: желтый;
* заземление: зелено-желтый;
* сигнальные провода: красный.

Однако, следует учитывать, что цветовая кодировка может отличаться в зависимости от конкретной системы и её требований к маркировке проводов.

Важно проводить контроль за каждой из операций, чтобы избежать ошибок и гарантировать качество монтажа. Также необходимо соблюдать правила безопасности при работе с электрическими проводами, использовать соответствующие инструменты и защитное оборудование.

Конструктивное оформление электро-коммуникаций может значительно повлиять на трудоемкость и эффективность их монтажа. Например, если провода и кабели расположены в труднодоступных местах, требующих специальных инструментов и оборудования для установки, это может увеличить время и затраты на монтаж. Однако, правильное конструктивное оформление, включающее в себя удобный доступ к кабелям и проводам, оптимальное размещение креплений, разделение коммуникаций на отдельные группы, может упростить и ускорить процесс монтажа.

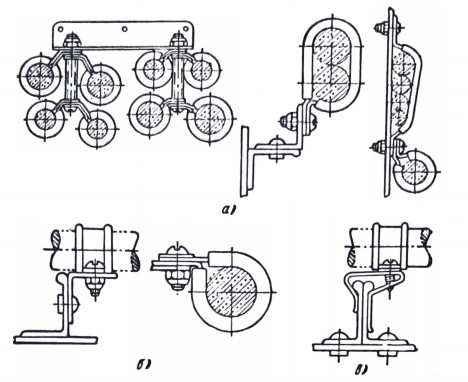
Прокладка жгутов внутри агрегатов является наиболее трудоемкой операцией монтажа электро-коммуникаций, поскольку требует точности и аккуратности, а также занимает много времени и сил. В то же время, если возможно прокладывать жгуты в легкодоступных желобах, полостях или траншеях, это может значительно упростить монтаж и уменьшить его трудоемкость. Также, если желоба доступны снаружи, это может еще больше упростить доступ и обслуживание.

Такой подход к монтажу называется модульным монтажом, когда провода и другие элементы электрооборудования предварительно собираются в модули на заводе или в мастерской, а затем устанавливаются на месте сборки. Это позволяет существенно ускорить процесс монтажа и снизить трудоемкость работ. Кроме того, использование модульного монтажа повышает качество сборки, так как возможность ошибок при монтаже снижается, а производительность работ возрастает.

На рисунке 2 приведены эскизы типовых способов крепления жгутов металлическими хомутами с резиновой обкладкой.

Отверстия для болтов должны быть просверлены в элементах конструкции заранеё и должна быть тщательно удалена стружка с помощью пылесоса, но непутем обдувки сжатым воздухом из шланга.

В случаях, если сверление производится при прокладке жгута, чего следует избегать, жгут надо закрыть бумагой, а стружку после сверления тщательно удалить.



а – групповое, б – одиночное, в – «лирочное» крепление

Рисунок 2 – Типовое крепление жгутов хомутами

После прокладки жгутов присоединяют проводники к аппаратуре и агрегатам, установленным на ЛА.

Здесь следует еще раз напомнить, что с точки зрения технологичности конструкции ЛА весьма существенны требования разделения электро- и радиокоммуникаций в соответствии не только с эксплуатационными, но и с конструктивными разъемами, что облегчает возможность переноса этих монтажей на агрегатную сборку.

### 1.1.4 Классификация монтажных работ

Монтажные работы могут быть классифицированы по разным критериям. Например, по типу устанавливаемого оборудования, по этапам выполнения или по степени технической сложности, месту проведения работы и по составу операций.

По типу устанавливаемого оборудования монтажные работы могут быть разделены на электромонтажные, сантехнические, монтажные работы по установке оборудования для вентиляции, кондиционирования и т.д.

По этапам выполнения монтажные работы могут быть разделены на подготовительные, монтажные, регулировочные и контрольные.

По степени технической сложности монтажные работы могут быть разделены на простые, средней сложности и сложные. В зависимости от сложности работ требуется различный уровень квалификации и опыта работников, а также специальное оборудование и инструменты.

По месту проведения монтажных работы могут быть разделены на верстачные и работы, выполняемые на каркасе ЛА [9,11,12].

Верстачные работы включают в себя установку и закрепление коммуникаций (трубопроводов, электрических кабелей и проводов, тросов) и монтажных узлов (электрических и гидравлических щитов, пультов, панелей, коробок, приборных досок, стеллажей). При монтаже ЛА блоки устанавливаются и закрепляются на различных элементах каркаса, после чего между ними прокладываются и крепятся межблочные коммуникации. Существуют два типа монтажных работ на каркасе ЛА: выполняется сборка зон и участков систем в отдельных секциях, а затем происходит окончательный монтаж блоков систем на ЛА. В процессе окончательной установки осуществляется стыковка коммуникаций и установка дорогостоящих элементов, которые не были установлены вовремя панелирования.

С помощью коэффициента технологической подготовки можно определить количественное соотношение между объемом верстачных работ и общей трудоемкостью монтажа БС:

– трудоемкость верстачных работ в человеко-часах; – общая трудоемкость монтажных работ в человеко-часах.

Если объем верстачных работ увеличивается, то это приводит к более равномерному распределению монтажных работ по различным цехам завода, сокращению времени на монтаж и повышению качества установки блок-секций. Для достижения этой цели необходимо использовать методы агрегатирования и панелирования ЛА.

## 1.2 Контрольно-испытательные работы

### 1.2.1 Основные понятия и определения

Технический контроль - это процесс проверки соответствия объекта (продукции или процесса) установленным техническим требованиям [5,32–35]. В соответствии с данной концепцией, технический контроль включает в себя два основных этапа:

* Получение информации о фактическом состоянии объекта, а также о его характеристиках и свойствах;
* Сравнение полученной информации с установленными требованиями и определение, соответствует ли фактическое состояние объекта требуемым параметрам.

Таким образом, технический контроль - это систематический процесс, который обеспечивает контроль качества продукции или процесса и гарантирует, что результат соответствуют установленным техническим требованиям.

При разработке и производстве ЛА особое значение имеют процессы контроля и испытаний. Они направлены на обеспечение высокой надежности ЛА и его способности выполнять все заданные функции в полном объеме. Процессы контроля и испытаний включают в себя различные этапы, начиная от проверки отдельных компонентов до проведения полных функциональных тестов и испытаний на полигоне [17,32,34].

Постоянный контроль является важным этапом производства ЛА, который позволяет избежать значительных затрат, связанных с возможными неисправностями, выявленными на более поздних этапах производства. Если неисправность будет пропущена на ранних стадиях производства, её устранение может потребовать значительных материально-трудовых ресурсов на более поздних этапах производства ЛА. В настоящее время трудоемкость процессов контроля составляет от 20% до 40% от общей трудоемкости производства ЛА, и постоянно возрастает.

Испытания представляют собой процесс экспериментального определения количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта [5,8,33,36,37]. Это может быть достигнуто через различные виды воздействий на объект, в том числе при его функционировании.

В ГОСТ 22851 представлена детальная номенклатура показателей качества для продукции, их можно разделить на два вида: измеряемые, которые представляют собой физические величины и их производные, и не измеряемые, например, удобство использования или рациональность формы.

Контролируемыми и управляемыми параметрами могут быть различные физические величины, такие как температура, давление и вакуум, влажность, линейные и угловые, световые и оптические, акустические, электрические и магнитные, электромагнитные и радиотехнические параметры. Кроме того, можно контролировать и измерять уровень, объем, расход, состав и концентрацию физико-химических свойств вещества, силу, массу, скорость и ускорение, ионизирующее излучение, аэродинамические и комбинированные параметры и т.д. [32,33,36,38–41].

### 1.2.2 Принципы построения систем контроля и испытаний

Система контроля и испытаний ЛА основана на нескольких принципах. Первый принцип - это полнота контроля. Он заключается в том, что все составляющие ЛА должны быть проверены на соответствие требованиям технических условий и нормативных документов на каждом этапе изготовления.

Второй принцип - это комплексность контроля. Он предусматривает использование нескольких методов и типов контроля для обеспечения полноты оценки характеристик ЛА.

Третий принцип - это перспективность контроля, т.е. предотвращение возможных неисправностей до начала эксплуатации ЛА.

Четвертый принцип - это своевременность контроля, который должен проводиться на всех этапах жизненного цикла ЛА, от проектирования до списания [42].

Дополнительно в Российской энциклопедии CALS перечислены следующие принципы:

* Испытания должны давать достоверную информацию о принципиальных схемах, качестве монтажа и динамических параметрах функционирования;
* Все испытания следует проводить на объектах, которые были изготовлены по принятым для данного ЛА технологиям и операциям контроля;
* Дефекты следует выявлять на более ранних стадиях производства;
* Операции контроля и испытаний следует проводить во время сборочных операций, при которых могут возникнуть дефекты;
* Испытания следует проводить на всех типах нагрузок, которые ЛА подвергается на земле и в полете, с последовательным приложением внешних воздействий, соответствующих полету;
* Параллельно с летными испытаниями, изготавливаются минимум два специальных образца ЛА для испытаний на прочность: первый при максимальных разрушающих нагрузках для определения запаса прочности, а второй при эксплуатационных нагрузках в длительном режиме для определения запаса по ресурсу;
* Уровень испытательных нагрузок должен обеспечивать необходимый запас по данному типу воздействия, но не превышать реальные условия. Испытания при завышенных нагрузках могут привести к ненужным переделкам конструкции, её утяжелению и к необходимости повторных более широких испытаний, что потребует дополнительных затрат времени и средств;
* Длительность испытаний должна быть равна длительности цикла подготовки на земле и работы аппарата в полете. Обычно длительность испытаний штатных образцов строго регламентирована и должна быть минимальной;
* Испытания на надежность должны проводиться при предельных нагрузках на испытательных образцах; Чтобы увеличить эффективность, комплексные испытания следует проводить на наивысшем уровне сборки, при полностью собранном ЛА, когда дефектные элементы уже заменены на исправные;
* Для пилотируемых ЛА особое значение имеет проведение испытаний в различных режимах работы;
* При проведении испытаний более высокого уровня следует использовать результаты предыдущих, чтобы избежать дублирования;
* Испытания на работоспособность и целостность бортовой аппаратуры и автоматики должны проводиться по принципу постепенного увеличения повторных испытаний, что позволяет быстрее выявить дефекты и сократить стоимость испытаний;
* В случае выявления дефектов следует провести анализ и устранение как дефектов, так и причин их возникновения, после чего повторно протестировать объект испытаний;
* При внесении значительных изменений в конструкцию, технологию или оборудование также следует провести повторные испытания по полной программе;
* Дополнительные расчеты могут помочь сократить объем испытаний, но тяжелые и сомнительные варианты должны быть проверены на натурных образцах;
* При составлении программы испытаний и её оптимизации основными критериями эффективности должны быть надежность ЛА, стоимость и длительность цикла испытаний;
* Наземные испытания должны быть закончены и результаты должны быть обработаны и обобщены до проведения летных испытаний;
* Для достижения максимальной эффективности контроля и проведения испытаний необходимо уделять внимание следующим аспектам [39,43–47]:
* детальной и полной разработке методик для каждого типа испытаний;
* строгому соблюдению регламента и методики испытаний;
* тщательной регистрации результатов испытаний в соответствии с установленной формой;
* своевременному и аналитическому анализу и обобщению результатов;
* высокому уровню подготовки всех испытателей, участвующих в проведении испытаний.

Сейчас очень важно создать унифицированную базовую систему испытаний для разных видов летательных аппаратов.

### 1.3.2 Особенности контроля и испытаний бортового электрооборудования

На всех этапах производства ЛА изделия ЭО проходят контроль или испытания.

В общем, можно выделить два класса проверяемых электрических цепей: цепи, которые содержат коммутационные элементы, и цепи, которые не содержат их и выполняют только коммуникационные функции. Контроль цепей с коммутационными элементами более сложный, поскольку перед подачей контрольного напряжения на входные точки и снятием его с выходных точек проверяемых цепей, необходимо включить или выключить соответствующие коммутационные элементы, «набрав» соответствующие цепи.

Работоспособность и надежность всех электрических и связанных с ними гидро-газовых и механических систем ЛА зависят от качества изготовления и монтажа изделий ЭО. Контроль качества монтажа коммуникационных и коммутационных элементов БС осуществляется на всех этапах производства, включая верстачное изготовление, цехи агрегатной и окончательной сборки, а также в аэродромных цехах перед включением систем под рабочее напряжение. Обычно для ручного контроля качества монтажа используются отдельные приборы, такие как мегомметр, омметр и пробник. Однако такие проверки обычно являются трудоемкими и утомительными, а результаты могут быть субъективными, то есть зависеть от таких индивидуальных факторов контролера, как его квалификация, внимательность и т.д. Поэтому в настоящее время большинство заводов использует для проверки качества монтажа электроцепей автоматизированные стенды.

Автоматизированные стенды позволяют проверять качество монтажа по заданной программе. Они автоматически подключают нужные цепи к измерительным приборам, выполняют замеры и выдают результаты контроля на индикацию, а также автоматически регистрируют результаты. Существует несколько типов автоматизированных стендов для проверки качества изготовления жгутов. Они работают похожим образом, но различаются по объему проверок, количеству проверяемых параметров, способу ввода программы и регистрации результатов контроля.

## 1.3 Выводы по главе

Множество различных типов ТП на авиационном производстве, которые объединяют в себе процессы обработки материалов, сборки, монтажа, контроля и испытаний, создает сложность в разработке общей теоретической базы этих процессов. Для унификации теории необходимо использовать системный подход, который позволит решать задачи группы однотипных ТП. Комплексный подход в области теории должен быть направлен на решение задач, связанных с созданием диагностических систем управления ТП [44,48–52].

Задачи, связанные с монтажом, контролем и испытаниями БС ЛА, являются сложными и разнообразными. Даже простой объект БС ЛА может иметь сотни и тысячи монтажных точек, что требует множества технологических операций монтажа, таких как пайка, обжим, болтовое соединение и т.д. У сложных объектов и БС количество таких операций увеличивается в несколько сотен или тысяч раз, и качество объекта напрямую зависит от правильности выполнения этих операций.

Технология монтажа, контроля и испытаний БС ЛА в настоящее время является эвристикой. Эвристическая информация представляет собой специальную информацию, которая применяется только в конкретном контексте задачи и, в лучшем случае, может быть использована только в задачах схожего типа.

Для решения задач совершенствования и рационализации ТП монтажа, контроля и испытаний необходима обобщённая научно-практическая база.

# **ГЛАВА 2 МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕОРИИ МОНТАЖА БОРТОВЫХ СИСТЕМ**

Современное производство бортовых сетей не может обойтись без развития методов и средств монтажа, что является одним из факторов высокой технической культуры. Для автоматизации производства и успешного развития необходимо тщательно изучать и математически описывать технологические процессы. Центральную роль в развитии теории технологии в последние годы играют методы математического моделирования, базирующиеся на фундаментальных работах   
А.Н. Гаврилова, Н.П. Бусленко, Н.С. Райбмана, В.А. Горбатова и др. [21–25]. Для решения определенного круга технологических задач разработано множество моделей, практически не связанных в единую обобщенную модель.

Модель - это способ представления объекта, процесса или системы, который позволяет упростить, абстрагировать или улучшить понимание оригинала. Модели могут быть математическими, графическими, физическими или компьютерными. Они могут использоваться для анализа, симуляции, тестирования или прогнозирования поведения оригинала. Важно отметить, что модели не являются самими объектами, а лишь их абстракциями, поэтому их результаты могут быть ограничены или приближенными.

Моделирование представляет собой процесс создания модели для замещения оригинала с целью получения информации о его свойствах и характеристиках. Такая модель может использоваться для анализа, тестирования, оптимизации или предсказания поведения оригинала в различных условиях. Кроме того, моделирование может быть использовано для разработки новых объектов, систем или процессов [22,26,27].

Существуют различные виды моделирования, которые выбираются в зависимости от того, какие процессы в объекте изучаются. Моделирование может быть детерминированным или стохастическим, а также статическим или динамическим, дискретным, непрерывным или дискретно-непрерывным [28].

В реальной деятельности редко бывает возможность следовать жестко заданной программе, не учитывая текущих обстоятельств. Обычно необходимо оценивать результаты предыдущих действий и выбирать следующий шаг из нескольких возможных вариантов. Для этого нужно анализировать последствия каждого из возможных шагов, не проводя их в реальности, а «проигрывая» их на модели.

Моделирование играет важную роль в любой разумной деятельности, оно неотъемлемо связано с ней и помогает её организовывать. Моделирование не является отдельной частью деятельности, а скорее её аспектом, который пронизывает её. Оно необходимо для достижения адекватных результатов и принятия обоснованных решений.

Хорошие результаты дает разработка вероятностных моделей. Если с помощью случайных величин получают статические модели ТП, то с использованием случайных функций динамические модели, более полно отражающие реальные процессы. За критерий оптимальности в зависимости от конкретных требований выбирают тот или иной показатель, связанный с экономической эффективностью производства. Это могут быть производительность, качество, расход ценного сырья, точность и др.

Один из факторов, определяющих надежность БС ЛА есть его технологическая точность. Поэтому анализ и синтез ТП в первую очередь должны производиться по параметрам точности и надежности при заданных экономических ограничениях. Многие эксперты уделяют большое внимание вопросам, связанным с теорией и расчетом технологической точности производства БС. Они также стремятся определить взаимосвязь между точностью ТП и точностью выходных параметров изделий, обосновать требования к точности контрольно-испытательного оборудования и найти эффективные и экономичные методы поддержания стабильности технологических режимов.

Из-за большого количества параметров, которые требуется, решение таких задач практически невозможно без использования вычислительных машин. Требования к быстродействию вычислительных машин, к ёмкости запоминающего устройства возрастают по мере того, как математическое описание становится болеё подробным, учитывающим большое количество «тонких» особенностей процессов. Таким образом, нужно добиться того, чтобы математическая модель была максимально точной и содержала все важные характеристики процесса, но при этом не была излишне сложной.

Применение вычислительной техники не ограничивается вопросами моделирования и оптимизации технологических процессов. Вычислительные машины широко используются в решении множества задач, связанных с технологической подготовкой производства.

Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП), которая включает в себя передовые технологические процессы, стандартное технологическое оснащение, а также автоматизацию и механизацию производственных, проектных и управленческих процессов, внедряется в процессы производства ЛА и других отраслях промышленности. Опыт использования ЕСТПП показал, что благодаря ей на 30-35% возрастает производительность труда в мелкосерийном, на 10-15% - в крупносерийном и массовом производстве. Кроме того, в 1,5-2 раза сокращаются сроки технологической подготовки производства и затраты на её проведение [29–31].

## 2.1 Основные понятия и определения

Объектами математического моделирования в работе являются процессы монтажа, контроля и испытаний на примере СЭС самолета Ту-214.

Конструктивно СЭС состоит из двух независимых сетей – левой и правой, каждая из которых входят система генерирования электрической энергии, системы защиты и систем потребителей [13,16,64–67]. Решение комплекса задач синтеза процессов монтажа и их интерпретации разработана на примере СЭС самолета Ту-214, включающая следующие агрегаты и компоненты как множества основной СЭС переменным трехфазным током, частотой 400гц:

* системы генерирования СПЗС2Б90-1;
* первичной распределительной сети переменного трехфазного тока .

Прежде чем перейти к формальному определению основных понятий теории монтажа, контроля и испытаний давайте в общих чертах сформулируем исходные понятия.

*Предметная область* – это когнитивная замкнутая область реальности или идеализированное представление области для описания (моделирования) и исследования. Область состоит из объектов, которые отличаются определенными характеристиками и находятся в определенных отношениях друг с другом или взаимодействуют определенным образом [68].

*Модель предметной области* – набор знаний (система), необходимых для автоматического синтеза алгоритмов и решения проблем в определенной области [69–71].

*Искусственный интеллект* (ИИ) – это набор метапроцессов, имитирующих человеческую деятельность, такую как представление знаний, рассуждения, поиск, добавление и преобразование соответствующей информации в существующей среде знаний [69,70].

