

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

На правах рукописи

Смирнов Владимир Александрович

**Технология приемочного контроля сложной приборной аппаратуры
с ограниченным ресурсом**

Специальность 05.11.14 – Технология приборостроения

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук,
профессор В. П. Ларин

Санкт-Петербург – 2015

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АРМ – автоматизированное рабочее место
БАСУ – бортовая автоматизированная система управления
БД – база данных
БЗ – база знаний
БИТ – бюро информационных технологий
БС – бюро стандартизации
БСД – байесовская сеть доверия
БЦВМ – бортовая цифровая вычислительная машина
ЕИП – единое информационное пространство
ЕСТД – единая система технологической документации
ЖЦ – жизненный цикл
ИСППР – интеллектуальная система поддержки принятия решений
КД – конструкторская документация
ККПА – комплекс контрольно-проверочной аппаратуры
КПА – контрольно-проверочная аппаратура
КС – конструкторский сектор
ЛА – летательный аппарат
ЛПР – лицо, принимающее решение
ОБ – отдел безопасности
ОК – отдел качества
ОКК – отдел контроля качества
ОМ – отдел метрологии
ОНТ – отдел новой техники
ПЗ – представитель заказчика
ПО – программное обеспечение
РЛС – радиолокационная станция
РСУ – регулировочно-сдаточный участок
СР – сектор радиоэлектроники
СУ – сборочный участок
СУБД – система управления базой данных
СУБЗ – система управления базой знаний
СЭ – служба эксплуатации
ТД – технологическая документация
ТППК – технологическая подготовка приемочного контроля
ТРЗ – технический руководитель заказа
ТС – технологический сектор
ТСПК – технологическая система приемочного контроля
ТСПР – технологическая система принятия решений
ТУ – технические условия
УУ – участок упаковки
ЭД – эксплуатационная документация

Содержание

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	2
ВВЕДЕНИЕ.....	7
РАЗДЕЛ 1 АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИЕМОЧНОГО КОНТРОЛЯ СЛОЖНОЙ ПРИБОРНОЙ АППАРАТУРЫ С ОГРАНИЧЕННЫМ РЕСУРСОМ.....	13
1.1 Характеристика бортовой системы управления как объекта приемочного контроля.....	13
1.2 Анализ предпосылок разработки новой технологии приемочного контроля.....	17
1.2.1 Классификация дестабилизирующих факторов, типичных отказов и причинно- следственная диаграмма источников дефектов БАСУ в процессе изготовления.....	17
1.2.2 Роль, сущность и особенности приемочного контроля БАСУ в действующем производстве.....	22
1.2.3 Систематизация факторов, влияющих на обеспечение и поддержание на заданном уровне качества процесса приемочного контроля в рамках ЖЦ изделия.....	30
1.3 Тенденции и перспективы развития систем контроля и диагностирования сложных объектов.....	33
1.4 Определение направлений совершенствования и методологической основы проектирования технологического процесса приемочного контроля.....	36
1.5 Выводы по разделу 1.....	40
РАЗДЕЛ 2 РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ТСПК СЛОЖНОЙ ПРИБОРНОЙ АППАРАТУРЫ С ОГРАНИЧЕННЫМ РЕСУРСОМ НА ПРИМЕРЕ БАСУ.....	41
2.1 Разработка алгоритма проведения приемочного контроля БАСУ.....	41
2.2 Разработка структурно-функциональной схемы ТСПК.....	48
2.3 Разработка организационно-технологической схемы ТСПК.....	54
2.4 Разработка технического обеспечения функционирования ТСПК.....	57
2.5 Разработка информационного обеспечения ТСПК.....	60
2.5.1 Структурная схема организации ЕИП предприятия.....	60
2.5.2 Структура информационной поддержки проектирования и функционирования ТСПК.....	65
2.5.3 Фрагменты моделирования процессов информационного сопровождения функционирования ТСПК.....	67
2.6 Выводы по разделу 2.....	69
РАЗДЕЛ 3 РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОГО И ИНФОРМАЦИОННО- АНАЛИТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....	71
3.1 Формирование основных требований, принципов построения и разработка концептуальной модели ИСППР.....	71
3.2 Разработка классификатора, принципов классификации и методик идентификации параметров оценки технического состояния БАСУ.....	78

3.2.1 Классификатор и принципы классификации контролируемых параметров.....	79
3.2.2 Методика оценки критических параметров по критерию близости к границам полей допусков.....	84
3.2.3 Методика оценки критических параметров по критерию аномальности поведения в пределах границ полей допусков.....	86
3.2.4 Методика многокритериальной идентификации технического состояния БАСУ.....	88
3.3 Разработка методики оптимизации процедуры диагностирования на основе байесовской и прецедентной модели представления знаний.....	91
3.3.1 Методика оптимизации процедуры диагностирования при неполном обнаружении неисправностей на основе БСД.....	91
3.3.2 Методика формирования моделей прецедента и библиотеки прецедентов.....	100
3.3.3 Методика оптимизации процедуры диагностирования при неполном обнаружении неисправностей на основе прецедентного подхода.....	110
3.3.4 Комбинированная методика оптимизации процедуры диагностирования.....	117
3.4 Выводы по разделу 3	120
РАЗДЕЛ 4 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТСПК СЛОЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ ТИПА БАСУ.....	122
4.1 Постановка задачи оценки эффективности ТСПК.....	122
4.2 Факторы, определяющие эффективность ТСПК, и критерии качественной оценки потенциального положительного эффекта.....	125
4.3 Классификация вида эффективности и выходного эффекта ТСПК для различных уровней иерархии производственной системы	128
4.4 Методика оценки эффективности ТСПК.....	129
4.5 Выводы по разделу 4	141
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	142
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	144
ПРИЛОЖЕНИЕ А Дестабилизирующие факторы на этапах изготовления изделия	
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Классификация типичных отказов БАСУ по основным признакам	
ПРИЛОЖЕНИЕ В Объекты, методы и средства проведения приемочного контроля БАСУ	
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Схема механизма сокращения технического ресурса БАСУ в процессе приемочного контроля	
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Структура информации об изделии, процессах и ресурсах в существующем информационном обмене в рамках ЖЦ изделия	
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Блок-схема алгоритма проведения приемочного контроля БАСУ	
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Фрагменты функциональной модели разработки технологической документации приемочного контроля БАСУ в формате функционального моделирования IDEF0	
ПРИЛОЖЕНИЕ И Структура прецедента и библиотеки прецедентов	

ВВЕДЕНИЕ

В конструкциях современной бортовой аппаратуры летательных аппаратов (ЛА) постоянно воплощаются новейшие достижения науки и техники. Соответственно возрастает и сложность приемочного контроля, как завершающего этапа производства такого рода изделий. Повышение объективности и достоверности решений по возможности поставки изделия для использования по назначению является одним из основных факторов, влияющих на качество его функционирования, что в конечном итоге определяет вероятность выполнения полетного задания. Происходящие в последние годы неудачные запуски ракет различного назначения и разных классов являются свидетельством серьезных проблем с приемочным контролем аппаратуры ракетной техники. Одной из причин увеличения количества параметрических отказов, влияющих на качество функционирования ЛА и полноту выполняемых им назначенных функций, является недостаточный технический ресурс критичных элементов ЛА.

Бортовая автоматизированная система управления (БАСУ) относится к группе аппаратуры изделий одноразового использования, входящей в класс бортовой аппаратуры ЛА и отрабатывается на безотказность в ограниченном временном отрезке, который и составляет ограниченный ресурс или ограниченную наработку. Необходимость сохранения ресурса при проведении производственных и эксплуатационных контрольно-испытательных мероприятий и более глубокой оценки технического состояния изделия требует разработки новой технологии приемочного контроля, позволяющей исключить принятие ошибочных решений по результатам контроля с максимальным устранением человеческого фактора из этого процесса.

Проблемы контроля и диагностирования электронных приборов решали такие российские и зарубежные ученые, как Пархоменко П.П. [86, 87], Согомонян Е.С. [52, 88], Гнедов Г.М. [21], Синдеев И.М. [39], Мозгалевский А.В. [18, 73], Гаскаров Д.В. [18, 19], Голинкевич Т.А. [18], Барзилович Е.Ю., Евланов Л.Г. [43], Лихтциндер Б.Я. [66], Сердаков А.С. [70], Клевцов С.И. [54, 55, 56], Байхельт Ф., Isermann R. и многие другие. В настоящее время одним из основных направлений комплексной автоматизации систем контроля и диагностирования сложных технических объектов является совершенствование процессов обработки полученной информации с привлечением новых методов интеллектуального анализа данных и использование достижений информационных технологий в процессе принятия решений.

Разработка и исследование предлагаемой в данной диссертационной работе технологии приемочного контроля лежит в русле дальнейшего развития и совершенствования теории и практики технологии приборостроения применительно к задачам контроля и диагностирования сложной приборной аппаратуры с ограниченным ресурсом на примере БАСУ, что подчеркивает актуальность, проводимых в работе исследований.