*Система искусственного интеллекта* – это программно-аппаратные системы, которые работают аналогично механизмам человеческого мышления и неотличимы от суждений, сделанных профессионалом, т.е. экспертом в данной области [72].

*Свойство (признак)* – это характеристики объекта, которые могут быть замечены и оценены субъектом, например, вес, длина, суставы и т.д. Для оценки характеристик объекта субъект создает определенные индексы, называемые шкалами признаков. Каждый индекс определяет набор значений (уровней или оценок на шкале признаков), которые присваиваются в результате оценки признаков [68].

*Отношение* – это сравнение (сочетание) значений показателей, которые являются наблюдаемой характеристикой объекта. Отношение считается истинным, если оно подтверждается практическими экспериментами или логическими умозаключениями (выводами). Об отношении говорят, что оно ложно, если оно опровергается практическими экспериментами или логическими выводами. В противном случае говорят, что отношение является неопределенным. Понятия «истинный», «ложный» и «неопределенный» являются логическим смыслом каждого отношения и результатом субъективной оценки [68].

*Функциональное отношение (функция  )* – это одностороннее отображение множества , состоящего из значений индексов одного свойства, на множество , состоящее из значений индексов того же или другого свойства. Формально она записывается  или или , где “ ” представляет собой декартово произведение множеств [26].

*Алфавит* – характерное значение индекса объекта, обозначаемое символом из заранее определенного множества [68,70].

*Система* – это совокупность объектов, связанных между собой определенными отношениями и имеющих общую функцию или цель [62,63,68,70,73].

*Формальная система* – система, состоящая из алфавита , множества строго определенных отношений () и операций (), предназначенная для символического описания определенного класса объектов или систем. Такие системы используются в качестве языков для математического моделирования [68,70,74,75].

*Образ* – с одной стороны это результат отражения множества объектов (изображения) внешнего мира и внутренних ощущений в памяти человека, а с другой это модель какого-либо объекта или системы объектов [76]. Образ БС – множество объектов и отношений между ними.

*Процесс* – это серия взаимосвязанных событий, происходящих в течение определенного периода времени [29,68].

*Технологический процесс изготовления* СЭС ЛА – существенные преобразования подобия исходной группы, предварительно объединенные элементы и материалы в устройства БС, которые создаются в результате селективных взаимодействий извне организационной системы.

Взаимодействия, происходящие в рамках организационной системы с элементами определенного множества, в частности с элементами СЭС ЛА, размещенных в корпусе ЛА, создают в своей совокупности определенное поле взаимодействий. Отметим, что в полях данного типа существуют хорошо выделенные и различимые частные взаимодействия (сборка, монтаж), единичные акты и процессы взаимодействия (контроль выполнения операции или группы операций). Эта совокупность приобретает неаддитивные свойства, которые не могут быть выведены только из свойств акта взаимодействия с объектом. Именно в контексте организационной системы формируется согласованность этого общего множества интерактивных действий и, в частности, управление этим процессом создания объекта.

## 2.2 Предметная область задачи монтажа бортовых систем

Решение любой задачи зависит от способа её постановки, т.е. от языка, на котором можно описать задачу и методы её решения. В этом разделе автором предлагается содержательная теория, представляющая прагматику и семантику сложной задачи монтажа сложных изделий машиностроения.

Представление задачи монтажа в рамках соответствующих подходов – это виртуальная модель процесса монтажа на естественном языке, описывающая действия, построенные по требованиям РТМ. Совершенствование и оптимизация процесса монтажа БС до его реализации возможна лишь единственным образом, когда эта задача исследована с помощью математических моделей. Предметная модель синтеза образа (модели) БС, относится к производственной сфере деятельности специалистов в этой области. В то же время синтезированная БС (объект) должна обладать определенными характеристиками. На данном этапе, чтобы вывести математическую модель (образ БС), описывающую конкретные характеристики, необходимо [68]:

1. Определить входные свойства и его элементы, которые будут значениями ;
2. Связать свойства отношениями связи;
3. Выбрать свойства внешней среды - внешние факторы , так как они влияют на полученный показатель , а внутренние свойства части синтезируемой БС определяются параметрами состояния , так как параметры состояния составляют основу;
4. Оценить нормальные зависимости между и всеми рассматриваемыми факторами/параметрами и построить модель процесса монтажа БС.

Модель (образ) процесса монтажа БС описывает процесс формирования всех существенных факторов частности и параметры объекта монтажа, т.е. его соответствие требованиям НТД и требованиям разработчика ЛА. Модель предполагает изменение свойств объекта с помощью специальных *операторов*, преобразующих исходные данные (факты) при математическом моделировании с учетом данных о материалах, состава и структуры БС и требований разработчика, как системы, так и ЛА в целом. Всё это является исходными данными для процесса монтажа [79–82].

Цель этого подраздела состоит в рассмотрении с формальных и частных позиций представления знаний о предметной области монтажа, связанной с созданием БС на завершающем этапе производства.

С формальных позиций, предметная область монтажа может быть задана следующей моделью:

, (2.1)

Где – заданное множество точек монтажного пространства конкретных жгутов, блоков БС; и – множество имен свойств образующих БС. *R* – множество имен отношений между образующими БС; - множество имен операций (действий). Задание существенно связано с образующими БС множеством различных компонент, подлежащих монтажу в заданное монтажное пространство .

Существует два типа этих свойств в рамках выполняемой задачи монтажа:

Первый тип свойств – значения которых определяется в зависимости от того, с какими образующими оно сравнивается при решении конкретной задачи.

Второй тип свойств определяет узлы связи, как входные, так и выходные, в частности, клеммы электрических разъемов или клеммы для соединения проводником с элементами электрических схем.

Множество имен отношений *R*, в которые вступают образующие предметной области. – множества различных действий – операций монтажа, которые заданы для реализации технологического процесса монтажа, т.е. формирования заданных свойств, путем изменения отношений между образующими объектами этой системы.

Множества , определяют статическую структуру концептуальной предметной области БС. Для перехода к конкретной предметной области, например СЭС, необходима в рамках традиционного подхода к её реализации, перечислить заданные компоненты, создаваемой системы, их параметры, которые характеризуют объекты СЭС, а также их свойства, как объектов монтажа. Например монтажное пространство, включающее: источники энергии (первичные и вторичные), блоки регулирования защиты и управления, блоки трансформаторов тока, панели управления и защиты, устройства распределения постоянного и переменного тока и перечень бортовых жгутов системы [64].

Знания о предметной области – это закономерности (принципы, связи и законы), приобретенные в процессе практического и профессионального обучения, которые позволяют специалистам организовывать и выполнять производственные задачи в данной области.

Для представления специальных знаний в настоящее время используется в основном продуктивная модель, основанная на правилах, определяемых РТМ и НТД, в которых реализуется формула:

.

Условия – этой образец, по которому осуществляется поиск в РТМ или базе знаний.

В заключении раздела уточним класс объектов СЭС. Будем считать, что он является заданным множеством, которое в нашей работе есть область монтажа БС. В связи с вышеизложенным, перечисленные объекты считаются принадлежащими этой области. Примерами таких объектов для системы СЭС могут быть:

* Источники электрической энергии (первичные – синхронные генераторы переменного трехфазного тока, вторичные – преобразователи рода и вида тока, а также напряжения, вспомогательные и аварийные источники);
* Устройства регулирования защиты и управления (пульты и панели управления и защиты), блоки регулирования защиты и управления, трансформаторы тока, автоматы защиты сети;
* Устройства распределения электрической энергии для подключения потребителей (устройства распределений постоянного тока 27В, переменного тока 200/115 В);
* Совокупность жгутов этой системы.

При этом, в работе помимо области монтажа и её компонентов всегда задано множество операторов, реализация которых может быть представлена действиями, формальное описание которых реализуется в рамках формальной системы.

## 2.3 Топология монтажного пространства

В этом разделе предлагается формальная постановка задачи монтажа, подобно задачам области математики, в которой исследуются расположение в пространстве точек, линий, плоскостей, а также развиваются методы исследования фигур, их формы и взаимное расположение [56,83,84], и которая трактуется её создателем Анри Пуанкаре, как «Геометрия положения».

Исходя из понятий теории множеств и топологии, «язык» в данной диссертации определяется двумя множествами понятий: множеством синтаксических представлений и обозначения множеств, посредством этих представлений [88]. Для реализации этих положений предложена формальная система, где синтаксическое описание монтажного пространства и его связности в рамках точного формализма представляют конструкции, построенные на фундаментальных представлениях теории множеств и топологии и их интерпретации синтаксическими выражениями на основе предикатов [89].

Рассматривая предметную область синтеза (монтажа) БС введём правила языка для построения моделей:

1. Задан алфавит:

* Константы: ,…, или числа 1, 2, 3,…, интерпретация которых связана с точками топологического A и монтажного пространства M;
* Переменные: интерпретация этих переменных определяется классом образующих, обладающих общим свойством т.е. признаку ставится в соответствие значение ;
* Предикаты - это дополнительные к предметной области утверждения, которые образуют заданное множество предикатов для описания образов объекта монтажа. Любой образ, в частности, БС можно описать булевым выражением, содержащим значения утверждения, включающих предикаты , где P – некоторое свойство. Для оптимизации описаний образов используются предикаты виде , где K – значение некоторого свойства отличного от входного;
* Логические операторы , , позволяющеё так комбинировать элементарные предикаты, что результирующие утверждения стали обозримыми, т.е. легко проверяемые на истинность или ложность;
* Квантор всеобщность , объединяющий все элементы предметной области, в которой синтезируется образ объектов, создаваемых по заданным правилам.

1. Построение формул:

* Формулы исчисления предикатов образуются аналогично формулам исчисления высказываний [70], т.е. строятся по правилу

*,*

где если *m* есть формула, то и (*m*) является также формулой;

* Каждому предикату приписывается вес *k*: выражение является формулой, если и только если вес *A* равен *k*;
* Выражение представляет собой формулу, в которой есть связанная переменная, а свободные переменные при i

1. Аксиомы:

* Имеются все три аксиомы исчисление высказываний [70,71]: а также аксиомы: аксиомы спецификации

(A5): ,

где и суть формулы, а *t* не является свободной переменной в .

1. Правила словообразования:

(модус поненс),

*t* – свободная переменная в .

Дополнительно вводятся символы дизъюнкции и конъюнкции .

Научное исследование процесса монтажа в рамках монтажного пространства есть познание определенной предметной области. Процесс исследования осуществляется субъектом, в рассматриваемом разделе случай создания БС – это формирование заданных свойств (соответствующих НТД) создаваемого объекта.

Моделирование является эффективным методом исследования процесса монтажа с помощью определенных формальных систем его описания, поскольку на начальном этапе все его аспекты нераскрыты. Так монтажное пространство – есть его изображение в некотором пространстве в общем виде и является грубым заданием структуры . С общих позиций, разрешены некоторые операций над . Знание , как предметной области, являются определяющими в исходных данных. Все приведенные положения, в условиях неопределенности, потребовали для решения задачи монтажа формирования знаний из поля знания, синтаксическая структура которого определяется тройкой: – исходных данных, операциональной моделью предметной области и структурой выходных данных, формирующих поле знаний , в рамках реализации которого создается объект монтажа БС – С [71]. Тогда её структуру можно представить: . Множества и   рассмотренные в предыдущем разделе, позволяют представить предметную область в различных описаниях (лингвистических эквивалентах). Но для нахождения правильного описания необходимо учитывать множество факторов: сложность задачи, числа подзадач, установление отношений, задающих свойства объекта монтажа, а также задачи представления монтажного пространства – её модели. Состояние предметной области, представляемое следующим образом:

(2.2)

Это выражение описывает ситуацию в данный момент времени. Ситуация создания БС, в том числе, и СЭС определяется как множество состояний, реализованных в заданном пространстве состояний.

Свойства объекта , которые получаются с помощью большого числа специфических операций, описываются в рамках формулы:

(2.3)

Предметная область объекта выступает в качестве пассивного элемента действия (объекта преобразования), а монтажник является преобразователем, т.е. субъектом действия. Состояние предметной области отображается на множество действий. Таким образом, монтажное пространство характеризуется заданным исходным состоянием или, с формальных позиций, заданной сингулярной пропозициональной функцией, которую можно записать в виде формулы:

(2.4)

Где – свойство, а – отношение. Болеё сложные пропозициональные функции, описывающие конкретные ситуации – упорядоченные множества совместимых состояний объекта монтажа, как например:

(2.5)

Где знак импликации, сходный с союзом «если…, то…», а a – символ квантора общности, т.е. представляет словосочетание «для всех a». Истинность или ложность этой функции, т.е. высказывания реализуется заметной переменных на постоянные.

Создание теоретического фундамента формализации процесса монтажа БС на базе теории множеств Кантора и Пуанкаре позволило ввести понятие топологической структуры объекта монтажа. Рассматриваемые в топологии множества точек, связаны с представлениями о пространстве, в том числе и в трехмерном евклидовом пространстве  , представляют собой – одномерные объекты монтажа, плоскости - двухмерные и трехмерные пространства, лежащих в основе формирования реальных объектов производства. Если в пространстве так или иначе определена топологическая структура, то можно говорить о топологическом пространстве, а интерпретация понятия – окрестностей точки, связанная с понятием предельной точки, позволяет говорить о множестве точек, относительно предельной точки, как понятие соединительного разъема в схемах БС, представленном одной точкой, или множеством монтажных точек (точек соединения) [56].

Таким образом, используя выше введенное топологическое понятие предельной точки и понятие её окрестности, будем моделировать электрический разъем, играющий ведущую роль в процессе монтажа БС. Тогда на евклидовой плоскости разъем будем определять, как окрестность точки , где положительное целое число, определяющеё конкретный разъем , представляющие множество всех точек плоскости . Варируя значением получим все множество вариантов разъемов.

Следовательно, если рассматривать эти понятия, можно ввести фундаментальные определения монтажного пространства , т.е. это множество можно представить топологическим пространством, в котором определено для каждого разъема множество монтажных точек , как системы окрестностей (множества клемм разъема), удовлетворяющий системе , где – целое положительное число.

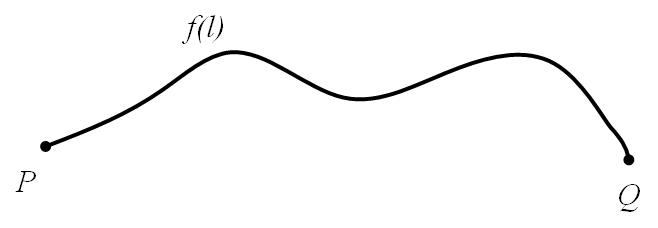
## 2.4 Моделирование линейных связей бортовых систем в монтажном пространстве

Одним из фундаментальных вопросов, связанных с процессами монтажа, является наличие связности и или отсутствия таковой между элементами БС. Это понятие по своей сути является топологическим, т.е. не меняющим своего характера при топологических преобразованиях. Топологическая инвариантность свойства связности (две точки и можно соединить линией) понятно из инвариантных соображений, которые формулируются в виде теоремы о существовании топологического отображения для гомеоморфных топологических пространств и [56,88].

Исходя из концепции непрерывности в топологии, всякое возможное соединение *C* в монтажном пространстве , направленные из топологического пространства (например, технического отсека носовой части ЛА) в топологическое пространство (например, отсек центропалана) – есть непрерывная функция . Так же числовая прямая рассматривается как пространство с топологической структурой [56]. Направленное отображение из топологического пространства в топологическое пространство   является направленным отражением , удовлетворяющим следующим определенным условиям:

1. Каждой точке пространства соответствует одна и только одна точка пространства : (условие отображения);
2. Если последовательность точек – сходится к точке , то составляющая последовательность точек – сходится к точке , которой соответствует точка топологического пространства при отображении .

Эти условия в рамках монтажного пространства позволяют моделировать различные представления разъема , т.е. использовать его детальную (множество монтажных точек) или свернутую (предельная точка в соединении «модуль – жгут проводов») модель. А их отображение позволяет моделировать соединения или их отсутствие внутри разъема (рисунки 2.1, 2.2). Если откладывать на оси координат значения *x*, а на оси – значения , то получим множество точек  , которые характеризуют наличие соединения в разъеме .



|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 2.1 - Свернутое  представление цепей жгута | Рисунок 2.2 - Развернутое представление цепей жгута |

Таким образом, будем говорить о преобразовании точки   в точку на проводнике жгута, а преобразование топологических или монтажных пространств и как точечного отображения в рамках соответствия условиям:

* взаимно однозначное соответствие эквивалентны как множество точек);
* соответствия как прямое , так и обратное непрерывны.

При этом, способ соответствия является единственным, т.е. пространство и эквивалентны, или с позиций топологических представлений в монтажном пространстве можем говорить о гомеоморфизме пространств и . К примеру, разъемы различных блоков БС (поверхности) соединены жгутом, обладающей гомеоморфной структурой. Точки и этих разъемов приводятся в соответствие, т.е. при монтаже они должны быть взаимно однозначны. Это свойство отражает равенство значений каждой из них.

Все указанные выше топологические представления структуры, с учетом условий и свойств, позволяют строить формальный образ сложной системы. Такие возможности представления проектов производства (эталонов), позволяют гибко решать задачи формализации (задание и преобразование монтажного пространства в удобной форме). Таким образом решается основная задача производства – создание объекта производства по этапам). Объединение отдельных этапов дает решение общей задачи, представленной в замкнутой форме.

Каждое соединение точек, т.е. преобразование монтажного пространства путем введение связей в него - есть образ, характеризующий модель бортового жгута, а его топологическая интерпретация представляет образ, описываемый предикатами , где – свойство связности, а – значение утверждения, принимающего значение 0 или 1. С точки зрения монтажного пространства, проводник есть образ кривой линии в топологии, соединяющий окрестность и   или с учетом множества для каждой точки получим систему проводников – жгут из них является образом соединяющего устройства.

С формально-топологической точки зрения, связь - это отрезок на оси чисел, т.е. если – множество всех чисел между точками связи в топологическом пространстве, то образ в монтажном пространстве является проводником, т.е. кривой на плоскости.

## 2.5 Формальные основы синтеза образа бортовых систем

Важность решения задачи монтажа обсуждалась в главе 1 настоящей работы. В предыдущих разделах главы 2 определены исходные понятия и определения, предметная область решаемой задачи и предложена её модель. Особое внимание уделено задаче синтеза образа, как формализации процесса монтажа БС на языках теоретико-множественных и топологических представлений. Синтаксис такого языка есть функциональный анализ, охватывающий очень важные стороны формального описания процессов монтажа БС.

В этом разделе остановимся по существу на методике формального представления задачи монтажа, базирующейся на введенных выше понятиях и определениях, и уточняющих дополнительные понятия при решении задачи синтеза образа БС.

Язык описания образа БС можно рассматривать как состоящий из множества исходных предикатов и множества методов объединения этих предикатов, которые могут быть использованы для описания образа БС.

В настоящее время не существует удовлетворительного способа решения таких задач в рамках строгого формализма: многообразие БС, а также единообразие задач монтажа, задача объединения отдельных компонентов этих систем, а также задачи контроля и испытаний БС, требуют универсальные модели языков описания. Создание универсальной модели является необходимым. При универсальной модели один язык может заменить другой в определенных задачах монтажа БС.

Поэтому основной целью данного раздела является создание универсальной модели языка описания для решения задачи синтеза и распознавания образов БС в контексте точного формализма. Как показали проведенные исследования таким языком является язык функционального анализа, использующего аппарат теории множеств метрических и топологических пространств и построенная на них «геометрия положения».

Для решения задачи монтажа БС построим специальный язык, как прикладное исчисление предикатов, переменные которого изменяются на области монтажного пространства.

Уточним понятие БС, как объекта монтажа (объекта теории), представленного абстрактным множеством   – монтажным пространством, как показано выше, является топологическим подпространством   евклидова пространства, которое, во-первых, ограничено и, во-вторых, каждая точка имеет окрестность [8,15]. Как правило, монтаж БС существенно связан с замкнутой поверхностью в монтажном пространстве , которое с формальных позиций может быть задано многоугольником в следующем виде:

, (2.6)

Где – двуугольник, а g – род поверхности.