Целью диссертационной работы является разработка теоретических принципов построения технологической системы приемочного контроля (ТСПК) сложных технических объектов для обеспечения достоверной оценки состояния объекта контроля с минимальным исчерпанием ресурса. В данной работе объектом исследования является процесс приемочного контроля и диагностирования сложных изделий ответственного назначения на стадии производства, а предметом исследования – методическое, информационное и организационное обеспечение проектирования и функционирования ТСПК.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить комплекс взаимосвязанных задач научного и научно-прикладного характера:

1. Провести анализ современного состояния и направлений развития технологий приемочного контроля сложных изделий, определить проблемы и сформулировать требования к технологическому проектированию приемочного контроля, учитывающие особенности современного производства и специфику изделий.
2. Предложить методологическую основу проектирования технологического процесса и технического обеспечения приемочного контроля на базе системных принципов, технологий интеллектуальной поддержки принятия решений и информационного сопровождения и поддержки жизненного цикла (ЖЦ) продукции.
3. В рамках предложенного подхода разработать принципы построения ТСПК.
4. Разработать структуру информационной поддержки проектирования и функционирования ТСПК на основе CALS-технологий.
5. Разработать методику принятия решений по результатам контроля, учитывающую возможное наличие неопределенностей в результатах проверок.
6. Разработать методические аспекты оценки эффективности предложенной технологии приемочного контроля.

Для решения поставленных в работе задач использовались следующие теории и методы: общая теория систем и методы системного анализа, теории и методы технического контроля и диагностики, теория надежности, теории вероятностей и математической статистики, теории и методы искусственного интеллекта: нечетких множеств, байесовских сетей доверия (БСД), рассуждений на основе прецедентов; методы математического моделирования и обработки информации, теория и методы принятия решений.

Научная новизна результатов диссертационного исследования, полученных при решении перечисленных выше задач, заключается в следующем:

1. Предложен новый технологический процесс и новая организация проведения приёмочного контроля БАСУ, отличающиеся интеллектуализацией процесса принятия решений по результатам контроля и информационной поддержкой с использованием принципов CALS-

технологий, обеспечивающие достоверное оценивание состояния объекта контроля с сохранением технического ресурса изделия.

2. Разработана оригинальная интеллектуальная система поддержки принятия решений (ИСППР), отличающаяся целевым интеллектуально-методическим обеспечением приемочного контроля и осуществляющая эффективную поддержку решений сложных трудноформализуемых задач контроля и диагностирования.

3. Разработана новая методика многокритериальной идентификации технического состояния объекта контроля, основанная на качественной оценке значений критических параметров по критериям близости к границам полей допусков и аномальности поведения в пределах границ полей допусков, позволяющая увеличить запас работоспособности и обеспечить устойчивую работу БАСУ.

4. Впервые разработана комбинированная методика оптимизации процедуры диагностирования на основе байесовской и прецедентной моделей представления знаний, позволяющая проводить автоматизированный анализ несоответствий в результатах контроля и устранение их причин за минимальное время затраченной наработки.

Практическая значимость теоретических результатов работы и решений прикладных задач состоит в следующем:

1. Предложенные методики позволяют решать весь комплекс практических задач технологического проектирования приемочного контроля сложных технических систем одноразового использования с ограниченным ресурсом.

2. Разработанные в диссертации методики, модели и алгоритмы могут быть использованы на других предприятиях военно-промышленного комплекса при создании систем поддержки принятия решений для целого ряда прикладных и исследовательских задач:

- повышения производительности контроля и диагностирования за счет автоматизации принимаемых решений;

- анализа влияния внешних факторов на параметры изделия во время производственных испытаний, анализа причин отказов;

- разработки информационной поддержки и сопровождения приемочного контроля в единой информационной среде предприятия;

- прогнозирования и оценки эффективности ИСППР,

что позволяет снизить затраты на научно-исследовательские работы и опытно-конструкторские разработки.

3. Полученные теоретические результаты послужили основой для разработки изобретения «Способ технического контроля и диагностирования бортовых систем беспилотного летательного аппарата с поддержкой принятия решений и комплекс контрольно-проверочной

аппаратуры с интеллектуальной системой поддержки принятия решений для его осуществления» (Патент №2557771 от 29.06.15 г.).

4. Разработанный методический комплекс поддержки принятия решений на основе интеллектуальных технологий позволяет автоматизировать процедуры процесса контроля сложных технических систем, существенно уменьшая влияние человеческого фактора.

Практическая ценность полученных результатов подтверждается наличием положительного опыта их внедрения и использования, а именно:

1. Разработанные в диссертационной работе теоретические решения и практические рекомендации использованы в ОАО «Концерн «Гранит-Электрон» и ЗАО «НПЦ «Аквамарин» при разработке и реализации проектов совершенствования технологических процессов контроля сложных объектов, о чем имеется соответствующий акт.

2. Разработанные в диссертации организационно-технические решения приняты в ЗАО «НПЦ «Аквамарин» для разработки корректировок в стандарты организации, о чем имеется соответствующий акт.

3. Научные аспекты исследований нашли отражение в практических учебно-методических материалах и используются в учебном процессе на кафедре конструирования и технологии электронных и лазерных средств Санкт-Петербургского университета аэрокосмического приборостроения при проведении занятий по дисциплинам «Технология контроля электронных средств», «Технология производственного контроля приборов», «Интеллектуальные системы технологического проектирования», о чем имеется соответствующий акт.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Разработка ТСПК сложных ответственных изделий, отличающаяся от известных наличием интеллектуального структурного элемента и целостным представлением на структурном, функциональном, алгоритмическом, информационном и методическом уровнях.

2. Технологический процесс приемочного контроля БАСУ, основанный на применении технологий интеллектуальной поддержки принятия решений и информационного сопровождения и поддержки ЖЦ продукции, позволяющий минимизировать исчерпание ресурса изделия в процессе контроля.

3. Методика оценки критических параметров по критерию близости к границам полей допусков, основанная на формализации экспертных знаний с использованием математического аппарата теории нечетких множеств и продукционных правил логического вывода, позволяющая оперативно обнаруживать и качественно оценивать недостаточный запас работоспособности критических параметров.

4. Методика оптимизации процедуры диагностирования при неполном обнаружении неисправностей на основе БСД, обеспеченная байесовской сетевой моделью диагностирования

и позволяющая проводить в автоматизированном режиме анализ и поиск неисправностей в условиях неопределенностей.

5. Методика оптимизации процедуры диагностирования при неполном обнаружении неисправностей на основе прецедентного подхода, обеспеченная моделями прецедента и библиотекой прецедентов и позволяющая проводить в автоматизированном режиме анализ и поиск неисправностей в условиях неопределенностей.

6. Методика оценки эффективности ТСПК, отличающаяся от известных тем, что дает возможность выявлять выходной эффект на различных уровнях системного рассмотрения, учитывая различный вклад ее элементов.

Достоверность полученных результатов подтверждается следующими объективными данными:

- идея предложенных новых принципов построения технологической системы и организации технологического процесса приемочного контроля базируется на логически обоснованных положениях, вытекающих из реального состояния уровня готовности ракетной техники;
- теоретические положения, вынесенные на защиту, базируются на известных, корректно использованных теориях и методах, применение которых в достаточной степени обосновано;
- предложенные модели системы и процессов базируются на проверяемых данных и фактах, адекватно соответствуют условиям решаемых задач и выбранным методам решения;
- апробацией на международных и всероссийских научно-практических конференциях и в научных публикациях;
- примерами аналитических расчетов;
- результатом использования материалов диссертации в проектной организации "Концерн "Гранит-Электрон", предприятии-изготовителе ЗАО «НПЦ»Аквamarin» и в Санкт-Петербургском университете аэрокосмического приборостроения.

Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры, на XIII, XVII международных научно-практических конференциях «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике» (Санкт-Петербург, 2012, 2014 гг.); на научной сессии ГУАП (Санкт-Петербург, 2013, 2014, 2015 гг.); на LXVIII, LXX научно-технической конференции СПбНТОРЭС, посвященной Дню радио (Санкт-Петербург, 2013, 2015 г.); на II научно-технической конференции ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение» «Принципы построения систем имитации и контроля управляемых средств поражения» (Москва, 2013 г.); на XIV Международном форуме «Формирование современного информационного общества. Проблемы, перспективы, инновационные подходы» (Санкт-Петербург, 2013 г.); на Всероссийской научно-технической конференции «Теоретические и прикладные проблемы

развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения» (Санкт-Петербург, 2013 г.); на XIV Всероссийской научно-технической конференции «Приоритетные направления развития науки и технологий» (Тула, 2014 г.); на IX международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления» (Томск, 2013 г.); на Всероссийской научно-технической конференции по теоретическим и прикладным проблемам развития и совершенствования автоматизированных систем управления специального назначения «НАУКА И АСУ – 2014» (Москва, 2014 г.); на XX юбилейной научно-технической конференции «Радиоэлектронное вооружение НК, ПЛ и береговых объектов флота. Системы управления крылатых ракет» (Санкт-Петербург, 2014 г.); на V Международной научно-практической конференции «Современные концепции научных исследований» (Москва, 2014 г.); на IV Международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные аспекты современной науки» (Белгород, 2014); at I International scientific and practical conference “Science and Education” (Sheffield, 2014 г.).

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 30 печатных работах, 1 из которых – патент на изобретение, 8 – статьи в изданиях, рекомендованных ВАК России, 21 – публикация в журналах, сборниках трудов и материалах российских и международных форумов и конференций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка используемой литературы, восьми приложений, включает 138 страниц основного текста, 38 рисунков и 9 таблиц. Список используемой литературы содержит 134 наименования.

РАЗДЕЛ 1 АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИЕМОЧНОГО КОНТРОЛЯ СЛОЖНОЙ ПРИБОРНОЙ АППАРАТУРЫ С ОГРАНИЧЕННЫМ РЕСУРСОМ

1.1 Характеристика бортовой системы управления как объекта приемочного контроля

Бортовая система управления является изделием ракетной техники и относится к группе аппаратуры изделий одноразового использования, входящей в класс бортовой аппаратуры ЛА. Она предназначена для управления движением ЛА. Устройства ЛА одноразового применения обрабатываются в основном на безотказность в ограниченном временном отрезке, который и составляет их ограниченный ресурс или ограниченную наработку. БАСУ относится к критичным элементам ЛА [65]. Обычно в практике проектирования ЛА используют назначенный ресурс, длительность которого ниже, чем установленный ресурс других элементов ЛА. Для увеличения срока хранения ЛА с высокими значениями показателей безотказности желательно, в первую очередь, повышать значения этих показателей для БАСУ. С другой стороны, необходимо жестко ограничить нецелевое исчерпание ресурса при проведении производственных и эксплуатационных контрольно-испытательных мероприятий [64].