Используя (2.6) задаем правильную форму замкнутой монтажной поверхности.

Первостепенной задачей теории монтажа является построение методов, направленных на решение вопроса синтеза гомеоморфного относительно его эталона пространства конкретной БС. Такое пространство строится непосредственно на базе разбиения эталона БС, который состоит из симплексов различной размерности (нульмерной – точка, одномерной – прямолинейный отрезок, двухмерной – треугольник, четырехмерной – тетраэдр). Таким образом, в результате триангуляции получаем группу гомологий , которая определяется полиэдром и состоит из множества симплексов различной размерности, а её связность обеспечивается множеством одномерных симплексов, объединенных в одномерные цепи, которые, в свою очередь объединяются в жгуты проводников, представляющие кривые Жордана. Симплексы двухмерной размерности представляют соответственно плоскость монтажа БС, а трехмерной размерности – её блоки .

Введение в рассмотрение пространства состояний позволяют описать динамическую ситуацию монтажа БС в рамках реализации формул (2.1) и (2.3), т.е. описать формирование БС – её структуры в рамках точного формализма.

В работе рассматриваются образы всех БС, состоящих из физического множества компонент – блоков . На этом множестве определена функция  , т.е. каждый блок представляет собой число , каждому из которых ставится в соответствие определенное число, представляющее собой отношение между элементами - отношение  . В этом случае БС определяется как функция с областью , где   определяет множество всех значений, принимаемых этой функцией. В рамках специфики, рассматриваемой в работе задачи монтажа БС, будем пользоваться термином «отображение» на основе теоретико-множественного подхода [55,56]. В этом случае возникает специальная функция – синтеза отношений в заданном множестве точек монтажного подпространства *M* в евклидовом пространстве . Отображение связано с множеством   значений этой функции, в частности, если существует элемент в  , то соответствующий элемент  в  является образом элемента под отображением  , т.е..

Тогда для некоторого множества из   – существует множество всех элементов вида    a   с   в качестве образа , то есть , и, следовательно, для каждого множества из  существует прообраз – множество всех объектов, элементы которых из входят в .

Рассмотрим два варианта решения задачи в замкнутой форме: Синтаксическое решение и графическое решение.

### 2.5.1 Синтаксическая аксиоматика описания монтажа бортовых систем

Рассмотрим алфавит формальной системы монтажа, в которой реализуется принцип предметности, согласно которому БС выражает связи между её объектами. В этом специализированном языке используются следующие символы:

1. – элементы монтажных цепей, из которых строятся сложные цепи , монтажные плоскости , БС – ;
2. – геометрический комплекс, объединение всех компонентов (образующих) БКС, БС, ЭО;
3. группа гомологий [92];
4. десятичных цифр от 0 до 9.
5. 6 букв от A до Z;
6. 13 специальных символов:

= знак равенства;

+ плюс;

- минус;

\* звездочка (знак умножения);

( открывающая скобка;

) закрывающая скобка;

, запятая;

. точка;

“ кавычка (апостроф);

; точка с запятой;

: двоеточие;

знак меньше;

знак больше;

1. Алфавит исчисления высказываний;
2. Словарь исчисления предикатов;
3. квантор всеобщности;
4. квантор существования.

Синтаксическими определениями, построенными из предикатов этого языка, являются:

1. Определения, в котором определяемое и определяющее взаимозаменяемы;
2. Определения, в котором объект определяется через способы оперирования с ним.

Решение задачи монтажа, с формальных позиций, опирается на разделы теории кривых линий, кривых поверхностей и использование теоремы Жордана для преобразования монтажного пространства БС, а также теорему о вложении.

Для того, чтобы замкнутая поверхность представляла монтажное пространство, как топологическое подпространство *M* в евклидовом пространстве должны выполнятся два условия: во-первых, пространство должно быть ограничено и, во-вторых, чтобы одна из его точек имела окрестность. Следствием первого условия является то, что топологические понятия компактности и условия ограниченности используются для исключения бесконечных поверхностей из рассмотрения. Второе условие отражает фундаментальное свойство, присущее каждой поверхности. В рамках этих положений введено понятие замкнутой неориентируемой поверхности, выраженной (2.7).

Такое представление позволяет представить все типы замкнутых поверхностей и носит название нормальной формы замкнутой поверхности, в которое вложены все образующие БС.

Синтез, посвященный теории монтажа БС, есть соединение её частей, заданных в качестве образующих системы. Синтез БС, как и любая логическая операция, формируется в результате взаимодействия внешней системы (субъекта) с полученным набором образующих.

В рамках формального подхода для реализации языкового формата синтеза БС введем следующую методику логического вывода образа БС. Во-первых, заданы совокупность (состав) компонент (образующих) БС *X*, их свойства *C* (состояние *S*), начальное состояние определенное для ситуации , где , R – бинарное отношение упорядоченных пар – связей , где и - множество разрешенных операций с объектами монтажа.

Для того чтобы применить к состоянию , сначала должно быть выполнено условие  (начальное условие для применения ). Теперь результирующее состояние после применения характеризуется предикатом  . Записывая здесь  и  , эти буквы обозначают предикат. Например, начальное условие может быть длинной конъюнкцией предикатов , которая полностью характеризует все условия, которые применяются к оператору  в состоянии . Таким образом,  – это начальное условие, а  – конечное условие относительно оператора . Оператор переводится из одного состояния в другое и снабжается аксиомами типа исчисления предикатов. Чтобы сделать аксиомы независимыми от конкретного состояния  , аксиомы для каждого состояния могут быть записаны в обобщенной форме.

(2.7)

Здесь замена на устраняет обозначение двух конкретных состояний. Здесь  соответствует начальному состоянию , а  – конечному состоянию. Для описания начального состояния используется аксиоматическая схема следующего вида:

Где *H*; ; .

Где – конкретное начальное состояние, а - элемент целевого множества объекта монтажа, константа, неразрывно связанная с начальным состоянием.

Решение задачи монтажа (синтез БС) – достижение требуемого конечного состояния , представленного в форме:

(2.8)

Такое решение получается в системе счисления состояний для заданной ситуации, которую представим как:

, (2.9)

где - множество предикатов,  - множество операторов , - множество состояний, - множество систем аксиом, а - множество систем монтажа. В этом случае векторы могут выступать в качестве компонент (образующих). Таким образом, любое заданное начальное состояние может содержать в свою очередь любое количество фиксированных объектов, а  может быть последовательностью соединений таких предикатов.

Рассмотрим пример решения конкретной задачи.

Введем обозначение для следующих индивидуальных предикатов, определенных на области монтажа:

( – двухместный предикат «*x* и *y* суть элементы БС и *x* есть множество и *y* есть элемент *x*» обозначается как ;

( – трехместный предикат “*x*, суть элементы БС и x есть множество упорядоченных пар и пара есть элемент *x*” обозначен как (.

Предикаты последовательности и предикаты, которые получаются из них по обычным правила образования формул (включая подстановку вместо переменной индивидуальных имен элементов БС), определяются предикатами, описывающими эталонный образ. Из предикатов вводимой системой исчисления образуются формулы построения технологического процесса (вложения жгутов БС) по обычным правилам образования цепей.

Описания средствами классического исчисления предикатов первой степени, применимая к формулам формирования технологического процесса, плюс аксиомы для индивидуальных предикатов являются средствами языка монтажа.

### 2.5.2 Графическая аксиоматика описания процесса монтажа бортовых систем

Формальная схема для решения задач монтажа БС – дедуктивного логического вывода может быть представлена методом поиска с деревом решений. Такой подход состоит в разделение исходной задачи   на несколько подзадач с последующей попыткой разрешить каждую из них. Выражение «разрешить» будем понимать следующим образом:

Пусть классическая формулировка задачи монтажа БС имеет следующий вид:

«Получить из »,

Где – объект монтажа – БС, а – начальное (исходное) состояние. Всегда задано исходное состояние : монтажное пространство – евклидово пространство , в котором выделена монтажная поверхность с множеством заданных внутренних монтажных точек и множество упорядоченных пар в нем, в целом представляющеё концептуальную модель предметной области монтажа БС (статическая структура БС).

Монтаж БС реализуется в опорном пространстве , где – пространство времени. Образ в этом пространстве описывает движение в опорном пространстве (исходном) монтажном пространстве. Образующие из которых строятся конфигурации действий – это операторы, с помощью которых исходное состояние в пространстве состояний переводится в другое с помощью преобразований подобия. Решение задачи в целом есть конечное состояние для заданной ситуации. Задан определенный набор операторов, комбинируя которыми можно изменять монтажное пространство БС, которое в свою очередь зависит от применяемых средств – это могут быть руки монтажника. Задача заключается в том, чтобы перевести предметную область монтажа из состояния в некоторое заданное, определяемое как конечное (целевое) (). Сделать это возможно, лишь применяя допустимые лишь в данной предметной области действия из множества Выбор операции и их последовательности – есть решение задачи. Схема решения таким образом выражается формулой:

. (2.10)

Для перевода применим оператор и, если снова не совпадает с , обратимся к оператору чтобы получить и оценить его, сравнивая с и т.д. пока не найдется такой , что . Описанный путь поиска решений можно отобразить следующей цепочкой:

*.* (2.11)

определяется по формуле (2.8), а последовательность () представляет алгоритм решения задачи монтажа.

Сложные задачи, к которым несомненно относится задача синтеза (монтажа) БС – это объекты доступные непосредственному восприятию, т.е. их можно наблюдать в пространстве времени как указано выше. Выше дано интуитивное описание некоторой физической модели монтажа БС, рассматриваемой как мотивировку последующей формализованной теории, в которой модель является физической только в том смысле, что её компоненты (называемые образующими некоторой конкретной системы, в частности, БС) рассматривается так, как будто им присуще физическая реальность.

Таким образом, монтажное пространство, в котором БС рассматривается как множество совместимых, т.е. взаимодействующих частей одного большого объекта в заданном пространстве-времени, может прибывать в совместимых состояниях – ситуациях, множество которых образует класс ситуаций. Здесь рассматривается ситуация, в которой описывается синтез образа БС или последовательность преобразований (разрешенных операций) заданного монтажного пространства как упорядоченного множества совместных состояний, описание которых в установленном порядке порождает образ БС, как конъюнкцию состояний. В результате интуитивная физическая модель БС как системы, описанная в предыдущем разделе, имеет однозначное определение: БС - это объект, пространственно-временная концепция которого имеет смысл.

Главной задачей формальной теории монтажа являются образования тождественно истинностных формул из заданного подмножества исходных формул (образ), заданных или построенных в процессе моделирования, состоящих из заданного набора полученных в исчислении промежуточных формул .

Решение задачи монтажа БС может быть представлено в рамках точного формализма и тогда образ объекта монтажа БС, полученный методом дедуктивного вывода как концептуальной модели образа БС, определяется формулой следующего вида:

(2.12)

В этом разделе диссертации рассматриваются действия с реальными объектами, реализуемые субъектом в рамках разрешенных операций над ними, формализуемых в заданном исчислении, с целью получения образа в заданной среде (монтажном пространстве). При этом в рамках решения задачи монтажа образующие неделимы и представляют монтажные точки окрестности.

В работе синтез образа базируется на методе дедуктивного логического вывода, как формализации доказательства теорем. При таком подходе образ формулируется как доказательство теоремы и строится из отдельных подобразов (компонентных образов, таких как исчисление предикатов первого порядка), соединенных различными способами. В этом случае компоненты являются заданными заранее, а язык, обеспечивающий структурное описание образа на основе множества непроизводных элементов и процесс составления этих элементов, выражаются формулой, построенной на исчислении состояний для описания ситуации. Для представления структурной информации образа, в частности, СЭС служит граф отношений изображения образа [93–95].

Графическое представление синтеза образа может быть представлено графом отношений СЭС на рисунке 2.3.



система электроснабжения левого борта; система электроснабжения правового борта; АПШ автомат переключения шины ; СГ система генерирования; СР система распределения; БРЗУ блок регулирования, защиты и управления; ПУ пульт управления

Рисунок 2.3 – Граф отношения СЭС ТУ-214

Так как между помеченными графами и матрицами существуют взаимнооднозначные соответствия, граф СЭС может быть выражен топологическим графом: вершинами которого являются выделенные физические объекты СЭС как точки в трехмерном Евклидовом пространстве , ребра – Жордановы дуги, а соединения задаются матрицами смежности или инцидентности 𝜓. Особенности перехода от абстрактного графа к топологическому графу позволяют решать широкий круг задач контроля и испытаний, которые будет освещены в следующих главах работы. Таким образом, графическим представлением СЭС является топологический граф:

(2.13)

Для построения СЭС, как формальной процедуры монтажа, реализуется ряд отношений (операций композиций). Для описания её образа выбираются, во-первых, операции «вложения» в монтажную плоскость заданного монтажного пространства и, во-вторых, операцию реализующую «конкатенацию».

Рассмотрим построения образа СЭС, базирующегося на математических операциях «геометрии положения». Отметим, что заданные компоненты представляют собой симплициальные комплексы (множество симплексов), которые дополняются множеством точек крепления в монтажном пространстве, как составные частей комплекса. Множество точек всех симплексов компонентов СЭС и дополнительные (технологические) точки, формируют создаваемую систему или, с общих позиций, полиэдр.

Таким образом, операция вложения формируют геометрический комплекс *K* СЭС, состоящий из заданных компонентов и представляющих количество экземпляров *Z*, входящих в группу гомологий . Тогда полиэдр по вложению и, как следствие, образ СЭС образуется множеством является группой относительно операции сложения:

(2.14)

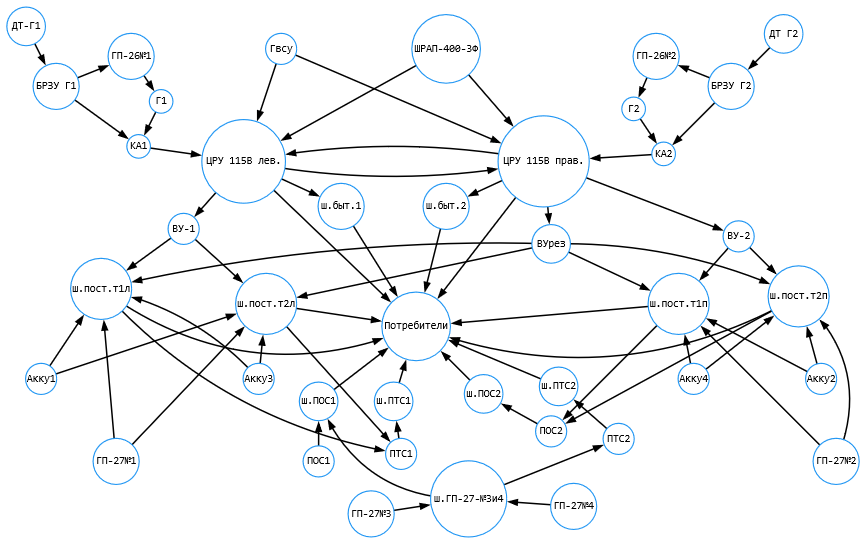


Рисунок 2.4 - Граф системы электроснабжения самолета Ту-204

На рисунке 2.4 представлен граф ЭСЭ самолёта ТУ-214. Где: ГП 26 No 1 (No 2) - привод-генераторов; Г1 и Г2 - Основные генераторы ГТ90НЖЧ12К No 1(левый) и No 2 (правый); ДТ Г1 и ДТ Г2 - блоки датчиков тока типа БДТ90К; БРЗУ Г1 и Г2 - блоки регулирования, защиты и управления БРЗУ 115ВО-2с No1 и No 2; КА1 и КА2 – Коммутационные аппараты правого и левого каналов; ЦРУ 115В лев. (прав.) - Распределительные устройство переменного тока (024.56.21-116 УР 200/115 В и 024.56.22-116 УР 200/115 В) левое (правое); ш. быт.1 и ш. быт.2 - Шина бытового оборудования левого и правого (РУ 200/115В); ВУ-1 - Выпрямительное устройство ВУ-6БК No 1 (левый борт); ВУ- 2 – Выпрямительное устройство ВУ-6БК No 2 (правый борт); ВУрез - Выпрямительное устройство ВУ- 6БК No 3 (резервный); ш. Пост. Т1Л, ш. Пост. Т2Л, ш. Пост. Т1П и ш. Пост. Т2П - Шина постоянного тока No 1 левого борта, Шина постоянного тока No 2 левого борта, Шина постоянного тока No 1 правого борта и Шина постоянного тока No 2 правого борта соответственно; Потребителей переменного тока 200/115 В левого борта; ш. ПОС1 - Шина ПОС No 1 (УР 200/115 В 024.56.09-113); ш. ПОС2 – Шина ПОС No 2 (УР 200/115 В 024.56.10-113); ш. ПТС1 - Шина ПТС No 1 (УР 200/115 В 024.56.09-113); ш. ПТС2 - Шина ПТС No 2 (УР 200/115 В 024.56.21-116); ПОС1 и ПОС2 - Статический однофазный преобразователь (ПОС-1000Б No 1 и No 2) 115В 400Гц; ПТС1 - Статический трехфазный преобразователь ПТС-250БМ; ПТС2 - Статический трехфазный преобразователь ПТС-2500; Аккм1, Аккм2, Аккм3 и Аккм4 - Аккумуляторные батарея типа 20НКБН-25-ТД-1-УЗ No 1, No 2, No 3 и No 4 соответственно; ш. ГП-27- No 3 и4 – Шина приводов генераторов ГП-27- No 3 и No 4; ГП-27- No1, No2, No3 и No4 – Привод-генераторов постоянного тока номер 1, 2, 3 и 4 соответственно.

Цепи электрических соединений состоят из одномерных ориентированных симплексов , составляющих основу синтеза образов БС как множества геометрического комплекса БКС и его составляющих частей.

Построим в комплексе K конечное число цепей, определенных как сумма ориентированных одномерных симплексов

, (2.15)

Где все коэффициенты  есть коэффициенты масштабирования соответствующего одномерного симплекса . Стандартная линейная сумма является удобным форматом для записи электрических цепей. Множество всех цепей с определенным целым коэффициентом представляет собой группу цепей, сумма которых образует комплекс :

, (2.16)

Эта сумма множества цепей отображает вторую сторону полиэдра – СЭС. Следовательно, реализация отношений (2.14) и (2.16) формирует образ СЭС в рамках теоретико-множественных операций в заданном монтажном пространстве.

## 2.6 Выводы по главе

В этой главе рассмотрена решения задачи формализации ТП монтажа БС на основе структурного подхода в рамках точного формализма. Понятие языка в работе рассматривается как множества синтаксических выражений.

С формальных позиции определена модель предметной области для решения задач ТП монтажа БС на завершающем этапе производства.

В рамках этой главы поставлена и решена задача ТП монтажа в замкнутой форме двумя аксиоматическими вариантами:

* Синтаксическая аксиоматическая модель описания ТП монтажа;
* Графическая аксиоматическая модель описания ТП монтажа БС.

На базе теории множеств Кантора и Пуанкаре предложена топологическая структура (граф отношения) СЭС самолета Ту-214.

Построена универсальная модель описательного языка представления задач ТП монтажа БС на основе теории формальных языков.

# ГЛАВА 3 ВОПРОСЫ КОНТРОЛЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ

Монтаж БС формирует их конфигурации, функциональные компоненты и систему в целом. По существу, он физически реализует системный подход на основе взаимосвязи элементов, создания из них функциональных объектов, которые объединяясь в процессе монтажа, образуют БС.

Принципы системного подхода выражаются в необходимости проведения всесторонних и комплексных исследований по всем вопросам. Комплексность системного подхода проявляется в том, что наряду с рассмотрением сложного объекта исследования, в частности, СЭС как единого целого, учитывается весь набор существующих внешних свойств, последствия их целевого применения с учетом комплекса результатов оценки качества и подтверждения их соответствия требованиям стандартов и технической документации.

В главе 2 настоящей работы были рассмотрены методологические аспекты теории процессов монтажа БС, а также содержание и общая формулировка задач монтажа в рамках универсальной модели представления и решения задач монтажа БС. Как было отмечено, исследование эффективности этих процессов представляет собой двуединую задачу анализа и на его основе синтеза решения этой задачи. При этом первым этапом решения задачи анализа является этап, который из-за большого разнообразия БС и реализуемых ими процессов функционирования, оказывается главным этапом анализа.

Цель данной главы – рассмотрение основ и методов оценки состояния результата монтажных работ и соответствия полученных БС требованиям НТД, а также связанных с этим процессом проблем.

## 3.1 Постановка задачи контроля бортовых систем как распознание образа

Одной из ключевых задач производства БС является задача распознавания её образа. Эта задача может быть сформулирована следующим образом:

По результатам заданного числа измерений параметров компонента БС или конфигурации , представленной в рамках точного формализма главы второй, следующим уравнением:

(3.1)

установить его регулярность как взаимное соответствие соединенных связей, оцениваемого образа (БС или части её монтажа) и его эталона – как среднего образа, необходимо принять решение о принадлежности его к тому или иному классу общей совокупности частей или БС в целом. Последнее определяется отношением согласования или отношением связи , зависящим от двух соответствующих связей и записываемым как , где – показатель связи. Отношение связи является *S* – инвариантным и поэтому если , то , где и - преобразованные показатели связи, полученные в результате применения преобразования подобия *S* к соответствующим образующим.

Это отношение может принимать как самую простую форму, в зависимости от характера, например, является просто равенством, так и сложную по функциональному назначению компонент БС.

Существенная особенность компонент БС, полученных в процессе монтажа - это их действия (функционирование), которые подлежат распознаванию образов конкретных конфигураций. Разделение конфигураций по характеру их действий представлено на рисунке 3.1.

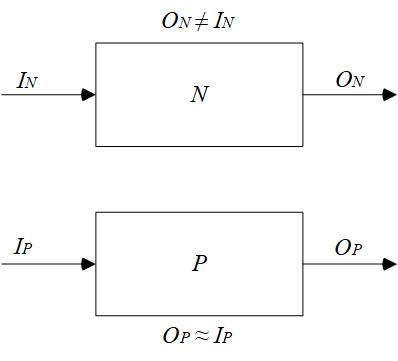


Рисунок 3.1 – Разделение технических средств по характеру их действий

Действия, представленные на рисунке 3.1, опишем следующим образом. *N* обозначает вычислительный блок БС. Вход преобразуется в выход . Преобразованием может быть переработка информации. Таким образом, выход принципиально отличается от входа .

*P* обозначает жгут проводов. Назначение жгута сводится к тому, чтобы организовать связь между входом и входом

Разновидности входов и выходов определяют необходимые и достаточные свойства компонентов или конфигураций, а также БС в целом [20].

Хотя образы будут принадлежать к одному классу, параметры образов могут варьироваться в определенном диапазоне, допускаемом НТД, поэтому статистические свойства всех параметров должны быть известны, т.е. возможны вариации параметров образов. Совокупность подобразов БС монтажа, подлежащая классификации, определяется на основе заданного альбома схем соединений для каждого типа ЛА, и реализуется в процессе монтажа. Для примера простой формы представлена схема соединений из альбома схем самолета Ту-204-300 (Рисунок 3.2) 024.50.62.56.12-04. Для сложной формы представлена схема соединений (Рисунок 3.3) подключения потребителей переменного тока 024.50.62.56.23-04 [64].

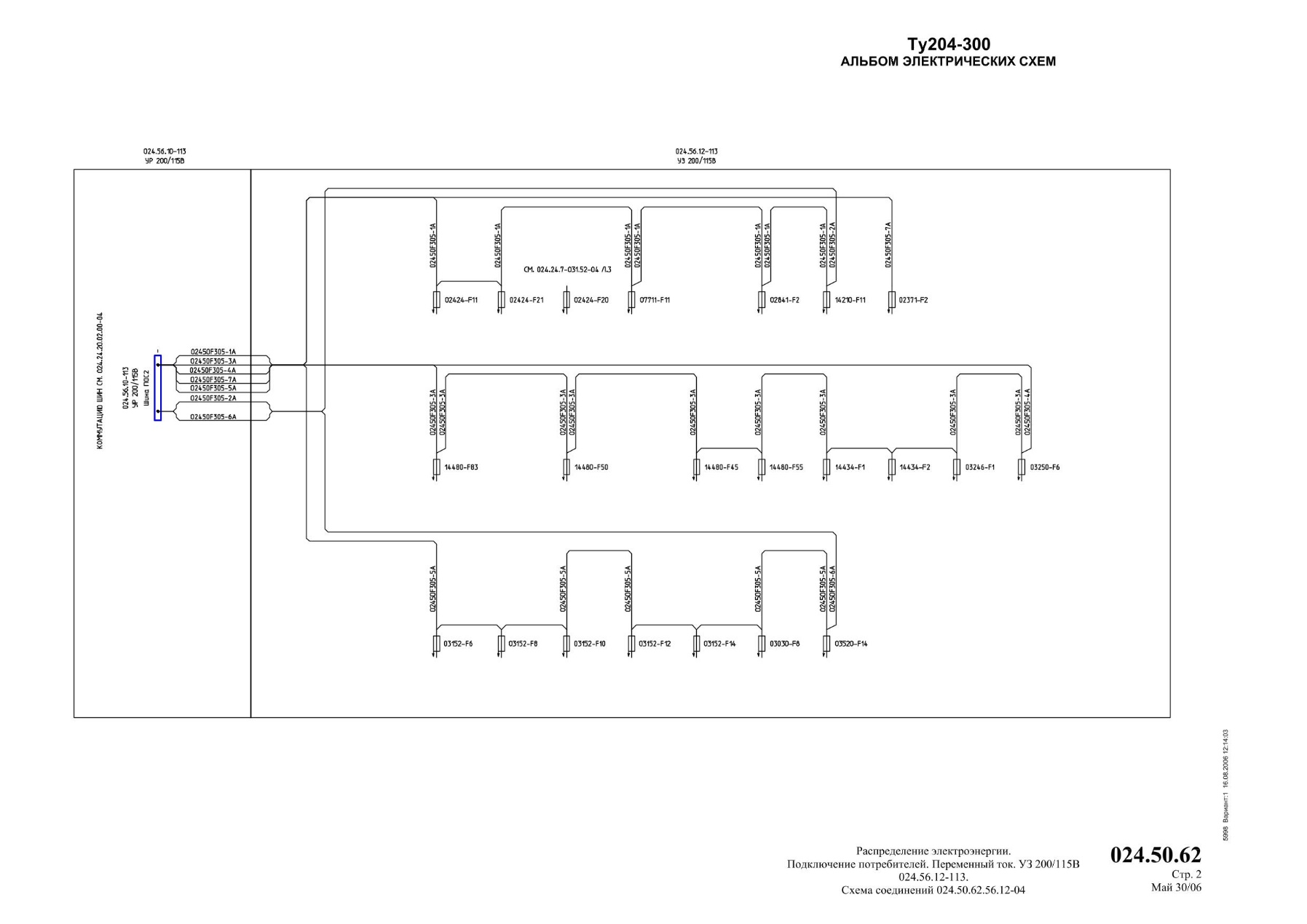


Рисунок 3.2 – Схема соединений подключения потребителей переменного тока 024.50.62.56.12-04

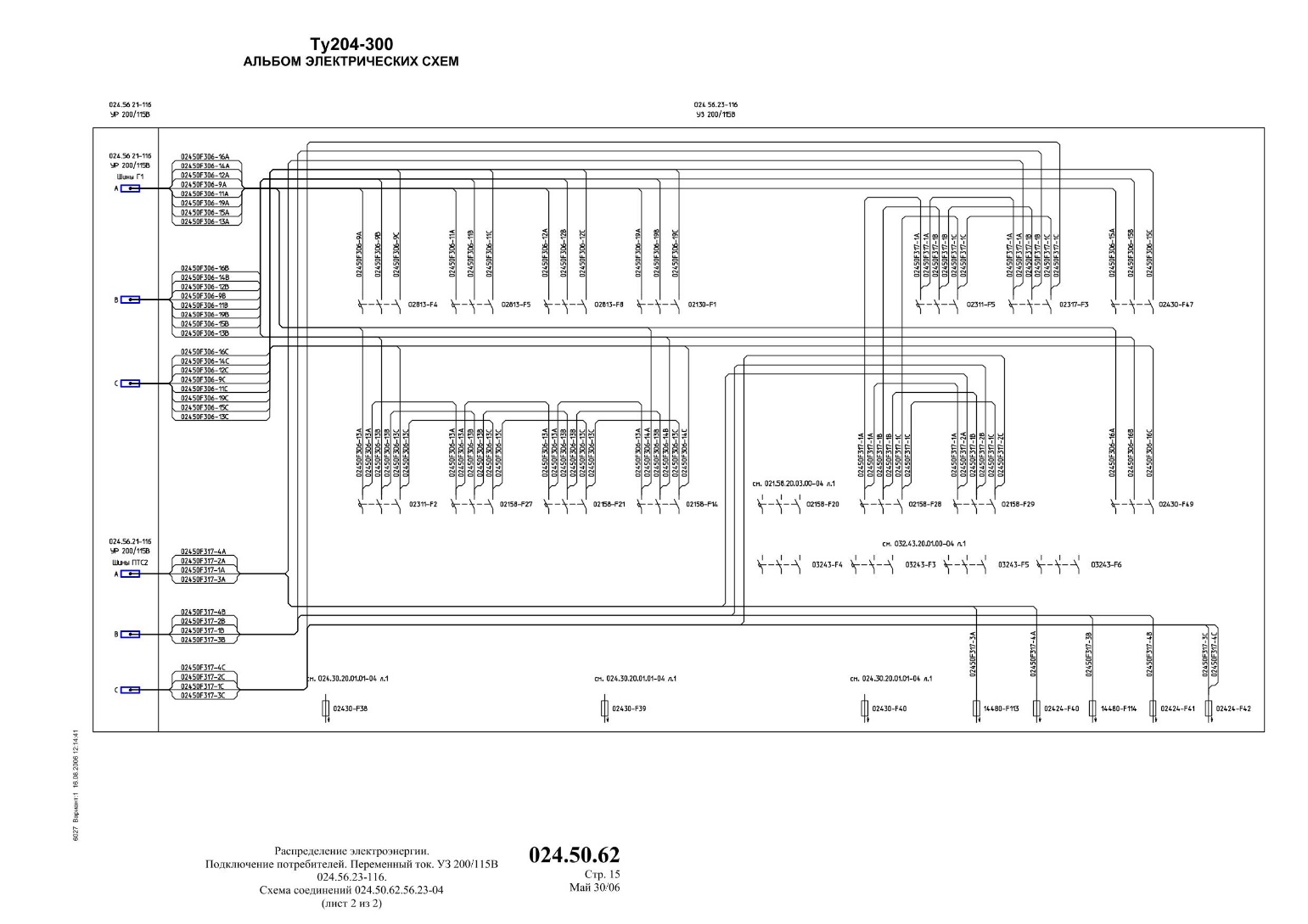


Рисунок 3.3 – схема соединений подключения потребителей переменного тока 024.50.62.56.23-04

В общем случае количество распознаваемых образов обозначаются как , а количество параметров для каждого образа обозначается как . Можно сказать, что каждому эталонному образу соответствует *N*-мерный вектор, который, соответствует конкретному *N*-мерному вектору .

Также важно отметить, что для каждого образа может быть задано пороговое значение, которое определяет минимальное расстояние между эталоном и входным образом, при котором считается, что образ распознан верно. Если расстояние меньше порога, то образ считается неопределенным, т.е. система не может однозначно определить, какому эталону он соответствует.

Прежде чем уточнять детали задачи распознавания образа, еще раз остановимся на определении понятия регулярности, взятого из [101]:

Определение 3.1 говорит о том, что конфигурация является регулярной, если для каждой связи   в ней выполняется определенное условие ().

Часть связей конфигурации участвует в соединениях,предусмотренных структурой ; эти связи являются внутренними связями конфигурации. Остальные связи конфигурации являются её внешними связями.

На приведенном примере (рисунок 3.2) внутренними связями являются УР-27, а внешними – подключение проводов к потребителям, в соответствии с приведенной выше схемой. Распознавание образа части БС существенно связано с понятием комбинаторной структуры, формально представленной комбинацией двух конфигураций , полученных с помощью множества правил - или , где *n* – число компонентов образующих, как правило, определенных. Множества характеризует регулярность образов.

При решении задачи распознавания образов регулярных структур, порожденных в заданном множестве соединением , реализует тип соединения , в котором объекты заданной категории (состав или части БС) порождаются из одного и того же класса в множестве графов, определенных на *n* вершинах. Решение задачи распознавания образов соответствующих классов, рассматривается на основе полученных конфигураций  и  , где – распознаваемая конфигурация, а   – конфигурация эталона, для которых определены множества и   и   каждой конфигурации. Пусть – это список связей, принадлежащих множеству и связей, принадлежащих (при этом осуществляются только парные связи, а групповые связи отсутствуют). Тогда комбинированная конфигурация может быть выражена как , причем

, (3.2)

структура (

Отсюда следует, что в том и только в том случае, если

Вместо списка можно воспользоваться прямоугольной матрицей инцидентности для представления соединений, предусмотренных .

Таким образом, каждая часть БС, подлежащая распознаванию в рамках комплексного подхода, подвергается предобработке, включающей, во-первых, функцию кодирования и оценки и, во-вторых, функции уточнения этих объектов для дальнейшей обработки с целью определения их состояния после монтажа БС. Каждый объект преобразования может быть представлен в виде цепочки лингвистических единиц, путем употребления его как операции композиции (единичное отношение) и с помощью математических операций. Этот процесс представления объекта состоит, во-первых, из сигментации и, во-вторых, из выделения непроизводных элементов. Чтобы представить объект через его подобразы его нужно сигментировать и в то же время идентифицировать (или выделить) в нем непроизводные элементы, другими словами каждый подвергнутый предобработке объект разделяется на части и непроизводные элементы на основе заранее заданных синтаксических операций. В результате получается завершенный объект распознавания. Каждая выделенная часть идентифицируется относительно заданного множества непроизводных элементов. Такой анализ объектов монтажа выявил необходимость реализации распознания образа в виде последовательности из двух операций, которые позволяют установить с высокой точностью классификацию объектов монтажа, их принадлежности к заданному классу (соответствия требованиям НТД).

## 3.2 Методы выбора параметров распознавания образов бортовых систем

Выбор параметров, характеризующих сложные компоненты БС, определяет сложность реализации процесса «распознавания». При выборе параметров для распознавания образов необходимо учитывать следующие факторы:

* Количество параметров – чем больше параметров, тем сложнее будет реализовать распознающую аппаратуру, но при этом вероятность правильного распознавания может быть выше;
* Качество параметров – необходимо выбирать такие параметры, которые максимально точно описывают характеристики образа и имеют наибольшую разделяющую способность;
* Статистические свойства параметров – необходимо знать распределение значений параметров в выборке образов и выбрать такие параметры, которые имеют наиболее различные значения для разных классов образов;
* Вероятность ошибки – необходимо определить приемлемый уровень ошибок и выбрать параметры, которые позволяют достичь этого уровня;
* Объем выборки – необходимо иметь достаточно большую выборку образов для того, чтобы можно было оценить статистические свойства параметров и провести проверку на переобучение;
* Сложность распознающей аппаратуры – необходимо учитывать возможности технической реализации распознающей аппаратуры и выбирать такие параметры, которые можно обработать с помощью имеющихся технических средств.

Таким образом, выбор параметров для распознавания образов является компромиссом между точностью распознавания и сложностью технической реализации. Необходимо учитывать все вышеперечисленные факторы и стремиться к выбору наилучших параметров, которые обеспечивают максимально возможную вероятность правильной классификации при приемлемом уровне ошибок.

Для выбора оптимального комплекса параметров можно использовать различные методы, такие как анализ главных компонент, дискриминантный анализ, метод опорных векторов и другие. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки и выбор конкретного метода зависит от характеристик задачи распознавания. Также важно учитывать, что выбранный комплекс параметров должен быть достаточно информативным для корректного распознавания объектов, при этом не должен содержать избыточной информации, которая может увеличивать сложность вычислений и снижать эффективность распознавания. Таким образом, выбор подходящих параметров для идентификации объектов является важным этапом в задаче распознавания и требует анализа статистических свойств сигнала и шума, инвариантности параметров, помехоустойчивости и сложности системы обучения.

### 3.2.1 Метод распознавания древовидных структур

При монтаже сложных компонент БС «линейный тип», как правило, замещается соединениями 𝛴 типа дерево, частного порядка и другими типами соединений [76].

Соединение древовидного типа в конфигурациях БС, с общих позиций рассматриваются как конфигурации, основными понятиями которых являются:

* множество терминальных символов;
* множество синтаксических переменных или нетерминальных символов, включающих в частности начальный символ ;
* множество 𝓡 правил подстановки, каждое из которых имеет вид .

Обозначение означает совокупность всех конечных цепочек, образованных из элементов любого множества *А*; кроме того вводится обозначение: .

Для любых двух цепочек и , принадлежащих , существуют цепочки такие, что , и если принадлежит обычному множеству , то можно записать . Для дальнейшего расширения отношения «», когда , или когда такие, что для некоторого и цепочки , можно утверждать, что , если существует . Где является выводом .

Цепочки, порождаемые грамматикой, являются входящими в цепочки, которые выводятся из начального символа. Важным классом грамматик являются множество бесконтекстных грамматик. Этот класс предполагает, что все правила, входящие в 𝓡 имеют вид

*.*

С помощью этих положений можно получить в рамках точного формализма описание монтажа на основе исчисления высказываний. Нам заданы терминальные элементы (компоненты конфигураций) одной и той же позиции.

Синтаксическая переменная    и правила

*.*

В этом случае каждая цепочка, произведенная грамматикой, является корректным представлением исчисления высказываний.

Формальный язык, предложенный во второй главе и реализуемый в этой главе, является простым примером описания широкого класса объектов монтажа на основе введенных выше понятий: образующих и конфигураций. Рассмотрим простой пример :

,

Где – конечный список символов (представляющих булевы переменные и

*.*

При введении связей следует провести более тонкое разбиение множества образующих , которые рассмотрены выше.

В рамках рассматриваемой в этой главе задачи распознавания образа компонент БС грамматика образов предполагает решение задачи выделение непроизводных элементов (компонентов конфигураций – цепей). Для эффективного описания образов можно выбрать бесконтекстную программную грамматику, порождающий язык непосредственно составляющих. Это особенно справедливо, когда нужные языки в действительности регулярны или могут быть апроксимированы регулярными, хотя грамматики этих языков имеют вид грамматик конкретных образующих. Для описания образов в цепочке используется только одно отношение - конкатенация. Это означает, что каждый подобраз или непроизводный элемент может быть соединён только один раз вправо и один раз влево по отношению к другим подобразам. Для описания двухмерных образов можно использовать контекстно-свободные грамматики, которые позволяют описывать отношения вложенности между подобразами. В этом случае каждый подобраз может быть связан с другими подобразами не только вправо и влево, но и сверху и снизу. Таким образом, контекстно-свободные грамматики позволяют описывать более сложные отношения между элементами языка, чем грамматики непосредственных составляющих. Для описания трехмерных образов можно использовать еще более сложные формализмы, такие как грамматики зависимостей. Грамматики зависимостей позволяют описывать отношения между элементами языка в терминах зависимостей, то есть связей между главным элементом и его зависимыми элементами. Таким образом, для описания более сложных образов необходимо использовать более общие формализмы, которые позволяют описывать более сложные отношения между элементами языка [96,99]. Пусть образы *R* - это множество *n*-арных отношений (. Хорошим примером этого является наличие подорбраза, или непроизводные элементы  удовлетворяющие отношению  обозначаются .