Происходящие в последние годы неудачные запуски ракет различного назначения и разных классов свидетельствуют о серьезных проблемах с приемочным контролем аппаратуры ракетной техники, относящейся к категории критической по последствиям отказов. Ответственность выполняемых функций и большая цена отказа этих систем предъявляют повышенные требования к уровню надежности (безотказности на протяжении времени использования по назначению), который закладывается на стадии проектирования и обеспечивается при изготовлении. Для критичной аппаратуры, отказы которой приводят к очень серьезным последствиям, тяжесть которых признается недопустимой, вероятность функционального отказа должна рассматриваться как событие, не превышающее значения 10^{-6} - 10^{-7} на время выполнения задания. Задача определения уровня надежности конкретного изготовленного изделия, предназначенного для установки на борту, целиком и полностью возлагается на приемочный контроль – наиболее важный этап признания аппаратуры работоспособной и соответствующей требованиям технических условий. В соответствии с ГОСТ 16504-81 «Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения» под приемочным контролем следует понимать контроль продукции, по результатам которого принимается решение о ее пригодности к поставкам и (или) использованию.

БАСУ ЛА является сложной технической системой, составные элементы которой можно рассматривать как системы, объединённые в единое целое в соответствии с определенными

принципами и функционирующие не изолированно друг от друга, а во взаимодействии: свойства одного элемента в общем случае зависят от условий, определяемых поведением других элементов. Укрупненная структурно-функциональная схема такой системы показана на рисунке 1.1.

При разработке технологии приемочного контроля БАСУ необходимо учитывать следующие ее специфические особенности:

- система включает в себя большое число элементов с различными связями между ними, разнообразными электрическими преобразованиями. Ее функционирование характеризуется множеством возможных состояний, сложностью перехода из одного состояния в другое состояние. Это усложняет процессы контроля и диагностирования и требует сочетания различных диагностических методов, моделей и алгоритмов при их проведении;
- отсутствует достаточно полное математическое описание реакций и состояний данной системы в зависимости от различных событий. Большое разнообразие бортовой аппаратуры по используемым физическим принципам требует для анализа системы привлечения многих теорий и научных дисциплин, например, электротехники, электроники, схемотехники, теории теплообмена, электромагнитного поля и т.д.;
- непрерывно возрастает конструктивная сложность и постоянно расширяются функциональные возможности БАСУ. Данное обстоятельство требует многократного использования одинаковых блоков в системе и унификации интерфейса различных типов блоков, облегчающих проведение контроля и диагностирования;
- БАСУ имеет сложные взаимосвязи, требующие большого количества наблюдаемых параметров, для определения состояния системы;
- в процессе эксплуатации система испытывает большое многообразие совместно действующих дестабилизирующих факторов;
- БАСУ имеет сложную блочно-иерархическую конфигурацию: система состоит из составных частей, выделенных, в основном, по функциональному признаку. Составные части организованы в иерархию и состоят из более мелких блоков. Нижний уровень иерархии – неделимые блоки, элементы. Иерархический характер построения БАСУ определяет многоуровневую структуру системы ее контроля и диагностирования, в которой требуемая глубина поиска неисправностей БАСУ зависит от уровня конструктивной сложности ее составных частей;
- допустимое время нахождения изделия во включенном состоянии при контроле и диагностировании должно быть минимизировано, что связано с ограниченным ресурсом изделия;

- поиск неисправного элемента характеризуется большой трудоемкостью, сопряжен с расходами времени и ресурсов, необходимых для проведения его локализации;

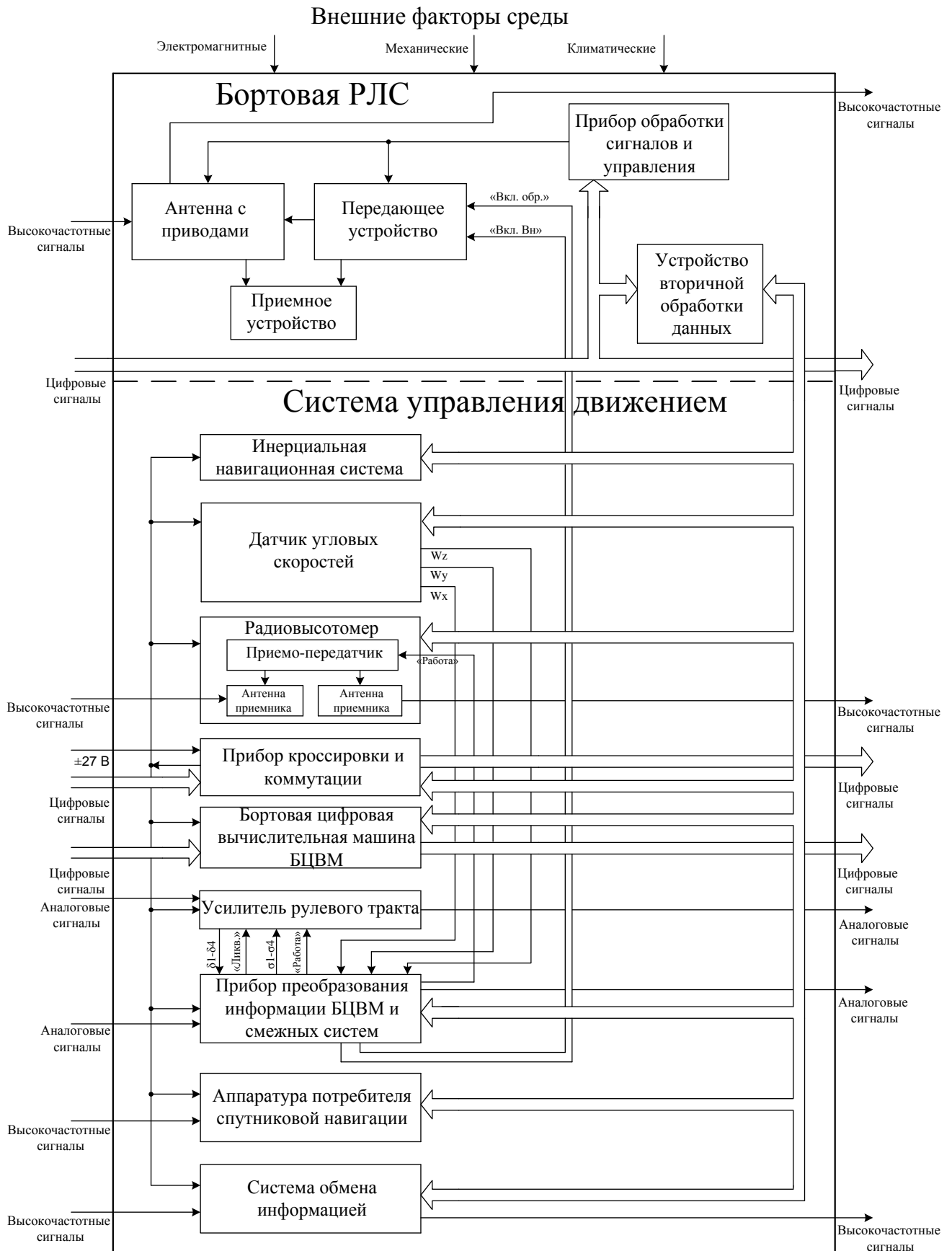


Рисунок 1.1 – Укрупненная структурно-функциональная схема БАСУ – объекта контроля

- жесткие требования к массогабаритным характеристикам, ограничивают возможность модернизации элементов конструкции и электрической принципиальной схемы (например, возможность увеличения количества контрольных точек в конструкции изделия).

БАСУ, являясь изделием военного назначения, с точки зрения контролепригодности, имеет следующие основные особенности:

- высокие требования к качеству, надежности и безотказности (например, требования стойкости к внешним воздействиям разнообразных факторов (рисунок 1.2) при испытаниях);
- высокие требования к значению коэффициента готовности изделия, определяемое его ресурсом и зависящим, соответственно, от расхода ресурса в процессе контроля и испытаний;
- широкая область изменений значений разнообразных дестабилизирующих факторов, ограниченность информации о закономерностях случайных процессов;
- одновременное использование разнородной информации: значений параметров, допустимых интервалов их изменения, статистических законов распределения для отдельных величин, лингвистических критериев и ограничений, полученных от специалистов-экспертов и т.д.;
- традиционные методы сбора, обработки, передачи, накопления и регистрации информации, необходимой для оперативного управления процессом контроля, не позволяют оперативно управлять производством, эксплуатацией, техническим обслуживанием и ремонтом БАСУ, что ведет к значительным временным потерям;
- статистические данные по отказам, дефектам и повреждениям представляют собой малые выборки в связи с единичным характером производства. В силу сложности элементов и их взаимосвязей обрабатываемые величины (наработки, времена восстановления и т.д.) имеют, как правило, неизвестные априори законы распределения;
- сложный процесс определения предотказного состояния системы или ее составных частей на ранних стадиях возникновения дефекта в случае, когда значение контролируемого параметра находится вблизи от границы допустимых значений;
- невысокий уровень автоматизации процессов поиска и локализации скрытых дефектов, контроля запаса работоспособности;
- ключевым источником наиболее достоверной информации в процессе контроля при наличии неопределенности в результатах проверок и выборе возможных альтернативных решений являются высококвалифицированные специалисты. Эта информация включает многолетний опыт эксплуатации и важные сведения о данной области знаний. В большинстве случаев она носит качественный характер и поэтому содержит понятия естественного языка, трудно выражаемые количественными отношениями;

- обучение персонала, осуществляющего диагностирование систем, является трудным и дорогостоящим процессом. Возможности использования высококвалифицированных экспертов ограничены.