Простое обобщение грамматик, порождающих цепочки, состоит в замене цепочки матрицами [76]. Непроизводные элементы служат элементами матрицы, а в качестве отношения между ними выступает двумерная конкатенация. Каждое правило подстановки состоит не в замене части цепочки на другую часть, а в замене одной матрицы на другую.

Если введены отношения, отличные от простой конкатенации, то описание более удобно построить в виде графа отношений, вершины которого соответствуют подобразам или непроизводным элементам, а дуги бинарным отношениям. При наличии *n*-арных отношений описания в виде графа можно получить, сведя все отношения к бинарным. У-нарное отношение *r*(*X*) можно заменить бинарным *r*’( – обозначает «нулевой» непроизводный элемент. Отношение , можно преобразовать в композицию бинарных:

Или в конъюнкцию:

Или в комбинацию этих двух видов.

Таким образом обобщения одномерной грамматики на многомерную сводится к замене цепочек деревьями. Грамматика деревьев и соответствующие им автоматы исследованные [57,58] могут быть использованы при распознавании образов.

### 3.2.2 Статистические методы распознавания образов

Итак, для выбора параметров распознавания физических величин для учета случайности значений параметров компонентов БС и вероятности получения *N*-мерного вектора с заданным значением используются статистические методы. Например, для оценки среднего значения параметра можно использовать методы математической статистики. Также можно использовать вероятностные модели, такие как нормальное распределение или смесь нормальных распределений, для описания распределения значений параметров , компонентов БС. Эти модели позволяют оценить вероятность получения вектора с определенным значением параметров. Важно отметить, что для эффективной классификации необходимо учитывать не только значения параметров компонентов БС, но и их взаимосвязь. Для этого могут использоваться методы анализа зависимостей, такие как факторный анализ или дискриминантный анализ.

В каждой конкретной задаче распознавания важнейшим является оптимальный выбор комплекса наиболее информативных параметров распознаваемого образа. Такой выбор предопределяет и лучшую конструкцию устройства и более высокие перспективы её использования. Вероятность того, что величины *x* и *y* будут меньше некоторых значений и обозначается следующим образом [102]:

( 3.3)

Эта величина является функцией  и и называется совместной функцией распределения. Функция определяет плотность распределения вероятностей (дифференциальное распределение).

В многомерном случае нормальный закон плотности вероятности для вектора имеет ту же форму, что и показатель степени, поскольку вектор и соответствующий ему должны быть записаны в позиции весов и , а делитель среднеквадратичной ошибки измерения заменить положительно определенной симметричной матрицей:

### 3.2.3 Метод функционального анализа в распознавании образов

Функциональные компоненты бортовых систем являются её частью, которые формируются в процессе монтажа, т.е. соединение непроизводных элементов (жгутов – устройств распределения) в компоненты, составляющих основу БКС ЛА.

БКС ЛА включает в себя большой набор цепочек (электрических цепей). Эти цепи в рамках задачи, решаемой в данном разделе, представляют открытый контур, т.е. любую цепь, состоящую из последовательно соединенных заданных непроизводных элементов, являющихся строительными блоками функциональной компоненты с сосредоточенными параметрами, в частности, характеризуемые действительными или комплексными числами . С общих позиций, с непроизводными элементами связаны некоторые величины (конструктивные константы) . В целом функциональный модуль и его параметры, с общих позиций, могут быть представлены измеримыми функциями, а задача оценки его состояния в рамках реализации формы «сравнения с эталоном» может быть определена множествами: множество *X*, характеризующее образ БС подлежащий оценке; множество *Y*, характеризующий образ эталона БС.

Путь в них определены системы подмножеств и соответственно. Абстрактная функция с областью определения *X*, принимающая значения на *Y* будет измеримой, если вытекает, что .

Например, если и за *X* и за *Y* взять действительную функцию действительного переменного, а за и взять систему всех открытых подмножеств, представляющих измеримые функции и определение измеримости сводится к определению непрерывности в соответствии с функциональным анализом [56]. Таким образом, мы приходим к тому, что называется *B*-измеримым (или Borel-измеримым). В этом отношении важно понятие меры числовой функции, определенной на множестве, для которого определена мера . В этом случае - это множество всех множеств , измеримых относительно , а - множество всех *B*-многообразий на прямой. При этом случае - это множество всех множеств , которые могут быть измерены относительно *μ*, а - множество всех многообразий на прямой. Таким образом, для числовых функций, сформированных в процессе оценки функциональных модулей используется определение измеримости [103–105]: Пусть *X* множество, на котором задана мера , тогда действительно функция называется – измеримой, если для всякого барелевского множества *A*:

*.*

Числовые функции, заданные на прямой называются барелевской (или *В*-измеримой) если подобраз каждого барелевского множества есть барелевское множество, то барелевская функция от - измеримой числовой функции -измерима.

Действия над измеримыми функциями эталона и оцениваемого функционального модуля позволяют реализовать арифметические операции на них, такие как: сумма, разность и произведение двух измеримых функций. Эти действия позволяют получить истинные оценки для распознавания образа функциональной компоненты БС, из которых формируется функция и функция , заданные на одном и том же измеримом множестве, позволяющие определить эквивалентность этих функций, если:

Для решения задачи оценивания параметров и, как следствие, его состояния используются две функции. Функция , которые эквивалентны в рамках представления:

*.*

Для заданных измеримых функций понятие эквивалентности функций является главным параметром для распознавания образа функционального модуля.

### 3.2.4 Методы теории классификации в распознавании образов

При распознавании образов конфигураций после их синтеза наблюдается искаженные варианты идеальных изображений как классов эквивалентности **,** т.е. наблюдается , где – деформированное изображение функционального модуля, – деформированное множество. Устройство, предназначенное для распознавания функциональных модулей определенного класса после обучения должно по результатам однократного (случайного) измерения параметров объектов отнести его к тому или иному типу, т.е. должно принять решение. Автомат [106–112], распознающий функциональные модули – выполняет распознавание по нескольким параметрам. В рамках вероятностного характера происходящих процессов в работе используется концепция и методы системных исследований распознавания состояния.

В качестве основы решения этой задачи в работе используется теория стохастической индикации (ТСИ) нового раздела вероятности, родившегося из задач распознавания образов [113–117].

Концепции и методы ТСИ находят применение в самых различных областях системных научных исследований: «анализ систем», «исследование операций», «теория принятия решений» и т п. Действительная сфера её применимости приведенным перечнем не исчерпывается и, прежде всего, по тому, что ТСИ является разделом «теории вероятности» без применения методов которой сейчас не мыслится ни одно серьезное исследование.

В последние годы раскрыта связь между теорией нечётких множеств и теорией случайных множеств, которая может быть описана математически. А поскольку основной объект ТСИ – стохастический индикатор представляет собой индикатор (характеристическую функцию) случайного множества, то ТСИ также представляет собой «теорию случайных множеств». Так как ТСИ – теория вероятностная и, следовательно, получаемые на её основе решения имеют четкую частотную интерпретацию (в отличии от «теории нечетких множеств») и не вызывает затруднений в их осмыслении и практическом использовании. Как будет показано, ТСИ служит основой для разработки методов оценивания эффективности операций и, в первую очередь, уникальных (единичных), для исследования которых известные вероятностные методы малопригодны. В то же время, поскольку исследование эффективности процессов, в нашем случае монтажа, является важнейшим этапом решения задач «анализа систем», «исследования операций», то концепции и методы ТСИ находят применение при решении задач проектирования человеко-машинных систем, планирования и организации процессов оценки функционирования БС, а также задачах принятия решений в условиях неопределенности.

Уточним основные понятия и определения ТСИ. Широко используемым в теории функций в функциональном анализе [56] теория меры [103], теория вероятности [102], алгебры логики [107,118] и т.д. являются понятием индикатора множества (характеристическая функция множества), определяемая следующим образом:

Определение: индикатором множества А называется функция:

(3.4)

Где – индикатор множества *А*;

- индикатор значений множества аргументов на множестве *А*.

Каждому множеству соответствует свой индикатор, и, наоборот, любая функция, принимающая только одно из двух значений , может быть интерпретирована как индикатора некоторого множества.

В этой главе рассматривается множество выполненных соединений элементов БС, представляющее функцию , характеризующую соединения в монтажном пространстве *X*, определяющее структуру БКО ЛА. Тогда с помощью индикатора множества *А* она может быть определена (задана) линейным выражением

(3.5)

В качестве примеров индикаторов, в рамках решения задачи распознавания состояния монтажа БС, будут служить селекторы: – окружности точки – селектор одноточечного множества (монтажная точка), т.е.

(3.6)

Или при использовании теоретико-множественного обозначения

*.* (3.7)

В силу стохастического характера исхода реализации операции монтажа БС, т.е. отдельная операция может завершиться положительным результатом (1) или завершиться отрицательным результатом (0). Все операции монтажа реализуются в универсальном специальном множестве логических возможностей *U*. Тогда индикатор множества будет представлять собой случайную величину со следующими свойствами:

(3.8)

В отличии от индикатора множеств, индикаторы случайных событий называются стохастическими. Плотность распределения и функция распределения стохастического индикатора соответственно имеют следующие выражения:

(3.9)

, (3.10)

где

Переход от случайных событий к их индикаторам – случайным величинам является весьма плодотворным, поскольку математический аппарат и методы исследования вероятных свойств случайных величин обладают большой гибкостью и универсальностью.

Итак, из соотношения (3.5) с учетом (3.6) и (3.7) следует:

*.* (3.11)

Раскроем семантику равенства (3.8) при этом воспользуемся содержательной трактовкой понятия случайного события, используемой в теории вероятности. В данной работе – это соответствие или не соответствие выполненной операции монтажа требованиям НТД. Под событием понимается исход операции, состоящего из реализации вполне определенного комплекса ℵ условий. Тогда случайное событие - это не что иное, как результат операции, которая происходит под влиянием воздействия на комплекс ℵ случайных факторов, то есть в некоторых условиях неопределенности. Эта неопределенность приводит к тому, что конкретное событие *А* происходит не в каждой реализации комплекса ℵ, а только иногда. Для количественного оценивания вводится понятие вероятности случайного события , которая, таким образом, характеризует степень объективной возможности появления события *А* в условиях [113].

При решении задач монтажа описание исходов операций монтажа можно дать в форме некоторого высказывания. Истинность такого высказывания адекватна достоверности соответствующего ему свершившегося события. Вместе с множеством элементарных событий, составляющих событие *A*, существует множество реализованных логических возможностей (утверждение *A* истинно), называемое истинностным множеством утверждения *A*, которое представляет собой реализованное множество [70]. При интерпретации этого события появляются возможности вести содержательное описание методов теории вероятностей в терминах алгебры высказываний, которое в рамках решения задач монтажа обладает большой наглядностью.

Если для множества истинности высказывания *А* определить индикатор , то принимаемые им значения будут равны значениям истинности высказывания *А* на множестве *U* всех логических возможностей, т.е.:

(3.12)

Продолжая проводить аналогии между алгебрами высказываний и событий легко установить, что истинность и ложность высказываний *А* эквивалентны соответственно достоверности и невозможности события *А*. Неопределенность состояния ℵ, в котором высказывание *A* истинно, равна неопределенности условий комплекса ℵ, определяющих случайный эксперимент (операция). Из всего сказанного следует, что каждая алгебра, высказывание и событие, является булевой и изоморфна. В результате эти алгебры изоморфны друг другу, и формально уместно описывать вероятностные ситуации на языке любой из них.

## 3.3 Технические средства распознающих автоматов

Для практического решения выше проведенной теории распознавания состояния БС в качестве технического средства распознающих автоматов применяется Микропроцессорная Автоматизированная Система Контроля Авионики (МАСКА 10 20 00 000 - 05), разработанной сотрудниками Самарского Университета [49,50,119].

Система МАСКА является универсальным контрольно-испытательным комплексов, предназначенной для выполнения следующих задач:

* Контроля и испытаний технического состояния БС;
* Контроля логической структуры и качества монтажа БС;
* Динамическое моделирование поведение БС.

### 3.3.1 Комплектация и структура системы МАСКА

Система включает в себя интегрированный системный коммутатор, оптимально сочетающий набор приборов PXI, оборудование сети CAN, передовые электронные компоненты, контрольно-измерительные приборы и программно-реализованные локальные интеллектуальные коммутаторы [8,15,120]. Структурная схема и комплектации системы МАСКА представлена на рисунок 3.4. Где: АРМ – Автоматизированное рабочее место; СУБД – Система управления баз данных; БУИК – Блок управления, измерения и контроля; МКУ – Модуль коммутации и управления; ЛИК – Локальные интеллектуальные коммутаторы; PXI(УСК) – Унифицированный системный комплекс.

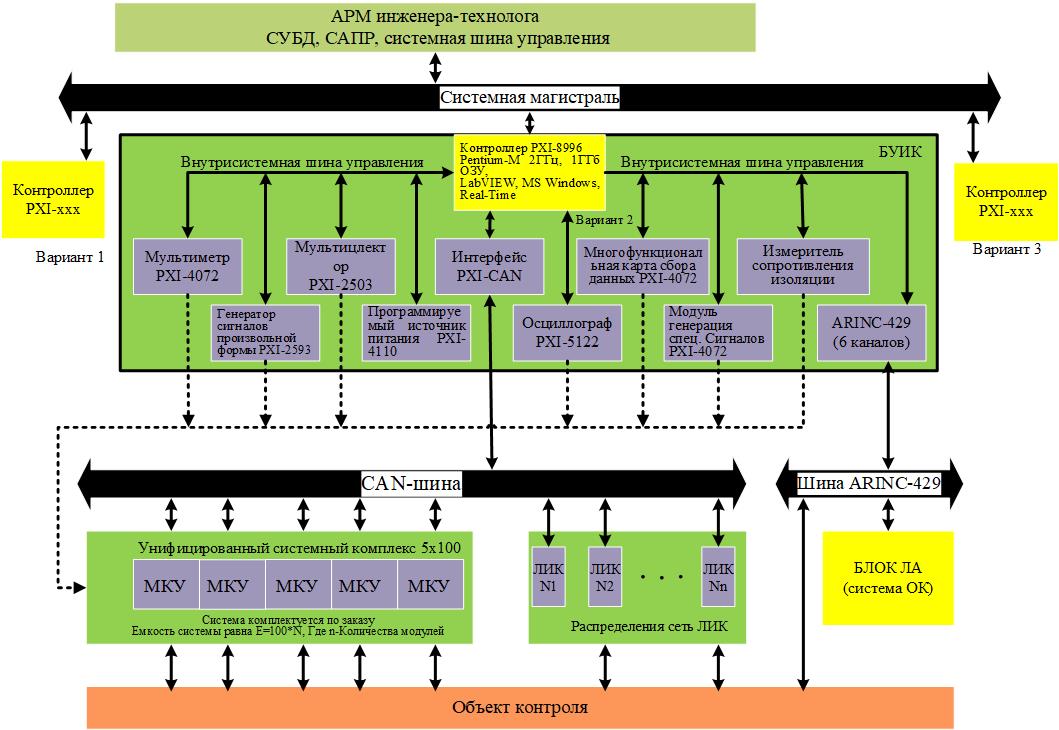


Рисунок 3.4 Структурная схема и комплектации системы МАСКА

### 3.3.2 Язык программирования системы МАСКА

Язык программирования системы основан на специальном Алфавите и знаках.

Алфавиты и знаки в системе МАСКА служат для формализации обмена информацией между средствами информации и технической подготовки процессов контроля, измерения параметров, диагностики и обнаружения дефектов и неисправностей, приема и обработки контрольно-измерительной информации и соответствующими средствами управления для осуществления производственных процессов, связанных с процессами контроля и измерения.

Алфавит определяет формальное описание процесса контроля объекта БС и порядок его выполнения, оформленное в виде конечного файла, описывающего функционирования части схемы или всей схемы в виде контролирующего кадра, набор которых составляет программу контроля блоков БС.

Сочетание арабских или римских цифр и алфавитных знаков имеет общеизвестное значение.

МАСКА содержит следующую алфавитную семантику:

* символ визуального контроля - ;
* Название электрической защиты сети или защиты цепи (например, АЗС, АЗФ, предохранитель) - , ;
* Световая индикация для различного процесса - , ;
* Операция измерения индуктивности цепи - , ;
* Задание точки, в которой корпус кадра не должна быть 'минус' при опросе - N, n;
* Наименование точки отключения сигнала - , ;
* Контрольные точки для ручной операции - , ;
* Функция замера активного сопротивления цепи - , ;
* Ручные операции выключения (включения),переключения или нажатия кнопок и т.д. – ;
* Операция контроля трехфазным напряжением - , ;
* Функция замера напряжения переменного тока - ;
* Функция замера напряжения постоянного тока - ;
* Опроса со всех перечисленных адресов выхода считываются с помощью знака '' - ;
* Опроса со всех перечисленных адресов выхода считываются с помощью знака '' - ;
* Маркировка контрольных точек для ручного контроля цепью корпуса - ;
* Маркировка контрольной точки ручной операции - запись «» должен быть читаемым в точке, если задаются опросы после выполнения некоторой операций - ;
* Функция проверки диода - ;
* Функция контроля цепи корпуса - ;
* Функция замера емкости цепи - , ;
* Маркировка точек коммутации, разъемных или неразъемных соединений, клемм и т.д. - , ;
* Маркировка шин - электрическое соединение всех проходящих через них проводников - , .

Алфавиты МАСКА включают следующих знаков:

* ‘’ - знак кадр монтажа;
* ‘’ - знак разделения номера разъема и клеммы, значение которого соответствует пробелу;
* - знак разделения и
* - знак полярности напряжения.

### 3.3.3 Программа контроля системы МАСКА

Программа контроля БС ЛА представляет собой текстовый файл, состоящий из строк длиной до 80 символов. Программы контроля могут быть созданы с помощью автоматизированного генератора программ контроля или вручную с помощью текстового процессора, например MS Word.

БС имеет шифр, который представляет собой уникально идентифицируемое обозначение. Имена файлов, содержащих программу, имеют шифр сборки КД (максимум 20 символов), а расширение имени файла - pk.

Например, sborka.pk - это файл, содержащий программу контроля сборкой под названием «sborka».

Структура программы контроля состоит из контрольных кадров. Каждая кадра содержит несколько строк текста. Каждая строка программы проверки описывает действия, которые должны быть выполнены при автоматической проверке программой «МАСКА-ПК» или оператором, выбравшим ручной режим. В частности, для каждого кадра приводится список соединительных клемм по реальному адресу, подлежащему контролю (КД-адрес), и описание воздействия на каждую клемму, адрес точки выхода сигнала контролирующего стимула и адрес точки измерительного сигнала и их номиналы.

Кадр является независимым, если результат его выполнения не зависит от предыдущего кадра (Действия, указанные в этом базовом уровне строк кадра, гарантируют, что эта структура приведет БС в состояние, необходимое для данного кадра, без дополнительных условий.). Перед запуском независимого кадра программы МАСКА выполняет предварительную операцию по отключению всех ранее запитанных точек. Исключением является если в независимом кадре уже подлежит стимулированию точка которая запитана ранее. Тогда эта точка остается с целью «экономии действий».

Независимые кадры могут быть выполнены в любое время и в любом порядке благодаря их независимой природе.

Кадр зависит от предыдущего, если для приведения его сборки в состояние, необходимое для проверки, требуется действие, указанное в строке предыдущего кадра (или нескольких предыдущих кадров), а также этого кадра. Таким образом, зависимые кадры могут образовывать непрерывную цепь. Программа МАСКА не выполняет никаких действий перед выполнением зависимого кадра.

Зависимый кадр обеспечивает объективность контроля только в том случае, если он осуществляется последовательно.

Метод автоматического составления программ контроля, обеспечивает независимость для всех кадров. При ручной генерации программы контроля, по желанию составителя, возможны обе идеи, и можно комбинировать цепочки зависимых и независимых кадров в рамках одной программы.

## 3.4 Выводы по главе

В данной главе поставлена и решена задачи контроля монтажа БС на множестве электрических цепей по заданным принципиальным схемам через систему распознавания образов.