Рисунок 1.2 - Основные факторы внешних воздействий на БАСУ в процессе ее испытаний

Большое число элементов БАСУ, имеющей длительный срок службы, подвержено дестабилизирующему воздействию различного рода факторов. Изменения, происходящие в изделии в течение времени и приводящие к возможной потере его работоспособности, связаны с внешними и внутренними воздействиями на него. Такие воздействия факторов приводят к ухудшению начальных параметров элементов и изделия в целом, и в конечном итоге могут привести к отказу. Успех проектирования технологии приемочного контроля во многом зависит от правильной оценки ожидаемых последствий воздействия дестабилизирующих факторов.

Таким образом, для формирования круга задач, разработки алгоритмов, методов и технических средств, при проектировании технологии приемочного контроля БАСУ, необходимо рассмотреть всю совокупность потенциально возможных дестабилизирующих факторов, влияющих на качество функционирования и запас работоспособности изделия.

1.2 Анализ предпосылок разработки новой технологии приемочного контроля

1.2.1 Классификация дестабилизирующих факторов, типичных отказов и причинно-следственная диаграмма источников дефектов БАСУ в процессе изготовления

Под дестабилизирующим фактором подразумевается такое явление (процесс или среда), которое в процессе изготовления изделия оказывает на него вредные воздействия, вызывая отклонения его технических характеристик и следствием которого может быть существенное снижение качества функционирования изделия или потеря работоспособного состояния. Комплексное изучение разнообразных факторов необходимо, поскольку без знания физической природы возможного появления отказов затруднительно выбрать наиболее рациональные пути

совершенствования существующей технологии контроля, ориентированной на сложную приборную аппаратуру с ограниченным ресурсом [95, 96]. В связи с этим в теории и практике контроля надежности уделяется большое внимание решению следующего комплекса задач по выявлению, анализу и учету дестабилизирующих факторов:

- выявление совокупности наиболее существенных факторов, влияющих на снижение показателей надежности изделия;
- анализ каждого фактора и получение его характеристики;
- учет факторов при разработке математических моделей и методов идентификации технического состояния изделия;
- разработка специальных организационно-технических мероприятий по их устранению или уменьшению их влияния на надежность изделия.

Систематизация дестабилизирующих факторов по разнообразным классификационным признакам, влияющих на качество функционирования БАСУ приведены на рисунке 1.3.

На примере типового технологического маршрута производства изделия и его составных частей в приложении А рассмотрены факторы, определяющие наличие дефектов и сами дефекты, возникающие в процессе изготовления.

При анализе надежности изделия, разработке мероприятий по предупреждению и повторяемости отказов классификация отказов изделия позволяет выявить причины отказов, особенности их поиска, а значит, найти пути повышения надежности. Отказы в БАСУ можно классифицировать по самым различным признакам (на основе РД50-699-90), при этом разделение будет достаточно условным, так как сами признаки не могут иметь четких границ, а один и тот же дефект может иметь сразу несколько признаков. В приложении Б приведена классификация типичных отказов БАСУ по основным признакам.

С целью графического отображения взаимосвязи между решаемой проблемой (предупреждению несоответствий продукции установленным требованиям) и причинами, имеющими место в практике предприятия и влияющими на ее возникновение, была построена причинно-следственная диаграмма Исикавы.

Такая диаграмма позволяет отобразить ключевые параметры процессов, влияющие на характеристики изделий, установить множество потенциальных причин возникновения проблемных ситуаций или факторов, влияющих на возникновение дефектов в изделии, и структурировать их по смысловому и причинно-следственному признаку. Такое средство визуализации и структурирования знаний значительно упрощает понимание и диагностику проблем и процессов, оказывающих наибольший эффект на качество изделия и поддающихся управлению.



Рисунок 1.3 - Классификация дестабилизирующих факторов, влияющих на качество функционирования БАСУ

Диаграмма причинно-следственного анализа источников дефектов БАСУ на стадии производства представлена на рисунке 1.4. Факторы, прямо или косвенно влияющие на наличие дефектов в БАСУ в процессе изготовления, изображены наклонными стрелками, причем существенные факторы (причины первого порядка) – наклонными длинными стрелками, менее существенные факторы (причины второго и третьего порядков) – наклонными короткими стрелками.

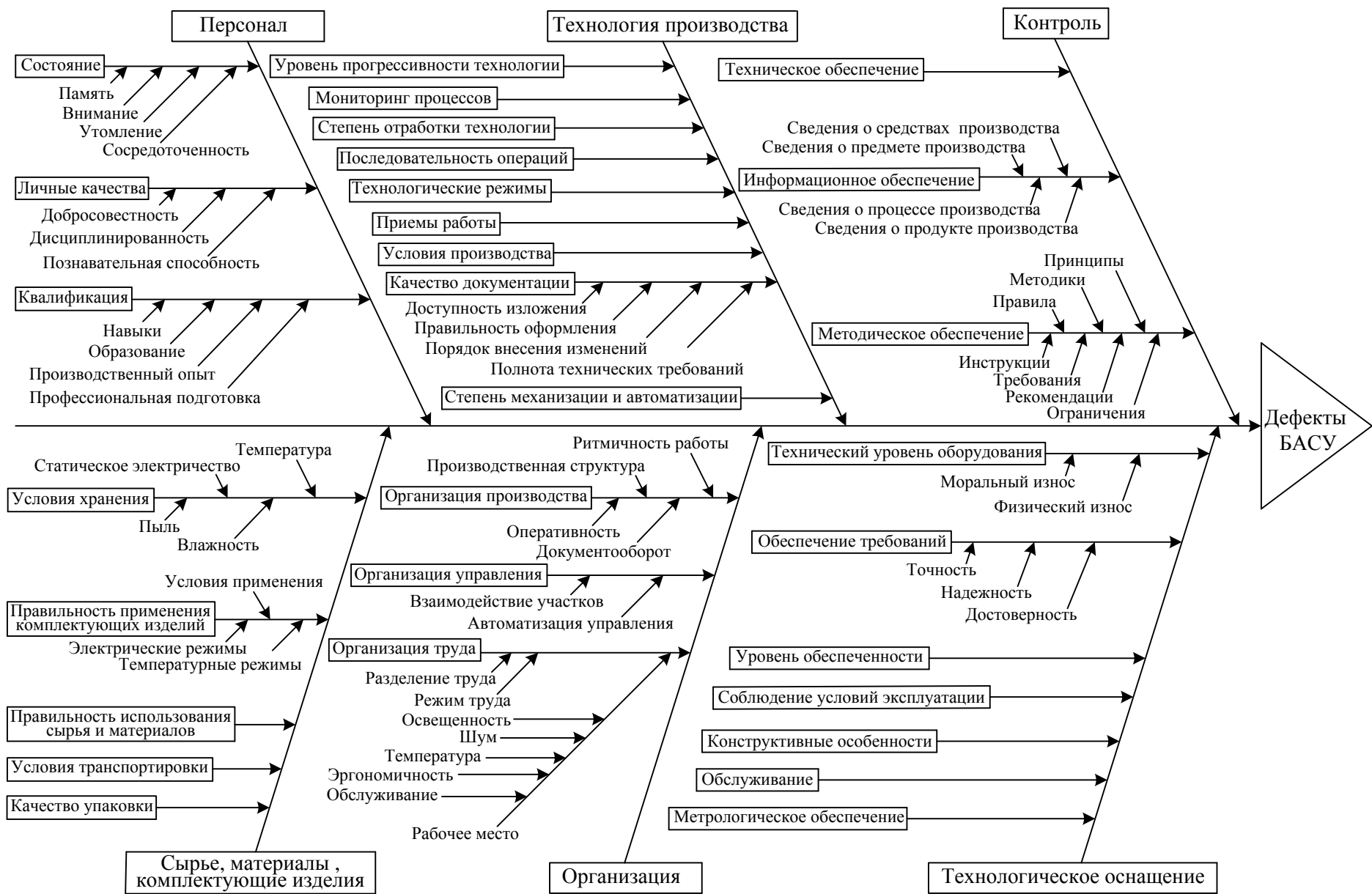


Рисунок 1.4 - Диаграмма причинно-следственного анализа (Исикавы) источников дефектов БАСУ

Анализ воздействий дестабилизирующих факторов в процессе изготовления БАСУ и результатов такого рода воздействий показал следующее:

- наличие большого многообразия факторов различного характера. Крайне нежелательными являются факторы, приводящие к изменению физических и химических свойств материалов (ускорению коррозии металлов, разрушению изоляции проводов и кабелей и т.д.), электрических и магнитных параметров комплектующих элементов (ускорению протекания процессов старения, которые не принимают лавинообразный характер);
- возможность наличия разнообразных повреждений, дефектов и видов отказа изделия;
- наличие трудно распознаваемых повреждений и дефектов, имеющих скрытый и критический характер, поскольку существенно влияют на долговечность изделия и делают практически невозможным и недопустимым использование продукции по назначению. К таким дефектам можно отнести, во-первых, «холодные пайки», нарушающие целостность электрической цепи при изменении температуры. Во-вторых, наличие «лишних» связей, перемычек; наводки в цепях питания, заземления и сигнальных цепях, вследствие наличия паразитных емкостных, индуктивных связей, а также связей через общее сопротивление. В – третьих, нестабильность работы комплектующих элементов, связанная с дестабилизацией процесса естественного старения;
- приработка изделия, осуществляемая в виде технологического прогона, имеет ограничение по времени проведения, связанное с ограниченным ресурсом изделия, и не позволяет выявить все разнообразие скрытых дефектов;
- наличие существенных недостатков в системе контроля, препятствующих своевременному выявлению такого рода повреждений и дефектов, требует разработки мероприятий, направленных на предупреждение и парирование потенциальных отказов;
- наличие внешних по отношению к предприятию-изготовителю факторов;
- необходимость более подробного рассмотрения причин, влияющих на технический ресурс БАСУ в рамках ЖЦ изделия. При этом должны быть учтены: вся совокупность потенциально возможных дестабилизирующих факторов и все механизмы обеспечения качества изделия в рамках его ЖЦ.

Следует заметить, что выработка ресурса комплектующих радиоэлементов, материалов и составных частей БАСУ происходит с момента начала эксплуатации, т.е. в процессе изготовления. Таким образом, можно сделать вывод о том, что в процессе изготовления изделия под воздействием различных факторов происходит с разной степенью интенсивности уменьшение ресурса комплектующих радиоэлементов, материалов и составных частей БАСУ.

1.2.2 Роль, сущность и особенности приемочного контроля БАСУ в действующем производстве

Приемочный контроль входит в систему технического контроля, которая является неотъемлемой частью технологического процесса производства продукции [35]. Приемочный контроль является одним из важнейших и завершающих этапов производства изделия на котором проверяется соответствие требованиям технической документации тех контролируемых признаков продукции, которые обеспечиваются в процессе изготовления. Основной задачей приемочного контроля является получение с большей достоверностью оценки качества изделия, предъявляемого на контроль. Это означает:

- своевременное и полное определение фактических параметров технического состояния;
- регистрация сведений об изделии (технические данные, индивидуальные особенности и т.д.) в формуляре на изделие и протоколе испытаний;
- установление степени соответствия качества изделия установленным требованиям технических условий (ТУ) и конструкторской документации (КД);
- недопущение передачи аппаратуры (с ограниченным ресурсом и критической по последствиям отказов) в эксплуатацию, если установлено не соответствие хотя бы одному требованию ТУ, т.е. не обеспечивается высокий уровень безотказности на протяжении времени использования по назначению;
- оформление перечня замечаний с изложением причин возврата изделия, не выдержавшего испытания, для выявления причин несоответствия требованиям ТУ и КД на изделие, проведения мероприятий по их устранению, определения возможности исправления брака и повторного предъявления.

Решение указанных задач важно не только с позиции проведения приемочного контроля БАСУ, но и для информационной поддержки принятия решений:

- при приемочном контроле ЛА в целом;
- при выполнении регламентных проверок технического состояния и предстартового контроля;
- при отработке изделия на технологичность и технологических процессов в целях обеспечения качества (надежности) оборонной продукции;
- при формировании обменного фонда для восстановления изделий в процессе гарантийного обслуживания и пополнения комплектов запасного имущества приборов эксплуатирующих организаций, израсходованного при гарантийном обслуживании и т.д.

Приемочный контроль БАСУ проводится в соответствии с требованиями, установленными в ТУ и договорах (контрактах) на поставку представителем заказчика (ПЗ) на предприятии-изготовителе силами и средствами предприятия-изготовителя в следующих случаях:

- при изготовлении изделий;

- при восстановлении изделий, вышедших из строя в эксплуатирующих организациях;
- при выполнении доработок по введенным в действие бюллетеням, совместным решениям и мероприятиям по устранению конструкционных и производственных дефектов изделий, а также с целью их модернизации.

В соответствии с ГОСТ 15.309-98 «Система разработки и постановки продукции на производство. Испытания и приемка выпускаемой продукции. Основные положения» и учетом специфики выполняемых работ приемочный контроль на действующем предприятии совмещен с проведением приемо-сдаточных испытаний в один общий этап и проводится в полном объеме и последовательности, которые установлены в ТУ и программе испытаний. Согласно ГОСТ 16504-81 «Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения» приемо-сдаточные испытания – контрольные испытания продукции при приемочном контроле. В соответствии с принятым вариантом проведения приемки изделие предъявляют одним общим предъявительским документом на приемку и приемо-сдаточные испытания.

Организационно-технологическая схема существующей технологии приемочного контроля БАСУ приведена на рисунке 1.5, где ОКК – отдел контроля качества, СР – сектор радиоэлектроники, РСУ – регулировочно-сдаточный участок, СУ – сборочный участок, ОМ – отдел метрологии, ОБ – отдел безопасности, СЭ – служба эксплуатации, УУ – участок упаковки, ТРЗ – технический руководитель заказа; черный кружок – взаимодействие, пунктирная стрелка - согласование.

Существующая линейно-функциональная структура управления процессом приемочного контроля не учитывает специфику объекта контроля и имеет серьезные недостатки. Такая форма управления процессом не позволяет объединить ведущих специалистов для совместной работы, не дает возможность большей координации связей между исполнителями, не обеспечивает четкое распределение обязанностей и ответственности между исполнителями и различными функциональными подразделениями предприятия. Фактически отсутствует обеспечение требований ГОСТ Р ИСО 9003-96 «Системы качества. Модель обеспечения качества при окончательном контроле и испытаниях».

Для проведения приемочного контроля БАСУ в ТУ и КД установлены виды проверок и контрольных испытаний, последовательность их проведения, контролируемые параметры (показатели) и нормы на них. В приложении В приведено достаточно подробное описание содержания операций приемочного контроля БАСУ.



Рисунок 1.5 - Организационно-технологическая схема существующей технологии приемочного контроля БАСУ

Согласно ТУ приемочный контроль проводится в следующей последовательности:

1. Предварительный контроль:

- проверка сопроводительных документов, предъявленных представителем ОКК на приемку изделия;
- проверка выполнения требований к обеспечению информационной безопасности;
- проверка выполнения требований к производственному помещению и рабочим местам, безопасности труда, санитарно-гигиеническому режиму работы, по защите окружающей среды;
- проверка выполнения требований к метрологическому обеспечению;
- проверка параметров охлаждающего воздуха, подаваемого в изделие;
- внешний осмотр составных частей изделия;

- проверка выполнения требований по защите от статического электричества;
- проверка правильности сборки изделия и подключения составных частей друг к другу;
- проверка правильности подключения изделия к стенду;

2. Приемо-сдаточные испытания:

- проверка правильности применения составных частей и комплектности изделия;
- проверка массы;
- проверка сопротивления цепей заземления;
- проверка сопротивления изоляции электрических цепей питания;
- проверка потребляемого тока;
- параметрический контроль изделия;
- параметрический контроль изделия при изменении напряжения питания;

3. Проверка показателей надежности;

4. Проверка правильности выполнения консервации и упаковки;

5. Оформление документов, удостоверяющих приемку изделия.

Практика проведения приемочного контроля БАСУ свидетельствует о серьезных недостатках, связанных с сокращением технического ресурса изделия, при параметрическом контроле. Следовательно, необходимо рассмотреть более подробно процесс параметрического контроля БАСУ и причины, приводящие к расходованию технического ресурса изделия.

При проведении автоматизированного параметрического контроля БАСУ производится контроль параметров отдельных устройств и комплексных параметров, характеризующих функционирование отдельных устройств в рабочих режимах, с использованием комплекса контрольно-проверочной аппаратуры (ККПА). Контрольно-проверочная аппаратура (КПА), входящая в состав ККПА представляет собой автоматизированную многопроцессорную контрольно-измерительную систему, построенную на базе специализированных промышленных компьютеров, осуществляющих управление процессом контроля – выдачей в объект контроля стимулирующих воздействий и анализом принимаемой информации, содержащей ответную реакцию. Состояние объекта контролируется по большому количеству параметров, которые сформированы в некоторую совокупность проверок. Алгоритм контроля состоит из определенной совокупности элементарных проверок, а также правил, устанавливающих последовательность реализации элементарных проверок, и правил анализа результатов последних. Каждая проверка состоит из определенного количества проверяемых параметров. Численные значения измеренных параметров в зависимости от попадания в интервал допустимых значений получают лингвистическую оценку "годен" или "не годен". Если хотя бы один из параметров элементарной проверки получил оценку "не годен", то

результату проверки присваивается лингвистическая оценка "не в норме", а состояние изделия признается неработоспособным.

Результаты приемочного контроля изделия считаются отрицательными, а изделие не выдержавшим испытаний, если установлено несоответствие изделия хотя бы одному требованию ТУ для данной категории испытаний. При обнаружении такого несоответствия БАСУ возвращается представителем ПЗ ОКК предприятия-изготовителя (с изложением в извещении причин возврата) для выявления причин несоответствия требованиям ТУ, их устранения, определения возможности исправления брака и повторного предъявления. При невозможности (нецелесообразности) устранения дефектов БАСУ бракуется окончательно.

Затем ПЗ составляет программу исследования отказа на стадии приемки заказчика, содержащую мероприятия по исследованию отказа, и передает комиссии по исследованию отказа для ее утверждения.

Согласно полученной и утвержденной комиссией программы исследования отказа, производственные участки проводят работы по восстановлению дефектного изделия. Если устранение отказа произведено путем замены составной части, то неисправная составная часть исследуется до выяснения причин отказа. Срок исследования отказа не должен превышать 20 дней, однако по согласованию с ПЗ срок исследования может быть увеличен. Окончанием исследования отказа является составление протокола результатов исследования отказа по установленной форме, представленной в приложении ТУ. Выявленные дефекты анализируются с участием группы надежности, а результаты анализа мероприятий по устранению и предупреждению выявленных недостатков оформляются документально в виде акта об анализе и устранении дефектов и их причин.