Задача распознавания образов, использующая формы сравнение с эталоном применена в качестве метода получения оценки качества монтажа после завершение монтажных работ в цехе окончательной сборки. Распознавание структуры образа БС производится на основе синтаксического метода, который позволяет установить принадлежность объекта к заданному классу и его соответствия эталону.

Как известно проверка всех цепей СЭС трудно выполнять человеком и поэтому в работе была предложена система МАСКА, выполняющая контрольные операции автоматически.

# ГЛАВА 4 ВОПРОСЫ ИСПЫТАНИЙ БОРТОВЫХ СИСТЕМ

При серийном производстве технических систем проводятся приемосдаточные, периодические и типовые испытания, задачами которых является: проверка качества изготовления технических систем и их соответствие НТД.

При вводе в эксплуатацию серийно выпускаемых систем проводятся испытания как отдельных подсистем и агрегатов, так и всей системы в натурных условиях. Целью этих испытаний является проверка работоспособности системы после выполнения монтажно-наладочных работ, выявление дефектов, а также ошибок, допущенных при монтаже и их отладке и возможных отказов отдельных подсистем и агрегатов.

Концепция испытания технических систем, в общем случае, представляет собой сложный и затратный процесс, который может быть эффективным с точки зрения функциональности и экономической эффективности только при правильной организации. Теория испытаний изучает закономерности построения и функционирования комплексных систем испытаний, включая испытуемые системы и испытательные комплексы. В рамках теории испытаний основными научными проблемами являются разработка и исследование моделей объектов, процессов и средств испытаний.

Далее будет показано, что для получения достоверных оценок системы в результате испытаний необходимо учитывать не только объем собранных данных, но и организацию схемы испытаний. В связи с этим возникает проблема оптимального выбора схемы испытаний, которая обеспечит наибольшую достоверность результатов при одинаковых начальных условиях.

## 4.1 Основные понятия и определения

Если более детально рассмотреть жизненный цикл бортовых систем, то становится ясно, что производственные испытания занимают важное место среди основных событий цикла. Испытания проводятся для того, чтобы исследовать работу системы в условиях, максимально приближенных к реальным эксплуатационным условиям.

Для решения этой проблемы необходимо использовать количественные методы, которые позволяют определить пути повышения эффективности действий. Только при помощи количественной оценки действий можно определить их эффективность.

Качество принимаемых решений является одним из главных факторов, определяющих эффективность действий. Именно поэтому задача совершенствования принципов и критериев принятия решения становится важной.

В этом разделе в качестве общей базы для решения задач теории технологии испытаний используется единое представление, основанное на теории практики распознавания образов. Такой подход позволил развить достаточно эффективную теорию для двух основных задач технологии производства БС:

- задачи синтеза образа БС, т.е. её монтажа;

- задача координации процесса испытаний.

Известно, что критерием истины является опыт, т.е. эксперимент над исследуемым объектом (СЭС ЛА). Трудность экспериментальных исследований СЭС ЛА в производственных условиях, заключается в необходимости разработки физической модели источника электрической энергии, динамические свойства которого могут изменяться в процессе испытаний.

Введём некоторые термины и определения:

*Отражением* будем называть процесс изменения состояний одного объекта под влиянием действия другого объекта, а результат этого процесса - *след*. Объект, на который оказывается воздействие и у которого возникает след, будет *отражающим объектом*, а объект, который вызывает появление следа, будет *отражаемым объектом*. Появление следа иллюстрирует важные аспекты изменения состояний сложных объектов при воздействии внешних факторов, которые приводят к переходу объекта в определенное состояние. Эти различные варианты рассматриваются как одинаково значимые причины, которые приводят к эквивалентному результату - переходу объекта в конечное состояние, которое называем *эквифинальным*.

Построение высокоэффективных автоматизированных систем испытаний, устройств и систем БКО ЛА ведется в данной работе на базе системного подхода, объединяющего методологию, математические модели, частные методики физического моделирования, алгоритмы автоматизированного управления технологическим процессом испытаний и обработки информации. При этом широко используются сетевые структуры, современное программное обеспечение, базы данных и базы знаний, автоматические и автоматизированные измерительные устройства, и модули функциональные возможности которых расширяются за счёт целенаправленного объединения этих устройств и модулей в систему.

Для создания перспективных систем испытаний БС ЛА в силу сложности их математического описания необходимо использование достижений в области искусственного интеллекта и, как следствие, обработку полученных при испытании данных.

## 4.2 Организационная модель процесса испытаний бортовых систем

Для создания математических моделей бортовых систем необходимо точно понимать цель функционирования данной системы и иметь информацию о всех ограничениях, которые определяют границы допустимых значений управляемых переменных. Эти ограничения ограничивают диапазон допустимых значений, которые может принимать каждая переменная, и должны быть учтены при построении математической модели системы.

Анализ реальных бортовых систем может оказаться сложным из-за большого количества переменных и ограничений, которые необходимо учитывать. В связи с этим, важно снизить сложность задачи, чтобы создать соответствующую модель. Хотя на первый взгляд кажется, что нужно учитывать все переменные и ограничения, на самом деле только небольшая часть из них является важной для описания поведения системы. Поэтому при упрощенном описании реальных систем сначала следует определить наиболее важные переменные и ограничения. Это поможет создать модель, которая точно отражает работу системы, несмотря на то, что учитывает только самые существенные аспекты. Рисунок 4.1 иллюстрирует схематическое изображение уровней абстракции, которые отображают переход от оригинальной системы к её модели в примере системы электроснабжения (СЭС) воздушного судна.

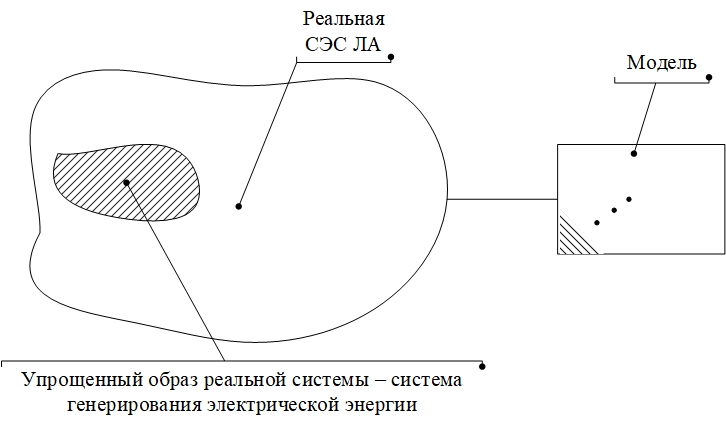


Рисунок 4.1 – схема уровней абстракции при моделировании СЭС

Упрощенная модель системы отличается от оригинала тем, что она учитывает только основные факторы, которые определяют поведение системы. Эти факторы включают переменные, ограничения и параметры, которые считаются доминирующими и имеют основное влияние на систему. Модель представляет собой отношения между доминирующими факторами системы в форме целевой функции и ограничений, или в форме функциональной (операционной) модели. В этой модели наиболее важные взаимосвязи между факторами отображаются с помощью математических формул и уравнений, которые позволяют предсказывать поведение системы в различных условиях. Эта модель представляет собой дальнейшее упрощение оригинальной системы, но при этом она более точно и просто описывает основные свойства и поведение системы. Она фокусируется на доминирующих факторах и их взаимосвязях, что позволяет избежать излишней сложности и упростить представление о системе. Благодаря этому, модель может быть более полезной для прогнозирования поведения системы в различных ситуациях и для принятия решений на основе этих прогнозов.

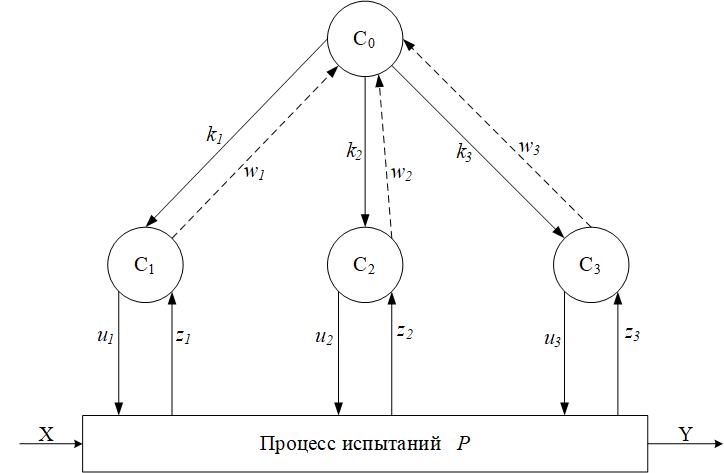


Рисунок 4.2 – Структурная схема принципа взаимодействия

Схема, отражающая взаимосвязь факторов, влияющих на организацию системы испытаний как структурная схема взаимодействия показана на рисунке 4.2.

Рассмотрим организацию системы испытаний с точки зрения взаиморасположения и взаимосвязи её элементов - как предметной, так и структурной части, а также функциональной части, которая описывает действия и взаимодействия. Все эти элементы определяются единством целей или функций, которые выполняются в конкретных условиях места и времени. Здесь по существу перечисляются различные стороны организации системы, но не выделяется то, что является специфичным именно для этого понятия (а не для целого, системы или структуры организации). В интуитивном понимании организации заключается идея о единстве целесообразности действующих частей, которые в составе организованного объекта являются органами. Органы не рассматриваются только как части организации, выполняющие определенные функции и действия, которые являются функциональными и целесообразными.

Одним из существенных недостатков этого определения является отсутствие наиболее значимой части в них – упоминание системы управления ею, отражающую принципиальную необходимость координации взаимодействия элементов системы. Именно эта часть определения формирует структурную схему принципов взаимодействия (рисунок 4.2) и технологию испытаний, используя для решения поставленной задачи современные достижения теории организации.

Рассмотрим технологию, основанную на концепции многоуровневых систем в теории организации, которая поможет решить задачи координации процесса испытаний. Эта технология предполагает разбиение процесса испытаний на несколько уровней и управление каждым уровнем независимо друг от друга. Каждый уровень имеет свои цели, задачи и ресурсы, которые могут быть оптимизированы для достижения наилучших результатов в рамках каждого уровня.

В целом используемую терминологию: координация осуществляется с помощью координирующего органа С0, реализующего программу испытаний и подсистемами С1, С2, С3 статус которых в организации определяется как управляющих подсистем физическим комплексом, имитирующим реальное воздействие на испытуемые блоки: регулирования, защиты, управления системой генерирования (рисунок 4.2). Такая интерпретация возможна, поскольку цель производственных испытаний заключается в определении желательных состояний системы при данной организации испытаний. И координирующий орган может помочь в осуществлении этой цели путем координации различных этапов и процессов испытаний.

Согласно установленной концепции организационных систем, принцип координации может быть формализован с помощью двухуровневой системы, которая включает три локальных управляющих подсистемы и один координирующий орган. В данной системе координирующий орган выполняет функцию программы испытаний, которая служит для управления процессом испытаний на всех уровнях системы. Для описания подсистем удобно использовать функциональную модель, в которой входы однозначно определяют выходы. Таким образом, каждый блок на схеме, изображенной на рисунке 4.2, является отображением и помогает определить текущее состояние системы с помощью терминальных переменных входов и выходов.

Для отображения из входа в выход , представляющих специализированные множества, в рамках которых возникают специальные типы функций, в частности, операторы, формирующие воздействия на имитаторы генератора, который в свою очередь реализует совокупность всех образов элементов из . То есть, если элемент из , то отвечающий ему элемент из есть его образ (при отображении ). Совокупность всех тех элементов из , образом которых является данный элемент есть прообраз элемента . Из этого положения следует, что, если – некоторое множество из , в частности, для контроля функционирования видов защит СЭС ТУ 214, совокупность всех элементов вида , например, по частоте питающего напряжения, то есть образ . В свою очередь для каждого множества из определяется его прообраз , а именно: есть совокупность всех тех элементов из , образы которых принадлежат .

Таким образом, процессы испытаний, формируемые , управляют имитатором генератора, который воздействует на реальную систему генерирования, а реакции системы на воздействия поступают на исполнительные элементы бортовой системы электроснабжения, обратная связь с которой поступает в координирующий орган управления процессом испытаний, реализуемый магазинным автоматом.

Для того чтобы описать взаимодействие между подсистемами в рамках двухуровневой системы, а также структуру обмена информации через каналы связи между элементами и иерархическими уровнями, можно применить теоретико-множественный подход.

Структура, которая основывается на принципе координации взаимодействия, состоит из пяти основных компонентов. Первый компонент - координирующий орган, обозначенный как , который выполняет функции системы управления. Также имеются три локальных управляющих системы, , которые отвечают за процессы испытаний. Все эти компоненты работают совместно и взаимодействуют друг с другом для управления процессом испытаний. Кроме того, существует структура управляемого процесса *Р*, которая также является частью этой системы. В данной системе присутствуют два вида вертикального взаимодействия между подсистемами. Первый вид - это управляющие воздействия , которые позволяют управляющим системам осуществлять контроль за процессами испытаний и воздействовать на них в соответствии с заданными параметрами. Эти управляющие воздействия изображены на структурной схеме сплошными стрелками. Второй вид взаимодействия - это координирующие воздействия , которые позволяют координирующему органу управлять работой локальных управляющих систем и обеспечивать их взаимодействие в рамках общей системы. Также на структурной схеме показаны координирующие воздействия сплошными стрелками. Кроме того, на схеме присутствуют информационные сигналы обратных связей и , которые позволяют подсистемам получать информацию о текущем состоянии процессов и корректировать свою работу в соответствии с этой информацией. Они обозначены на схеме пунктирными линиями.

Рассмотрим процесс испытаний как систему управления, которая состоит из физических имитаторов внешних воздействий, коммутационной аппаратуры и системы генерирования сигналов со смешанным шумом. Процесс имеет входы и выходы, которые определяют его функционирование. В данном случае, на вход процесса поступают управляющие сигналы из множества , которые определяют параметры работы системы управления. Также на вход процесса могут поступать сигналы из множества , которые представляют внешние возмущения, воздействующие на процесс и поступающие из имитатора среды. На выходе процесса формируется сигнал , который принадлежит множеству и представляет собой результат работы процесса. Множество является множеством всех возможных выходов процесса . Таким образом, входы и выходы процесса играют важную роль в его функционировании и обеспечивают его связь с внешней средой.

Процесс испытаний может быть представлен как функция, которая принимает на вход управляющие сигналы из множества и внешние возмущения из множества , и возвращает результат , принадлежащий множеству . Можно записать это математически как отображение

(4.1)

где символ «×» означает декартово произведение множеств и . Таким образом, процесс испытаний может быть описан как функциональное отображение, которое связывает входные параметры с результатом работы процесса.

Поскольку в системе присутствуют три нижестоящие локальные управляющие системы и , то множество управляющих сигналов можно представить как декартово произведение трех множеств, соответствующих каждой из управляющих систем. Декартово произведение множеств - это математическая операция, которая позволяет объединить элементы из нескольких множеств во все возможные комбинации. Таким образом, каждый элемент из первого множества сочетается с каждым элементом из второго множества, а затем все комбинации сочетаются с элементами из третьего множества. В результате мы получаем все возможные комбинации элементов из трех множеств, которые и составляют множество управляющих сигналов . Таким образом, мы можем записать множество управляющих сигналов для процесса в виде:

(4.2)

где и являются множествами управляющих сигналов для локальных управляющих систем и соответственно. Такое представление позволяет удобно управлять процессом , используя сигналы, генерируемые нижестоящими управляющими системами. Подобное представление подчиняется двум правилам:

Правило 1 описывает полномочия нижестоящих управляющих систем при управлении процессом испытаний . Согласно данному правилу, каждая из трех локальных управляющих систем () имеет полномочия выбирать соответствующую компоненту управляющего сигнала и воздействовать на процесс испытаний через эту компоненту. Другими словами, первая локальная управляющая система может выбирать и изменять первую компоненту управляющего сигнала , вторая локальная управляющая система может выбирать и изменять вторую компоненту управляющего сигнала , а третья локальная управляющая система - третью компоненту .

Для того, чтобы локальная система управления могла правильно функционировать, ей необходимы два входных сигнала: координирующий сигнал k от координирующего органа и информационный сигнал обратной связи от процесса . Выходом является локальное управление , которое выбирается из множества . Таким образом, система выполняет отображение

(4.3)

где - множество информационных сигналов, ∈ . Множество *K* представляет собой множество координирующих сигналов, которые используются для координации работы всех локальных систем управления и . Одновременное воздействие всех трех локальных систем управления позволяет регулировать работу процесса в соответствии с заданными требованиями и достигать желаемых результатов. Координирующий орган отправляет соответствующий координирующий сигнал на каждую из локальных систем, который влияет на выбор локального управления , чтобы реализовать требуемое управление процессом .

Правило 2 устанавливает соглашение по интерпретации координирующих сигналов и определяет структуру координирующего органа . Представление координирующих сигналов в виде трехмерных векторов позволяет избежать неоднозначности при интерпретации поступающих сигналов каждой из локальных систем управления.

Координирующий орган является вышестоящей системой управления, которая принимает информацию от нижестоящих локальных систем управления по обратной связи и использует её для формирования координирующих сигналов , которые поступают на вход каждой из локальных систем управления. Математически это отображение может быть записано как

(4.4)

где представляет множество информационных сигналов , которые используются для обратной связи. Таким образом, координирующий орган осуществляет преобразование входного множества в выходное множество , которое представляет собой множество координирующих сигналов, используемых для координации работы всех локальных систем управления. Информация, передаваемая по обратной связи, является важным компонентом взаимодействия различных блоков, находящихся на разных уровнях иерархии.

В свою очередь, информационный сигнал может содержать различную информацию, например, о текущем состоянии процесса, его параметрах, ошибках, возникших в процессе управления, и т.д. В зависимости от конкретных задач и требований к системе управления, в информационный сигнал может быть включена различная информация, необходимая для принятия правильного решения по управлению процессом.

Таким образом, для организационного взаимодействия блоков различных иерархических уровней необходима передача информации по каналам обратной связи, которая будет содержать достаточно информации для принятия правильных решений по управлению процессом.

Функциональная зависимость связывает входные сигналы и с выходными сигналами . Как правило, эта зависимость описывается математическими моделями процесса и системы управления , что позволяет строить эффективные алгоритмы управления, обеспечивающие стабильность и качество работы всей системы в целом.

(4.5)

Здесь - множество управляющих сигналов, - множество возмущающих сигналов, - множество выходных сигналов процесса Р, а - множество сигналов обратной связи, поступающих на вход i-той локальной системы управления .

Информационный сигнал, поступающий на вход координирующего органа , содержит информацию о текущем состоянии и управляющих воздействиях нижестоящих локальных систем управления. Эта информация используется для формирования координирующих сигналов , которые направляются на вход каждой из локальных систем управления. Отображение описывает, как координирующий орган обрабатывает входную информацию, чтобы сформировать координирующие сигналы k, которые отправляются на локальные системы управления. Функция зависит от трех типов входных сигналов: координирующих сигналов k, информационных сигналов обратной связи z и управляющих воздействий u, то есть

(4.6)

Здесь множество информационных сигналов обратной связи представляет собой декартово произведение множеств информационных сигналов получаемых нижестоящими локальными системами управления. является функцией от координирующего сигнала и информационных сигналов обратной связи , получаемых нижестоящими локальными системами, и управляющих воздействий u. Координирующий орган использует функцию для обработки информации и генерации координирующих сигналов , которые затем используются локальными системами управления для выполнения соответствующих задач.

Важно отметить, что в данной системе не предусматривается прямой коммуникации между локальными системами управления , поэтому информационный обмен осуществляется только через координирующий орган . В этом смысле можно говорить об отсутствии прямой связи между подсистемами.

Координирующий орган , как правило, не имеет прямого взаимодействия с процессом, который он координирует. Это может привести к ситуации нечеткой координации, когда вышестоящая система получает информацию не только от локальных систем управления , но также и напрямую от процесса. Это означает, что информация, получаемая координирующим органом, может быть неполной или неточной, что в конечном итоге может привести к неэффективности системы.