После устранения причин отказа при наличии оформленного протокола результатов исследования отказа, ответа на сообщение о неисправности или ответа на рекламационный акт производится предъявление изделия ОКК. Затем в полном объеме проводятся повторные предъявительские испытания, включающие проведение дополнительного технологического прогона. При положительных их результатах изделие повторно предъявляется ПЗ извещением с надписью «Вторичное». БАСУ, забракованная при двух последовательных предъявлениях, в дальнейшем ПЗ не предъявляют. Принятой считается БАСУ, которая укомплектована, упакована и опломбирована ОКК и представителем ПЗ в соответствии с требованиями настоящих ТУ, и на которую оформлены документы, удостоверяющие ее приемку. Принятая БАСУ подлежит отгрузке или сдается на ответственное хранение предприятию-изготовителю.

Рассмотрим основные недостатки приемочного контроля, приводящие к нецелевому исчерпанию технического ресурса изделия.

После обнаружения отказа БАСУ дальнейшая локализация дефектов производится с использованием руководства по эксплуатации изделия по таблице, где приведен перечень возможных дефектов в процессе эксплуатации и рекомендации по действиям при их возникновении. Выявленную неисправную составную часть изделия демонтируют из БАСУ. Последующий контроль и диагностирование выполняют на отдельном, специализированном для этой составной части стенде контроля и диагностики в целях локализации дефектов.

К сожалению, при некоторых комбинациях результатов тестовых проверок отказ (неисправная составная часть) может быть неразличим вследствие недостаточной разрешающей способности средств и методов контроля и диагностирования БАСУ. Это обстоятельство приводит к ситуации неопределенности в оценке результатов параметрического контроля и выборе последовательности действий для поиска неисправной составной части. В основе принятия решений при возникновении таких ситуаций лежит процедура выбора одного из возможных вариантов решений или действий. Формально сущность задачи выбора можно записать в виде: $\{X, V\} \rightarrow X^*$, где X – исходное множество возможных решений (альтернатив), V – принцип выбора (правило предпочтения), X^* – выбранная альтернатива (может быть не одна). В каждом конкретном случае альтернативы X и правило предпочтения V , а также алгоритм решения в принципе могут быть изначально известны или не известны, но в подавляющем большинстве задач какие-то элементы являются неизвестными [63]. Неудачный выбор альтернативы приводит к необоснованному расходованию технического ресурса исправной составной части БАСУ при дополнительных контрольных испытаниях в процессе поиска дефектов.

Наличие неопределенностей, при контроле и диагностировании БАСУ, определяется следующими ее свойствами и характеристиками:

- невозможностью полного описания исследуемых процессов;
- неполнотой контроля, связанной с наличием параметров недоступных для непосредственного измерения;
- наличием в ее составе блоков и систем, для которых объем статистических данных о распределении вероятностей отказов недостаточен или отсутствует (например, при создании новой системы). Трудность сбора статистических данных о надежности бортового оборудования, объясняемая ограниченным числом объектов и высокой стоимостью испытаний на надежность, также усложняет принятие решений при определении технического состояния системы;
- недостаточностью объема априорной информации о надежности элементной базы, поставляемой без подробной технической документации и без детальной проработки вопросов электромагнитной совместимости;

- неточностью измерительной аппаратуры;
- погрешностью задания допусков на контролируемые параметры;
- наличием погрешности косвенных измерений, когда контролируемая величина рассчитывается с помощью определенных формул;
- заменой фактических характеристик электронных компонентов паспортными данными;
- влиянием внешних факторов (излучение, температура, влажность, механические воздействия и т.д.), которое изменяет значения параметров БАСУ. Вероятностные характеристики неопределенных факторов редко бывают точно известными на практике. Под воздействием указанных дестабилизирующих факторов свойства интегральных и дискретных элементов изменяются по-разному.

Классификация неопределенностей различной степени и характера, называемых для краткости НЕ-факторами, приведена на рисунке 1.6.



Рисунок 1.6 - Классификация неопределенностей (НЕ-факторов) при контроле и диагностировании БАСУ по источнику их происхождения

Другим недостатком существующей технологии параметрического контроля изделия является принцип оценивания результатов измерительного контроля. Работоспособность БАСУ оценивается по критерию принадлежности анализируемых измеренных значений параметров соответствующим полям допусков. Это обстоятельство не позволяет выявлять факты

предрасположенности к неустойчивости работоспособного состояния (приближения значений параметров к границам полей допусков) и приводит к уменьшению фактического значения наработки на отказ. Например, если значение (4,99В) критического по отношению к отказу параметра находится вблизи у границы допуска (5В), то по существующим нормативным документам система признается исправной. Однако, учитывая сложные условия эксплуатации и другие факторы, запас работоспособности по данному параметру явно недостаточен и требует проведения упреждающих мероприятий по его увеличению, для обеспечения приемлемого риска потребителя.

В рассмотренных выше случаях источником наиболее достоверной информации являются разработчики и высококвалифицированные специалисты, которые на основании своего опыта, интуиции и эвристических правил предлагают вариант оптимизации процесса диагностирования, а также отмечают по распечаткам результатов контроля недопустимую близость значений критических параметров к границам полей допусков.

Третьим недостатком является отсутствие средств и методов параметрического контроля изделия, позволяющих решать задачу своевременного обнаружения наличия, направления и скорости перемещения значений параметров в области допустимых значений к ее границе на основе результатов параметрического контроля, полученных в ходе предъявительских испытаний, проведения технологического прогона и приемочного контроля. Такое anomальное поведение параметров связано с нестабильностью работы комплектующих электрорадиоэлементов вследствие их внутренних изменений в результате воздействия дестабилизирующих факторов. Это означает большую трудность в выявлении скрытых дефектов.

Четвертым недостатком является отсутствие эффективных механизмов и средств, позволяющих производить сбор, накопление, обработку, анализ, хранение и обмен диагностической информацией в электронном виде между участниками ЖЦ изделия. Эти операции являются неавтоматизированными и оказывают существенное влияние на своевременность и достоверность принимаемых решений. Таким образом, отсутствует механизм, помогающий принимать своевременные и обоснованные решения на стадии приемки, направленные на предупреждение потенциальных отказов для предотвращения нештатных и аварийных ситуаций в условиях эксплуатации.

Пятый недостаток связан с последовательностью проведения приемки, предусматривающей самоконтроль КПА только в случае получения отрицательных результатов параметрического контроля изделия, для подтверждения отсутствия взаимосвязи полученного результата с техническим состоянием КПА. К сожалению, практика показывает, что в процессе параметрического контроля причиной неудовлетворительных результатов может оказаться

неисправное состояние КПА. Таким образом, отсутствие операции самоконтроля КПА непосредственно перед параметрическим контролем БАСУ приводит к бесполезному расходованию ресурса изделия.

Следует отметить, что на сокращение ресурса также влияют дестабилизирующие факторы, связанные с работой персонала. Например, невыполнение требований к защите от статического электричества, плохое заземление и т.д. могут привести к скрытым повреждениям, которые вызывают некоторые изменения начальных параметров, иногда не выходящие за рамки допустимых отклонений. Эти повреждения обнаружить труднее всего, так как зачастую они проявляются лишь в результате повторяющихся разрядов или уже в процессе эксплуатации. Скрытые дефекты, вызванные такого рода повреждениями, могут проявиться не сразу после воздействия разряда, а спустя месяцы или годы.

В приложении Г приведена схема, показывающая механизм сокращения технического ресурса (наработки на отказ) БАСУ в процессе приемочного контроля.

Таким образом, анализ существующей технологии приемочного контроля БАСУ показал ряд ее существенных недостатков, влияющих на достоверность параметрического контроля изделия и фактические показатели его надежности. Выявлена недостаточность контрольных операций и отсутствие необходимых технических средств их проведения, повышающих качество и объективность контроля и снижающих расходование технического ресурса изделия и трудозатраты на контрольных и диагностических операциях. При формировании круга решаемых задач новой технологии необходимо дополнительно рассмотреть внешние по отношению к предприятию-изготовителю факторы, влияющие на обеспечение и поддержание на заданном уровне качества процесса создания изделия в рамках его ЖЦ.

1.2.3 Систематизация факторов, влияющих на обеспечение и поддержание на заданном уровне качества процесса приемочного контроля в рамках ЖЦ изделия

Стабильный уровень качества изготавливаемой БАСУ, процессов технологической подготовки приемочного контроля (ТППК) и проведения приемочного контроля существенно зависит от многочисленных взаимосвязанных видов деятельности на различных стадиях ЖЦ изделия, в том числе от проведения организационно-технических мероприятий по обеспечению качества изделия и результативности технологических процессов. На рисунке 1.7 приведена систематизация основных недостатков существующей технологии приемочного контроля БАСУ и ее обеспечения с учетом влияния внешних по отношению к предприятию-изготовителю факторов.

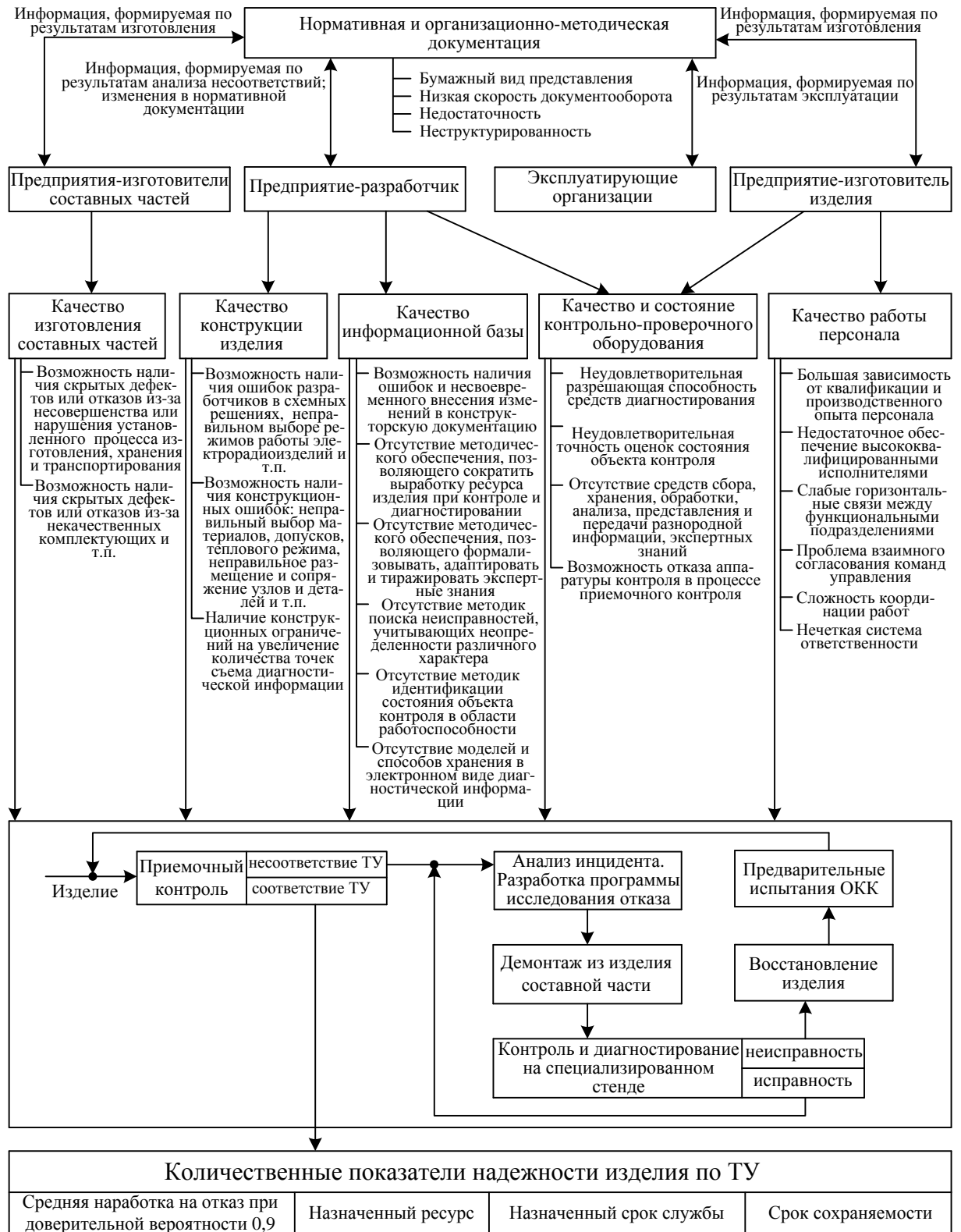


Рисунок 1.7 – Систематизация основных недостатков существующей технологии приемочного контроля БАСУ и ее обеспечения

Как видно из рисунка на результативность процессов ТППК и приемочного контроля большое влияние оказывает качество их информационного сопровождения, т. е. обеспечения данных процессов необходимой информацией, а также, средствами поиска, получения,

хранения, накопления, передачи и обработки информации. Структура такого рода информации в существующем информационном обмене в рамках ЖЦ изделия приведена в приложении Д.

Характеризуя современное состояние информационного сопровождения ТППК необходимо отметить следующие основные особенности, влияющие на эффективность процесса проектирования. Сложившаяся на предприятиях всех участников ЖЦ БАСУ (заказчиков, разработчиков, поставщиков, производителей, эксплуатирующих организаций) система обеспечивает информационными технологиями лишь отдельные этапы стадий ЖЦ изделия. На предприятиях всех участников ЖЦ изделия используются самые различные программные средства, зачастую не совместимые между собой по форматам данных. Одновременно находятся в изготовлении изделия, спроектированные как традиционным способом (чертежи), так и с помощью различных САД-систем. Разработка маршрутно-операционных технологических процессов осуществляется вручную или с использованием отечественных систем автоматизированного проектирования технологических процессов. Создается, обрабатывается и хранится большое количество конструкторских, технологических и других документов, содержащих важные технические сведения, необходимые при ТППК. Эти документы в электронном и бумажном виде представляют собой огромный информационный массив, и эффективность технологического проектирования во многом зависит от скорости поиска, обработки и возможности одновременной работы с ними всех сотрудников, имеющих к ним доступ. Отсутствие единых стандартов хранения данных, отличие их от общемировых приводит к сдерживанию процессов интеграции информационных потоков как между различными участниками ЖЦ изделия, так и между функциональными подразделениями предприятия-изготовителя.

Невысокий уровень автоматизации информационного процесса снижает качество ТППК, поскольку зачастую отсутствует текущая информация как от участников ЖЦ изделия (изменения в КД, связанные с ошибками в конструкции или доработкой изделия; результаты анализа отказов и причин их возникновения; рекомендации или решения по устранению выявленных на различных стадиях ЖЦ отклонений и несоответствий и т.д.), так и внутри предприятия (информация о ходе производства, состоянии оборудования, инструмента, технологической оснастки, данные контроля качества продукции). Нет возможности оперативно корректировать технологический процесс при возникновении инцидентов и возможных отклонений, а также нет возможности влиять на качество выпускаемой продукции.

Таким образом, существует необходимость повышения эффективности использования информации об изделии, процессах и ресурсах при проведении ТППК и приемочного контроля за счет более глубокой автоматизации информационного обеспечения для проведения таких работ.

1.3 Тенденции и перспективы развития систем контроля и диагностирования сложных объектов

Теоретические основы выполнения приёмочного контроля сложились к концу 80-х годов прошлого столетия и с тех пор вопросы технологического проектирования приемочного контроля сложных ответственных изделий практически не изменились. Теоретические исследования велись на уровне типовой структуры контроля, и разработок более сложных структур практически не было. В теории приемочного контроля сложных объектов идеи системного анализа до настоящего времени не нашли своего должного применения. Диагностика процессов изготовления сложной наукоемкой продукции, в наибольшей степени оказывающих влияние на качество (уровень надежности и безопасности функционирования) изделий, разработка мероприятий по устранению выявленных причин возникновения несоответствий продукции установленным требованиям, согласование технологических процессов с требованиями к другим процессам ЖЦ изделия, являются достаточно сложными задачами. Данные обстоятельства требуют использования системного подхода к исследованию этих процессов, проектированию приемочного контроля и построению более эффективной модели производственного объекта. С позиций системного подхода технологический процесс приемочного контроля - это сложная динамическая система, в которой в единый комплекс объединены объект, процесс, технические средства контроля и исполнители, выполняющие в регламентированных условиях производства заданные технологические операции. Системный подход предполагает решение системных задач анализа и синтеза, в которых объектом исследования является ТСПК. В соответствии с ГОСТ 27.004-85 «Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения» технологическая система представляет собой совокупность взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций.

Технологическое проектирование ТСПК должно осуществляться с учетом характеристик технологического процесса изготовления, контроля, испытания и восстановления изделия с обеспечением необходимой взаимосвязи и взаимодействия между ними. Изучение взаимодействия ТСПК с внешней средой, сложных информационных связей между элементами структуры иерархической системы "проектирование – производство – эксплуатация", функционирования в условиях воздействия большого разнообразия внешних и внутренних факторов, в том числе малоизученных и количественно трудноописываемых, и т.д. позволяет вскрыть ранее не просматривавшиеся свойства приемочного контроля и получить системный эффект.

Основными задачами, требующими решения на современном этапе развития теории и практики приемочного контроля рассматриваемого вида аппаратуры на примере БАСУ, входящих в состав ЛА одноразового использования, являются:

- максимальное исключение человеческого фактора из процесса принятия решений при проведении всех видов контрольных мероприятий;
- сокращение выработки ресурса объекта при проведении контроля и диагностирования в процессе изготовления, путем минимизации времени нахождения изделия во включенном состоянии;
- повышение объективности и достоверности принимаемых решений при наличии неопределенностей в результатах контроля и ограниченного времени на анализ проблемных ситуаций;
- повышение точности оценок технического состояния изделия на основе качественно новых моделей, алгоритмов обработки результатов измерений и контроля, решающих правил распознавания с целью своевременного выявления технического состояния изделия, приводящего к отказам.

Решение такого рода задач в рамках традиционных подходов вызывает непреодолимые трудности, связанные с необходимостью учета неопределенности исходной информации. В большинстве задач известна лишь часть их элементов и связей между ними из-за сложности или невозможности оценки ряда параметров и показателей. Возможность применения опытно-статистических методов для определения законов распределения случайных переменных, описывающих состояние объекта или процесса контроля, требует получение достаточно большого объема экспериментальных данных, обеспечивающих приемлемую точность результатов. Данное обстоятельство, в свою очередь, связано с большими материальными и временными затратами и диктует необходимость поиска таких методов, которые позволяют использовать имеющийся статистический материал, как большого, так и малого объема.

Информация о состоянии объекта моделирования имеет не только количественное выражение, но и качественный характер в виде интуитивных, приближенных оценок и эмпирических правил. Необходимость формализации многих качественных рекомендаций по описанию ситуаций в исследуемой проблемной области, нечеткой информации, получаемой от высококвалифицированных специалистов в виде суждений о функционировании объекта и учитывающей их предпочтения в процессе выбора решений, требует применения новых подходов к решению таких задач. Существующее противоречие между развитием методов решения формализованных задач и все большего появления трудноформализуемых, требует поддержки их решения средствами интеллектуальных технологий.