Предложенная модель позволяет представить элементы системы и их взаимодействия в виде множеств и отображений, что позволяет более точно определить структуру и связи между элементами системы. Это позволяет более эффективно анализировать систему и принимать управляющие решения.

Одна из преимуществ модели на принципе координации заключается именно в её инвариантности относительно количества управляющих подсистем. Таким образом, принцип может быть использован для анализа и управления системами различного уровня сложности, начиная от простых механизмов и заканчивая сложными техническими системами.

## 4.3 Продукционная модель процесса испытаний бортовых систем

Понятие «продукционная модель» относится к описанию текущего состояния систем, которые взаимодействуют между собой в конкретный момент времени. Каждая система имеет свое множество состояний, которые могут быть описаны в рамках данной модели. Отображение между множеством состояний позволяет определить, какие действия могут привести к переходу из одного состояния в другое. В целом, состояния и отображения помогают описать и проанализировать взаимодействие между системами, что может быть полезно при исследовании различных сценариев и принятии решений в рамках предметной области. Пусть S и W – множества состояний взаимодействующих систем и . Для описания изменения состояний во времени используется множество моментов времени , которые образуют отношения эквивалентности и строгого порядка.

Отношение «» отвечает за равенство состояний взаимодействующих систем в определенный момент времени. Отношение «» отвечает за порядок между моментами времени, а отношение «» слабого (нестрогого) порядка на . Действия (операторы), которые могут изменить состояние модели предметной области, могут быть различными в зависимости от конкретной модели и задачи. Например, в системе управления производством это может быть операция по изменению настроек оборудования или изменение параметров процесса производства.

допустим, что и являются элементами из двух разных множеств и соответственно, таких что содержит состояние системы в момент времени и предшествует состоянию системы в момент времени , то мы можем переформулировать ваше выражение следующим образом:

(4.7)

Здесь является множеством состояний системы в момент времени , определенных через множество состояний системы во всех предшествующих моментах времени , где - подмножество множества моментов времени , состоящеё из всех моментов времени, предшествующих моменту времени Таким образом, множество содержит все состояния системы, которые были зафиксированы в моменты времени, предшествующие моменту .

Рассмотрим все состояния системы в моменты времени *,* лежащие на интервале от до , включая начальное состояние . Таким образом, содержит информацию о том, как состояние системы меняется на протяжении интервала времени от до .

Для отражающей системы изменение состояния может происходить в результате воздействия отражаемой системы. Допустим, что в момент времени отражаемая система находится в состоянии , а отражающая система в состоянии . Тогда в результате воздействия отражаемой системы на отражающую систему может произойти изменение её состояния с на . Таким образом, при переходе от момента времени до t состояние отражающей системы может измениться с на ..

Для отражаемой системы изменение состояния может происходить в результате испытания . Допустим, что в момент времени отражаемая система находится в состоянии . Тогда при выполнении испытания состояние отражаемой системы может измениться с на . Таким образом, процесс изменения состояния отражающей и отражаемой систем можно описать следующим образом:

* Для отражающей системы: → при переходе от момента времени до .
* Для отражаемой системы: → при выполнении испытания и переходе от момента времени до .

Для того чтобы проводить дальнейшие исследования системы, необходимо определить процесс изменения её состояния в моменты времени до t^*,* где *t^* является моментом времени, который предшествует текущему моменту t. Для этого потребуется сужение множества времени на интервал от до , где - это начальный момент времени, от которого начинаем рассматривать процесс изменения состояния системы. Таким образом, можем получить более точную картину изменения состояния системы, учитывая изменения, которые происходили до момента времени :

(4.8)

Функции взаимодействия определяют новое состояние системы в момент времени t на основе её предыдущего состояния и состояния другой системы. В данном случае функции взаимодействия просто возвращают текущее состояние системы без изменений, поскольку они не зависят от предыстории (процессов контроля состояния БС после монтажа) изменений состояний:

(4.9)

Здесь () и () обозначают процессы изменения состояний систем и , соответственно.

Функции, определенные в уравнении (4.9), называются полными функциями взаимодействия отражающей и отражаемой систем. Если взаимодействие между системами удовлетворяет условию, что для каждого момента времени существует момент времени , при котором состояние систем не изменяется, то есть сохраняется инвариантность состояния, то такое взаимодействие называется инвариантным. В таком случае, отношения эквивалентности и между состояниями отражающей и отражаемой систем соответственно будут сохраняться на протяжении всего процесса взаимодействия.

(4.10)

Таким образом, комплекс испытаний любой БС с общих позиций состоит из отражающего объекта, который с физических позиций представляет две подсистемы: подсистему имитации направляющих и спусковых воздействий – имитаторы реальных воздействий , формируемых подсистемой управления и оценивания . Первая из них формирует структуру исходных данных направляющих воздействий *I*, вторая – обрабатывает и интерпретирует ответную реакцию выхода испытываемой системы *O* (отражающая система), реализуя их в операционные модели, которая призвана выполнять интерпретацию данных ответной реакции, испытываемой (отражающей) БС. Интерпретация данных - это процесс анализа и понимания данных с целью получения информации и знаний, которые могут быть использованы для принятия решений и решения задач. Этот процесс включает в себя оценку качества данных, проверку достоверности и точности информации, а также выявление связей и паттернов между данными. Одним из важных аспектов интерпретации данных является многовариантный анализ, который позволяет рассматривать данные с разных точек зрения и получать различные варианты исследований и выводов. Многовариантный анализ также помогает снизить вероятность ошибок и улучшить качество и достоверность результатов интерпретации данных [25,71]. С этих позиций логической моделью отражающей системы (имитатор + интерпретатор правил её функционирования) является исчисление предикатов первого порядка, т.к. задачи испытаний описываются в виде ситуационного исчисления:

(4.11)

Оно состоит из переменной состояния:

(4.12)

и множества предикатов: множества операторов ℱ, множества состояний *S*, системы аксиом , множества объектов испытаний 𝛺. Операторы переводят одно состояние в другое, а аксиомы представляют систему аксиом специального вида

(4.13)

Используем подстановку вместо , чтобы исключить конкретные обозначения двух состояний. Здесь обозначает начальное состояние, а обозначает конечное состояние, к которому мы приходим при использовании функции с аргументом и начальным состоянием .

Для описания начальной ситуации используются схемы аксиом, которые имеют вид:

(4.14)

где принадлежит множеству , принадлежит множеству , а принадлежит множеству.

Здесь обозначает конкретное начальное состояние, а индекс заменяет слово «начальное». Аргумент представляет элемент множества объектов, который имеет существенное значение для начальной ситуации. Он может быть константой или переменной и связан с начальным состоянием с помощью функции .

Эта модель базы знаний, которая может использоваться специальной программой – интерпретатором (рисунок 4.3).

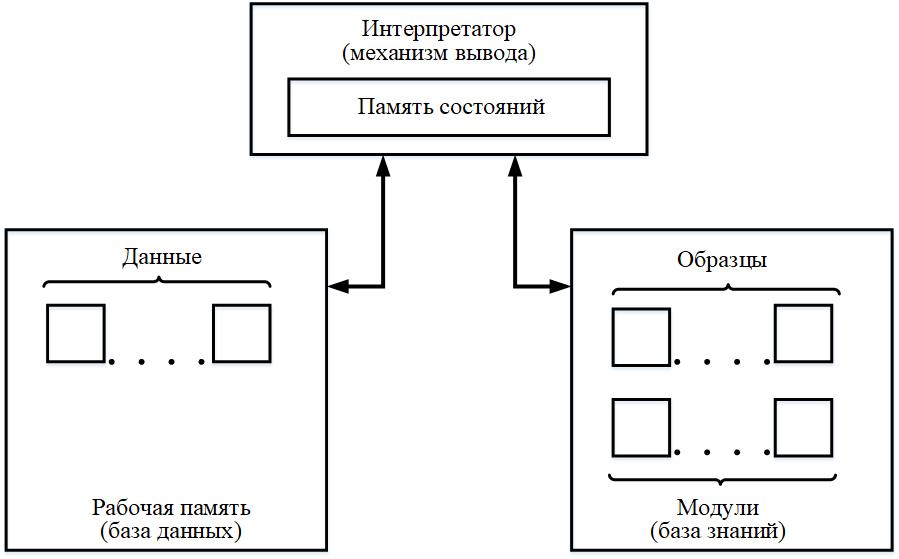


Рисунок 4.3 – Схема функционирования интерпретатора

Интерпретатор - это программа, которая выполняет две основные задачи: сначала просматривает и анализирует информацию в базе знаний и рабочей памяти, затем добавляет новые факты, связанные с объектом, и применяет правила логики для вывода новых знаний. Она также управляет процессом оценки и сохраняет информацию о полученных измерениях. Если для применения следующего правила недостаточно данных [71], интерпретатор запрашивает информацию у пользователя.

## 4.4 Операционный комплекс испытаний бортовых систем

### 4.4.1 Назначение и состав

Операционный комплекс испытаний (ОКИ) предназначен для:

1. Динамических испытаний СЭС в цеховых условиях, приближенных к критическим режимам;
2. Управления процессом функционирования СЭС в условиях цеха окончательной сборки;
3. Обеспечение имитации критических режимов работы СЭС;
4. Оперативного контроля и диагностирования состояния СЭС;
5. Обеспечение информационного обмена с системой знаний;
6. Подготовки и выдачи в интерпретатор данных испытаний.

В состав комплекса входят следующие составляющие (рисунок 4.4):

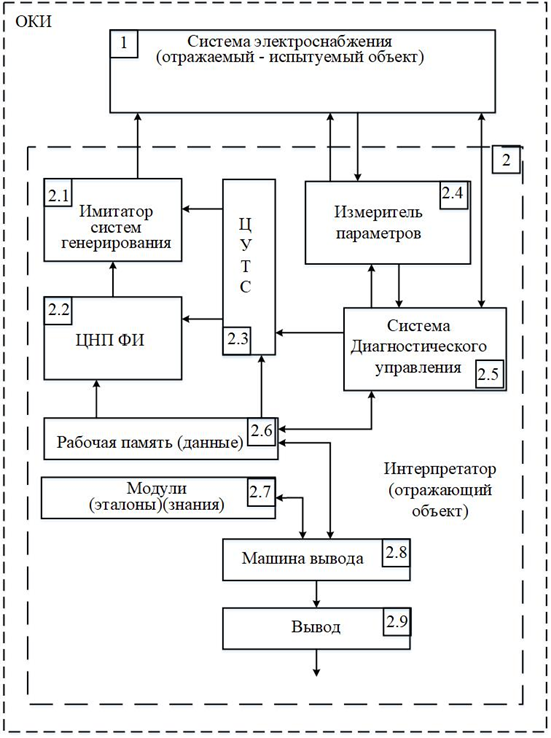


Рисунок 4.4 – Обобщенная структурная схема ОКИ АПС

1. СЭС – испытываемая система (отражаемый объект), включает в себя информацию о объекте, такую как принципиальная схема СЭС самолета ТУ-214 и другая конструкторская документация.
2. Интерпретатор (отражающий объект):
   1. Имитатор системы генерирования;
   2. ЦНП ФИ – целенаправленный процесс функционирования имитатора;

2.3 ЦУ ТС – целеустремленная техническая система испытаний;

2.4 Измеритель параметров;

2.5 Система диагностического управления;

2.6 Рабочая память (данные испытаний);

2.7 Модули (эталоны) знаний;

2.8 Машина вывода;

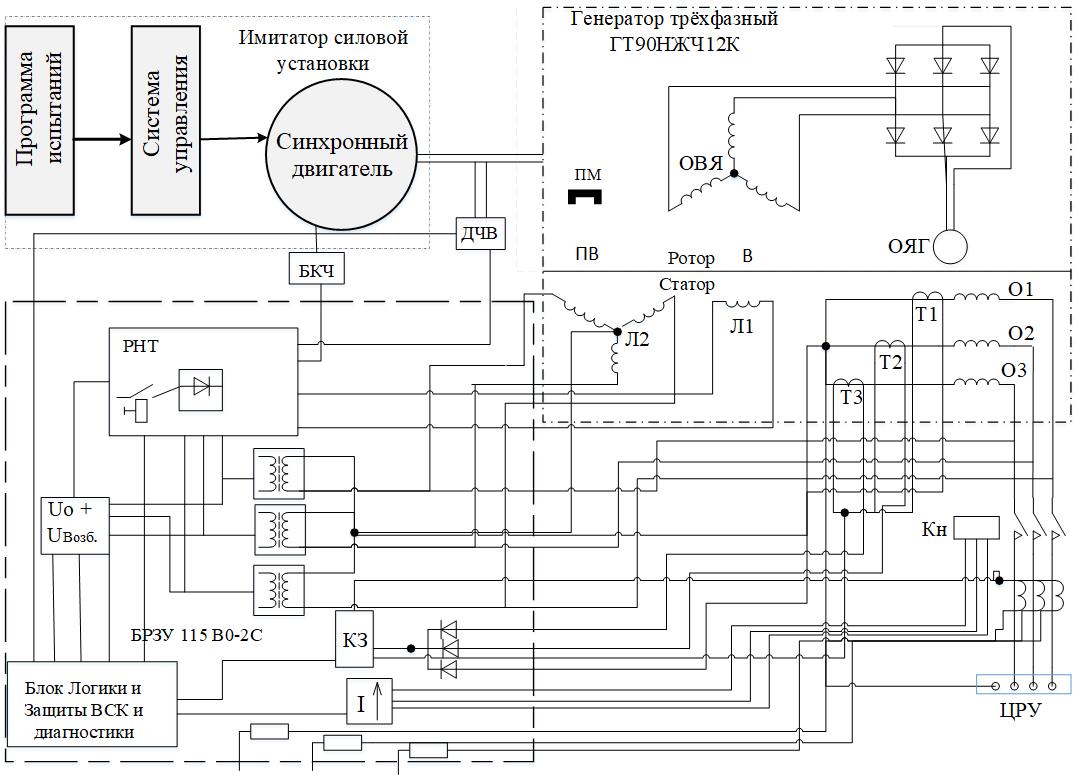
2.9 Вывод.

Определим базовые понятия ОКИ:

1. Система электроснабжения (СЭС) - это система, которая имеет множество возможных состояний, каждое из которых описывается набором значений её конкретных параметров. СЭС обладает сложной структурой и сложным поведением;
2. Интерпретатор (отражающий объект) – включающий:
   1. Имитатор – физическое моделирование реальной действительности в ситуации, приближенной к реальным процессам функционирования СЭС;
   2. ЦНП ФИ - это процесс, направленный на цель, который обеспечивает функционирование системы испытаний.
   3. Целеустремленная техническая система испытаний (ЦУ ТС) – это множество взаимосвязанных материальных объектов (технических средств), непосредственно участвующих в проведении операций и объединенных общей целью;
   4. Измеритель параметров – совокупность измерительных устройств, объединенных в систему измерения различных видов технических параметров СЭС;
   5. Система диагностического управления - это система, которая проверяет техническое состояние объекта испытаний с целью активного воздействия на процессы производства или управления;
   6. Рабочая память (данные) – результат зафиксированных измерений и наблюдений;
   7. Модули, также известные как эталоны знаний, представляют собой основу продукционной модели или модели на основе правил, которая позволяет описать знания в виде правил вида «Если (условие), то (действие)». В такой модели «условие» представляет собой некоторую формулу-образец, с помощью которой осуществляется поиск в базе знаний, а «действие» - это действие, которое выполняется при успешном нахождении соответствия. Продукционная модель является одним из основных методов представления знаний в искусственном интеллекте и используется в различных областях, таких как экспертные системы, системы поддержки принятия решений и т.д.;
   8. машина вывода (интерпретатор правил) является ключевым компонентом продукционной модели и выполняет две основные функции:
      * Процесс обработки правил: машина вывода просматривает базу знаний, ищет правила, соответствующие текущему состоянию рабочей памяти (базы данных), и применяет их к этому состоянию. Если при применении правила образуется новый факт, то он добавляется в рабочую память.
      * Процесс управления: машина вывода определяет порядок просмотра правил, решает, какие правила применять в текущей ситуации и каким образом объединять факты для получения заключений. Если для срабатывания правила в рабочей памяти не хватает данных, машина вывода может запросить у пользователя дополнительную информацию;
   9. Вывод. В системах с прямым выводом по известным фактам происходит поиск заключения, которое может быть получено на основе имеющихся в системе фактов. Если такое заключение находится, оно добавляется в рабочую память системы. Такой процесс вывода называется прямым выводом, потому что он происходит в направлении от имеющихся данных к получению новых заключений. В прямом выводе факты играют роль управляющих данных, так как они определяют направление и содержание вывода.

### 4.4.2 Структурно-функциональная схема

Итак, в области испытаний СЭС ЛА выделили доминирующие факторы, которые определяют организационное поле испытаний. На основе изучения упрощенной модели СЭС СПЗС1Б60Н системы генерации самолета ТУ-214, построим структурно-функциональную схему операционного комплекса для испытаний СЭС самолета ТУ-214 (Рисунок 4.5).

****

|  |
| --- |
| РНТ - Регулятор напряжения генератора  ВСК - Встроенный контроль  ПМ - Постоянный магнит  ПВ - Подвозбудитель  В - Возбудитель  ОЯГ - Обмотка якоря генератора  Л2 - Обмотка якоря подвозбудителя  Л1 - Обмотка возбуждения возбудителя  T1, T2, Т3 - Трансформаторы тока генератора  О1, О2, О3 - Обмотка статора генератора  ОЯВ - Обмотка якоря возбудителя  Кн - Контактор включения генератора на шины одиночной работы  К3 - Защита от короткого замыкания |

Рисунок 4.5. – Структурно-функциональная схема операционного комплекса испытаний СЭС самолета Ту-214

Представленный на рисунке 4.5 операционный комплекс позволяет проводить динамические испытания СЭС с возможностью контроля работы системы в критических режимах.

## 4.5 Выводы по главе

В данной главе поставлена и решена задачи испытаний БС. Предложена организационная модель процесса испытаний, позволяющая снизить сложность организации испытаний БС большой размерности за счёт фокусировки на доминирующих факторах и их взаимосвязях. Так же разработана продукционная модель процесса испытаний, описывающая текущее техническое состояние объекта испытаний, позволяющая оценивать влияние внешних факторов на испытываемую БС. В завершении главы и всей работы предложен операционный комплекс испытаний БС, представляющий собой обобщенный подход к организации и проведению испытаний БС, построенный на основе результатов предыдущих глав данной работы. В качестве примера объекта контроля выбрана СЭС самолета   
ТУ-214.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с целью и задачами диссертационного исследования в работе было выполнено следующее:

1. Выполнен анализ современного состояния теории и практики методов решения задач монтажа, контроля и испытаний БС ЛА (цель исследования поставлена после проведённого анализа). Анализ показал, что задачи, связанные с монтажом, контролем и испытаниями БС ЛА, являются сложными и разнообразными. Решение этих задач в настоящее время базируется на эвристических подходах. Эвристическая информация представляет собой специальную информацию, которая применяется только в конкретном контексте задачи и, в лучшем случае, может быть использована только в задачах схожего типа. Таким образом, для решения задач совершенствования и рационализации ТП монтажа, контроля и испытаний необходима обобщённая научно-практическая база.

2. Разработаны методы формализованного представления объектов и процессов монтажа БС ЛА. Предложена модель предметной области задачи монтажа БС, а также язык формализованного описания монтажного пространства на основе «геометрии положения» Анри Пуанкаре и теории образов.

3. Разработаны методы контроля БС ЛА на основе решения задач распознавания образов и классификации формализованных объектов: метод древовидных структур, статистический метод, метод функционального анализа, метод теории классификации; а также предложены технические средства их реализации.

4. Разработаны модели процессов испытаний БС ЛА, позволяющие решать задачи их совершенствования и рационализации: организационная модель процесса испытаний, позволяющая снизить сложность организации испытаний БС большой размерности; продукционная модель процесса испытаний, описывающая текущее техническое состояние объекта испытаний. Предложена концепция операционного комплекса испытаний бортовых систем на примере СЭС самолёта ТУ-214.

В процессе диссертационного исследования проводилась апробация материалов работы на научных конференциях и в публикациях автора по теме исследования.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чинючин, Ю.М. Современные проблемы технической эксплуатации воздушных судов. Часть II. Учебное пособие [Текст] / Ю.М. Чинючин. Н.Н. Смирнов. – М.: МГТУ ГА, 2008. – 96 с.

2. Чинючин, Ю.М. Основы технической эксплуатации и ремонта АТ. Учебное пособие [Текст]: / Ю.М. Чинючин, И.Ф. Полякова. – М.: МГТУ ГА, 2004. – 81 с.

3. Чекрыжев Н.В. Основы технического обслуживания воздушных судов Самара: Изд-во СГАУ, 2015. – 84 с.

4. Смирнов, Н.Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию [Текст] /Н.Н. Смирнов, А.А. Ицкович.– М.: Транспорт, 1987. – 272 с.

5. Коптев, А. Н. Теория и практика контроля и испытаний систем авиационной техники / А.Н. Коптев, В.А. Прилепский. - Самара: СГАУ, 2010. – 112 с.

6. Коптев А. Н. Авиационное и радиоэлектронное оборудование воздушных судов гражданской авиации [Электронный ресурс] : [учеб. пособие] / А. Н. Коптев ; М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. акад. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Самара : [Изд-во СГАУ], 2011.

7. Коптев А.Н. Гибкие автоматизированные производственные системы монтажа, контроля и испытаний электротехнического оборудования летательных аппаратов: дис. … доктора техн. наук: 05.07.07, 05.07.04 / Коптев Анатолий Никитович. - Куйбышев, 1990. – 421 с.

8. Коптев, А.Н. [и др.] Монтаж и контроль испытания электротехнического оборудования JIA [текст] / А.Н. Коптев, А.А. Миненков, Б.Н. Марьин, Ю.Л. Иванов. - М, Машиностроение 1998, 296 с.

9. Ломовской, О. В. Монтажно-испытательные процессы бортовых систем [Электронный ресурс] : Самара, 2012. С-200.

10. Барвинок В.А. И др Основы технологии производства летательных аппаратов. - М.: Наука и технологии, 2005. 912с.

11. Чумадин А.С. , Ершов В.И., Барвинок В.А. и др. Основы технологии производства летательнных аппаратов(в конспектах лекций): Учебное пособие - М.: Наука и технологии, 2005. - 912с.

12. Коптев А.А., Совершенствование технологических процессов монтажа систем электротехнического оборудования летательных аппаратов в мелкосерийном производстве, диссертаций на к.т.н – Самара, 2010.

13. Халютин С. П. Системы электроснабжения летательных аппаратов [Текст] : научное издание - М. : ВВА, 2010. - 428 с.

14. Dubbessa М. Assessment of Power Distribution Systems (Onboard Cable Network) of Modern Aircraft during Operational Maintenance/ Деста А.// Components оf Scientific аnd Technological Progress 2020. — No 9 (51). — с. 5-9.

15. Коптев А. Н. Синтез систем диагностического управления техническим состоянием бортовых комплексов оборудования летательных аппаратов [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / А. Н. Коптев, А. В. Кириллов, А. Н. Тихонов; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т), электрон. текстовые и граф. дан. (3,4 Мбайт). – Самара, 2012. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

16. Писаренко, В. Н. Техническая эксплуатация и ремонт авиационных электрических систем и пилотажно-навигационных комплексов [Электронный ресурс] : [учеб. пособие] / В. Н. Писаренко ; Федер. агентство по образованию, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева. - 2007. - Ч. 2.

17. Dubbessa М. Operational Control of Power Distribution Systems of Aircraft During Maintenance / Коптев А.Н., Деста А.// Lecture Notes in Networks and Systems. — 2022. — Vol. 246. — P. 346-352.

18. Барвинок В. А. Сборочные, монтажные и испытательные процессы в производстве летательных аппаратов [Текст] / В. А. Барвинок, В. И. Богданович, П. А. Бордаков. — М.: Машиностроение, 1996.

19. Дуббесса М.Х., Математические модели объектов контроля и диагностики для определения технического состояния систем электроснабжения летательных аппаратов // Известия Самарского научного центра РАН. – 2023. - Т.25. - № 1. – C. 36-42.

20. Дуббесса М.Х. Оценка качества монтажа радиоэлектронных систем и их компонентов на летательных аппаратах. Всероссийская научно-техническая конфренция «актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций» - 2023. – с. 192-194.

21. Гаврилов А.Н. Технология авиационного приборостроения. Изд 3-е М.: Машиностроение, 1981. - 480 с.

22. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978. - 355 с.

23. Райбман Н.С., Чадеёв В.М. Построение моделей процессов производства. - М.: Энергия, 1975.

24. Горбатов В А Теория частично упорядоченных систем. - М.: Советское радио, 1976. - 336 с.

25. Горбатов В. А, Кофаров В.В., Павлов П.Г. Логическое управление техно­логическими процессами. - М.: Энергия, 1978. - 272 с.

26. Биргер И. А. Техническая диагностика. -М.: Машиностроение, 1978. - 240с.

27. Барзилович, Е.Ю. Барзилович, Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем : Учеб. пособие [Текст] / Е.Ю. Барзилович. – М.: Высш. школа, 1982. – 231с.

28. Советов Б.Я. Моделирование систем: -5-е изд., стер. –М.: Высш. шк., 2007 С-344.

29. Ступаченко А.А. САПР технологических операций. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1988. – 234 с.

30. Суходольский Г.В. “Структурно-алгоритмический анализ и синтез деятельности” Л., Изд-во Ленингр. Ун-та, 1976. 120 с.

31. Суходольский Г.В. Математические методы в психологии. – Харьков: Гуманитарный центр, 2008. – 284с.

32. ГОСТ 19919-74 Контроль Автоматизированный Технического Состояния Изделий Авиационной Техники. Термины и Определения– М.: Издательство стандартов, 1974.

33. ГОСТ 16504-81 Испытание и контроль качества продукции. Основные термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 48 с.

34. Дуббесса М.Х. Современные технологические процессы функционального контроля систем электроснабжения воздушных судов в производстве и эксплуатации/ Коптев А.Н. // Наука и бизнес: пути развития. — 2021. — No 2 (116). — С. 42-46.

35. Дуббесса М.Х. тенденции развития систем электроснабжения летательных аппаратов. / Коптев А.Н.// международная научно-практическая конференция старшеклассников, студентов и аспирантов «МОЛОДЕЖЬ И НАУКА» - 2022.

36. Александровская, Л.Н. [и др.] Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем [текст] / Л.Н. Александровская, В.И. Круглов, А.Г. Кузнецов, В.А. Кузнецов, А.А. Кутин, А.М. Шолом. - М.: Логос, 2003. - 736 с.

37. Городецкий, В.И., Дмитриев, А.К., Марков, В.М. и др. Элементы теории испытаний и контроля технических систем. - Л.: Энергия, 1978 - 192с.

38. Александровская, Л. Н. Системный подход в обеспечении качества испытаний изделий авиакосмической техники / Л. Н. Александровская, А. В. Кириллин. – М.: Изд. МАИ, 2017. – 160 с.

39. Воробьев, В.Г. Надежность и техническая диагностика авиационного оборудования учебник. - М.: МГТУ ГА, 2010. - 448 с.

40. ИСО 9002:1994. Системы качества - Модель для обеспечения качества при производстве, монтаже и обслуживании.

41. Информационное обеспечение, поддержка и сопровождение жизненного цикла изделия / Бакаев В.В., Судов Е.В., Гомозов В.А. и др. / Под ред. В.В. Бакаева. М.: Машиностроение-1, 2005. 624 с.

42. Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение / Гл. ред. Братухин. М.: ОАО «НИЦ АСК» , 2008 . 608 с.

43. ГОСТ 20911-89 Техническая Диагностика. Термины и Определения. – М.: Издательство стандартов, 1989.

44. Коптев, А.Н. Проблемы испытаний многотактных автоматов / Коптев А.Н., Коваленко Ю.В. // Известия Самарского научного центра РАН. – 2013. – Т.15, № 6 (3). – С. 777-781.

45. Далецкий, С.В. Формирование эксплуатационно-технических характеристик воздушных судов гражданской авиации [Текст] / С.В. Далецкий. – М.: Воздушный транспорт, 2005. – 416 с.

46. Далецкий, С.В. Эффективность технической эксплуатации самолетов гражданской авиации [Текст] / С.В. Далецкий, О.Я. Деркач, А.Н. Петров. – М.: Воздушный транспорт, 2002. – 210 с.

47. Илюшин Н. М. методические рекомендации по эксплуатации и войсковому ремонту бортовых электрических сетей летательных аппаратов, выпуск № 5557, 1986.

48. Анипченко, Л.А. Автоматизация технологической подготовки производства / Л.А. Анипченко. – Самара: Изд-во СГАУ, 2007. – 79 с.

49. Коптев, А.Н. Автоматизированная система синтеза и анализа программ контроля и испытаний сложных устройств бортовой автоматики / Коптев А.Н., Коваленко Ю.В., Прилепский В.А. // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – Том 16, № 1 (5). – С. 1583-1587.

50. Писаренко В. Н. Проблемы автоматизации контроля состояния системы электроснабжения летательных аппаратов // Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» № 6. 2010. С. 223–224.

51. Проблемы автоматизации контроля состояния системы электроснабжения летательных аппаратов [Electronic resource]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-avtomatizatsii-kontrolya-sostoyaniya-sistemy-elektrosnabzheniya-letatelnyh-apparatov/viewer (accessed: 02.05.2020).

52. Халютин С. П. Автоматизация проектирования систем электроснабжения воздушных судов [Текст] : [монография] / С. П. Халютин, П. С. Горшков, Б. В. Жмуров, А. П. Патрикеёв. - Москва : ИД Академии Жуковского, 2015. - 116 с.

53. Александровская, Л.П. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем / Л. И. Александровская, А. П. Афанасьев. А. А. Лисов. - М.: Логос, 2001. – 206 с.

54. Чернышев А. В. Технология монтажа, испытаний и контроля бортовых систем ЛА [Текст] / А. В. Чернышев. - М.: Машиностроение, 1977.

55. Бенерджи Р. Теория решения задач (подход к созданию искуссвенного интеллекта) - М.: Мир, 1972. - 222 с.

56. Колмогоров А.Н., Фомин Элементы теории функций и функционального анализа. - 7-е изд. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 572с.

57. Фу К. Структурные методы в распознавании образов – М.: Мир, 1977. – 320 с.

58. Ахо, А. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции / А. Ахо, Дж. Ульман. – пер.с англ. В.Н. Агафонова, под ред. В.М. Курочкина. – М: МИР, 1978. – 613 с.

59. Барвайс Дж. Справочная книга по математической логике: В 4-х частях. Ч.I. Теория моделей, Пер. с англ., М.: Наука. Главная редакции физико- математической литературы, 1982. — 392 с.

60. Жмуров Б.В. Процесс проектирования систем электроснабжения воздушных судов как объект автоматизации // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2018. Т. 21. №1. С. 88-103.

61. Игошин В. И. Задачи и упражнения по математической логике и теории алгоритмов — М.: Издательский центр «Академия», 2007.- 304 с.

62. R.P.G. Collinson (2011), Introduction to Avionics Systems, Third Edition, Springer Science + Business Media B.V.

63. Ian Moir and Allan Seabridge (2008), Aircraft Systems Mechanical, electrical, and avionics subsystems integration, Third Edition ed, John Wiley & Sons, Ltd.

64. Альбом Электосхем самолета Ту-204-300 № 026, раздел 024, система электроснабжения, 2006г, - 381с.

65. Мусин С. М. системы электроснабжения летательных аппаратов особенности эксплуатации и поиск неисправностей, методические рекомендации, выпуск № 7111, 1999.

66. Прилепский, В. А. Контроль состояния и диагностирование неисправностей авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов. [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / В. А. Прилепский, А. Н. Коптев; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. 16,8 Мбайт). - Самара, 2011. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

67. Зонтов,В. М. Куприн, Б. В. системы электроснабжения летательных аппаратов — М.: ВВИА, 1988, 398 с.

68. Устенко А. С. Основы математического моделирования и алгоритмизации процессов функционирования сложных систем.

69. Рассел С., Норвиг, П. Искусственный интеллект. Современный подход. М: Вильямс, 2016. 1408 с.

70. Ручкин В.Н. Фулин В.А., Универсальный искусственый интеллект и экспертные системы - СПб.: БХВ-Петербург, 2009. - 240 с.

71. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем - СПб.: Петер, 2000. - 384 с.

72. Девятков, В.В. Системы искусственного интеллекта: Учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 352 с.

73. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. — М.: Радио и связь, 1990.

74. Formal method: industrial use from model to the code / ed. Boulanger J.-L. London : Hoboken, NJ: ISTE ; Wiley, 2012. 357 p.

75. Kowalski R. Logic for Problem Solving Revisited.

76. Гренандер, У. Лекции но теории образов [Текст]. В 3 т. Т.1. Синтез образов / У. Гренандер. - М.: Мир, 1979. - 382 с.

77. Aggarwal C.C. Artificial Intelligence: A Textbook. Cham: Springer International Publishing, 2021.

78. Chilton P. Language, Space and Mind.

79. Ергалиев, Д.С. Задача обучения распознаванию образов / Д. С. Ергалиев, К.Ж. Саханов, К.М Казиев // Сб. научн. трудов Всероссийской научно-технической конференции «Радиовысотомстрия». – Каменск-Урадьский: №10 УПБК «Деталь». – 2007. – С. 257-262.

80. Коптев А.Н., Коротнев Г .И ., Савотченко В.В., Поляков А.П.. Формальное представление производства агрегатов и систем летательных аппаратов и действий над ними // Проблемы машиностроения и автоматизации. - №4, 2000. - С. 63-66.

81. Коптев В.А. Формальная постановка задачи проектирования организационной структуры производства. Труды XI Всеросс. семинара по навигации и управлению. Секция производства и эксплуатации. - Самара: СГАУ, 2003.- С.305-309.

82. Коротнев Г.И. Формальные методы моделирования организационной структуры предприятий авиастроения // Аэрокосмическая техника и технология. - №3, 2003. - С.

83. Мацуо Комацу Многообразование геометрии. — М.: Знание, 1981. - 205 с.

84. Прасолов В.В. Элементы комбинаторной и дифференциальной топологии / В.В. Прасолов. – М.: МЦНМО, 2004. – 352 c.

85. Expert Systems: Design, Applications and Technology // COMPUTER SCIENCE. Recommender Systems Handbook / ed. Ricci F. et al. Boston, MA: Springer US, 2011.

86. Кондаков Н.И. Логический словарь-справочник — М.: НАУКА, 1975.

87. Rigo M. Formal Languages, Automata and Numeration Systems.

88. Дуббесса Мулубирхан Хайлу, Универсальная модель представления задачи монтажа бортовых систем летательного аппарата. // Испытания, Измерения, Контроль. КШП – ОМД. – 2023. – № 2, с. 34 – 42.

89. Коротнев Г.И. Топологические и тензорные методы представления производства летательных аппаратов //Полет. - №4, 2003. - С.30-36.

90. Коптев, А. Н. Моделирование архитектуры системы управления состоянием объектов технического обслуживания [Текст] / А. Н. Коптев, Д. С. Ергалиев, К. Ж. Саханов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П.Королева, №1 (14)—2008. С.219-225.

91. Джозеф Д., Гари Р. Экспертные системы принципы разработки и программирование, четвертое издание, Изд. “Вильям” 2007.

92. Дубровин Б.А.,Новиков С.П., Фоменко А.Т. Современная геометрия. Методы теории гомологий. - М .:Наука, 1984. - 343с.

93. Кристофидис Н. Теория графов. Алгоритмический подход. - М.: Мир, 1978.-С .423.

94. Крон Г. Исследование сложных систем по частям диакоптика / Пер. с англ.: Под ред. А.В. Баранова. - М.: Наука, 1972. - 544 с.

95. Зыков А.А. Основы теории графов. - М.: Вузовская книга, 2004.- 664с.

96. Grenander U., Miller M.I. Pattern theory: from representation to inference. Oxford ; New York: Oxford University Press, 2007. 596 p.

97. Grenander U. Pattern analysis. New York: Springer-Verlag, 1978. 605 p.

98. Гренандер, У. Лекции по теории образов [Текст]. В 3 т. Т.2. Анализ образов / У. Г ренандер. - М.: Мир, 1981. - 448 с.

99. Патрик Э. Основы теории распознавания образов / Э. Патрик, пер. с англ. – М.: Сов. Радио, 1980. – 408 с.

100. Питер Джексон Введение в экспертные системы, Вильямс, 2001 г.

101. Гренандер, У. Лекции по теории образов. Регулярные структуры. Том 3 / У. Гренандер. – М.: МИР, 1983. – 447 с.

102. Афанасьев В.В. Теория вероятностей : учеб . пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Математика» / В.В. Афа- насьев. — М. : Гу ма нитар. изд. центр ВЛА ДОС, 2007. — 350 с.

103. Axler S. Measure, Integration & Real Analysis. Cham: Springer International Publishing, 2020. Vol. 282.

104. Bogachev V.I. Measure theory. Berlin: Springer, 2007.

105. Халмош П. Теория меры / Пер. с англ. под ред. проф. с. В. Фомина. М.: Изд-во tФакториал Пресс., 2003. - 256 с.

106. Kurowski P.M. Finite Element Analysis for Design Engineers, Second Edition. Warrendale, PA: SAE International, 2016.

107. Гаврилов М.А. Логическое проектирование дискретных автоматов / Гаврилов М.А., Девятков В.В., Пупырев Е.И. - М.: Наука, 1977.

108. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов / А.Гилл. М.: Наука, 1966. – 272 с.

109. Гуренко В. В. Введение в теорию автоматов [Электронный ресурс] : электронное учебное издание / В. В. Гуренко. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. – 62 с.

110. Карпов Ю.Г. Теория автоматов / Ю.Г. Карпов. - СПб.: Питер, 2003. – 208 с.

111. Короткова М.А. Математическая теория автоматов: учебное пособие для вузов / М.А. Короткова. – М.: Изд-во МИФИ, 2008. – 116 с.

112. Хопкрофт Джон Э. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений / Хопкрофт, Джон Э., Мотвани Раджив, Ульман Джеффри Д. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2008. – 528 с.

113. Nelson B.L. Foundations and Methods of Stochastic Simulation: A First Course. Boston, MA: Springer US, 2013. Vol. 187.

114. Zhou, Di Hazard identification and prediction system for aircraft electrical system based on SRA and SVM // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. 2020. Volume 234: Number 4; pp 1014-1026.

115. Опойцев В.И. Идентификация статических объектов кусочно-линейными функциями. - Автоматика и телемеханика, №5, 1970.

116. Панич Ю.В. Статистическое исследование нелинейных технологических объектов управления. В сб.: Автоматизация производства строительных материа­лов. - М.: Стройиздат, 1968, вып.2.

117. Эйкопф П. Основы идентификации систем управления. - М.: Мир, 1975. - 680 с.

118. Столл Р. Множества. Логика. Аксиоматические теории. М.: Просвещение, 1968. – 232 с.

119. Прилепский В.А. Микропроцессорная автоматизированная система контроля Авионики – МАСКА / Коптев А.Н., Прилепский И.В./ Известия Самарского научного центра РАН. 2014. т.16, № 1 (5) - с.1588-1594.

120. Прилепский В. А. Контроль состояния и диагностирование неисправностей авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов. [Электронный ресурс] . - Самара, 2011.

121. Дуббесса Мулубирхан Хайлу, Коптев А. Н. Имитационное моделирование силовой установки летательных аппаратов для оценивания состояния систем электроснабжения при их испытаниях в цехе окончательной сборки // Моделирование Технологических Процессов. САПР. // КШП – ОМД. – 2022. – № 9, с. 30–35.