В настоящее время одним из основных направлений комплексной автоматизации систем контроля и диагностирования сложных технических объектов является совершенствование процессов обработки полученной информации с привлечением новых методов интеллектуального анализа данных и использование достижений информационных технологий в процессе принятия решений. Современное развитие технических и программных средств создают условия для разработки и внедрения ИСППР, в рамках которых возможно использование эффективных методов решения слабоструктурированных и трудноформализуемых задач контроля и диагностирования [80]. В этой связи большую теоретическую и практическую значимость приобретает разработка ИСППР приемочного контроля БАСУ. Такого рода система позволит обеспечить лицо, принимающее решение (ЛПР), инструментом для выполнения сбора и хранения необходимой разнородной информации из различных источников данных, ее преобразование, обработку, поиск, формирование и визуально-графическое предоставление в удобном для анализа и принятия решений виде. Исследования и разработки по созданию таких перспективных систем связаны с проблемой, актуальной в области искусственного интеллекта, формального представления знаний высококвалифицированных специалистов, моделирования их рассуждений в процессе контроля и диагностирования. Существенный вклад в изучение проблем проектирования интеллектуальных систем, технологии принятия решений в различных прикладных аспектах, представления знаний и автоматизации рассуждений на знаниях внесли Поспелов Д.А., Геловани В.А., Гаскаров Д.В., Еремеев А.П., Карпов Л.Е., Сиротин А.В., Терехов В.А., Тулупьев А.Л. и др.

Однако вопрос применения известных методов в задачах синтеза сложных систем не считается изученной областью. Анализ опубликованных работ показывает, что существующие модели и алгоритмы не всегда могут быть непосредственно применены для организации интеллектуальной поддержки приемочного контроля изделий типа БАСУ, так как не учитывают специфические свойства и особенности их контроля и диагностирования. Разработка и совершенствование известных эффективных, способных к адаптации, модификации и обучению моделей представления и обработки знаний, учитывающих специфику предметной области, является актуальной научно-технической задачей. Их реализация в ИСППР позволит рационально использовать накопленный объем данных и знаний, автоматизировать процесс принятия решений с использованием этих знаний и существенно повысить качество принимаемых решений и, как следствие, эффективность приемочного контроля.

Еще одним направлением развития систем приемочного контроля является исследование и разработка современных автоматизированных систем сопровождения процессов проектирования и функционирования ТСПК в рамках концепции CALS-технологий.

Теоретические и практические вопросы информационного взаимодействия, построения единого информационного пространства (ЕИП) современного предприятия и внедрения в России CALS-технологий нашли свое отражение в работах Аверкиева А.Б., Левина В.А., Кабанова К.О., Норенкова И.Н., Колчина А.Ф., Зиндера Е.З., Зильбербурга Л.И., Давыдова А.Н., Судова Е.В. и других ученых. В рассматриваемых системах взаимодействие ТСПК с информационной системой предприятия осуществляется с помощью автоматизированного рабочего места (АРМ) пользователя. Внедрение элементов CALS-технологий позволяет существенно повысить качество этих процессов, минимизировать общие затраты и влияние человеческого фактора, повысить конкурентоспособность самого предприятия на внешних рынках военно-технической продукции, удовлетворяя требования международных стандартов.

Таким образом, современные тенденции и перспективы развития систем приемочного контроля связаны с совершенствованием процессов обработки полученной информации с привлечением методов интеллектуального анализа данных и использованием достижений информационных технологий в процессе принятия решений.

1.4 Определение направлений совершенствования и методологической основы проектирования технологического процесса приемочного контроля

Свидетельствуя о несовершенстве существующей технологии приемочного контроля БАСУ, анализ его современного состояния и практика проведения диктуют необходимость расширения круга функциональных задач, повышения уровня интеллектуализации за счет организации интеллектуальной поддержки принятия решений на основе информационных технологий и методов интеллектуального анализа данных. Это позволит:

- повысить достоверность принимаемых решений;
- обеспечить соответствие фактического значения ресурса изделия требованиям технической документации за счет возможности своевременного обмена информацией в рамках ЖЦ изделия при внесении изменений в КД, технологическую документацию (ТД) и эксплуатационную документацию (ЭД);
- сократить расходование ресурса изделия, снизить трудоемкость и временные затраты при контроле и диагностировании в производственном процессе;
- сократить расходование ресурса при устранении последствий пропуска дефектов в сферу эксплуатации из-за ошибочных решений.

Поскольку БАСУ является изделием единичного производства и ККПА интенсивно не используется, то расширение круга функциональных задач приемочного контроля вполне оправдано, поскольку решает важнейшую задачу обеспечения и поддержание на заданном

уровне качества процессов создания и эксплуатации изделия с учетом взаимодействия и взаимовлияния субъектов ЖЦ.

На рисунке 1.8 приведена схема систематизации основных направлений совершенствования технологии приемочного контроля, ориентированной на сохранение заложенного при проектировании технического ресурса изделия.

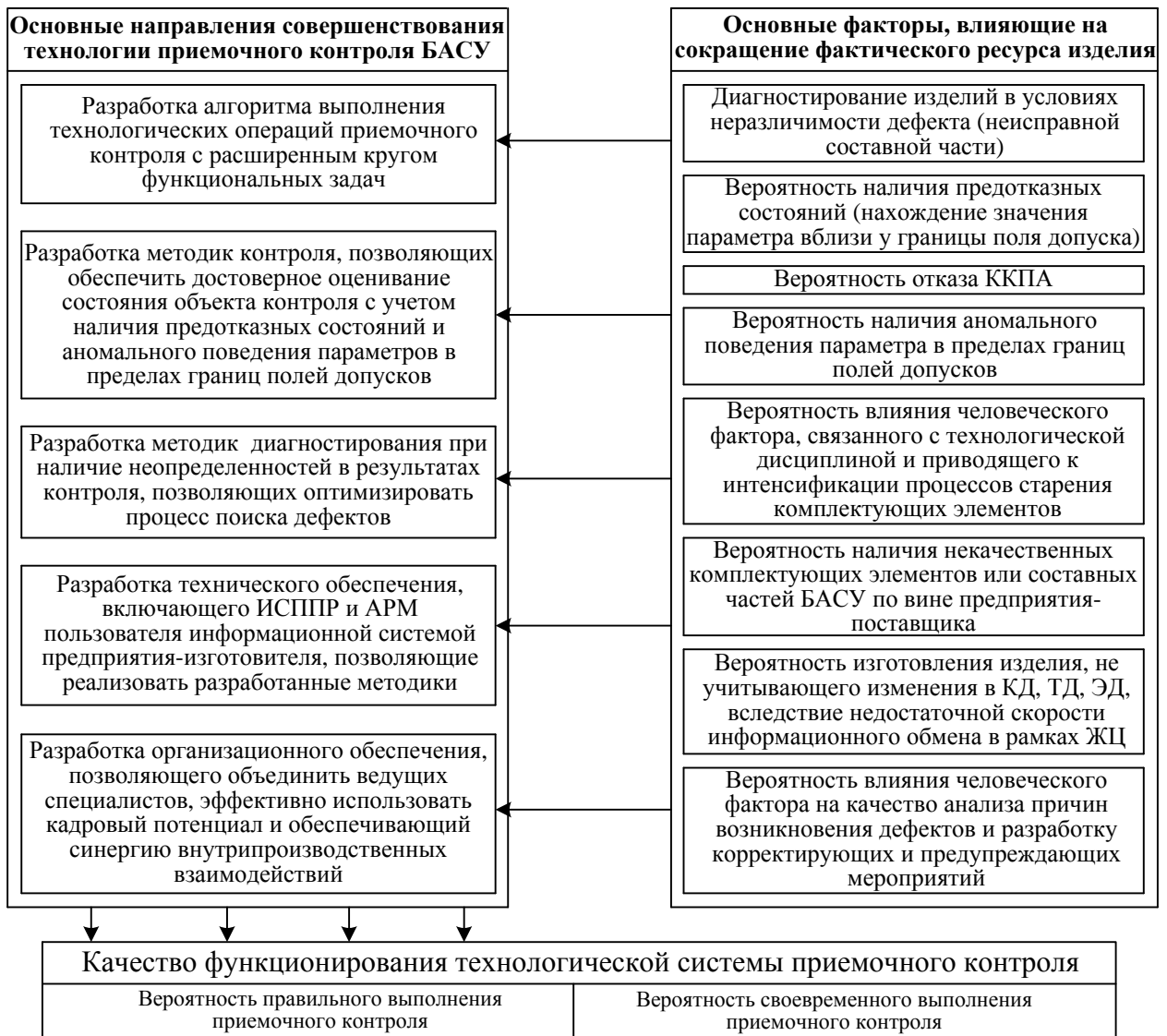


Рисунок 1.8 – Систематизация основных направлений совершенствования технологии приемочного контроля БАСУ

Применение ИСППР и АРМ в структуре ТСПК позволит реализовать комплекс дополнительных задач приемочного контроля с использованием инструментария интеллектуального анализа данных и технологии компьютерного сопровождения и поддержки ЖЦ изделия.

На основании проведенных исследований можно сформулировать следующие требования к приемочному контролю, технологическому проектированию и сопровождению приемочного контроля БАСУ, учитывающие особенности современного производства и специфику изделия:

- технология приемочного контроля должна:

- 1) минимизировать сокращение технического ресурса изделия в процессе изготовления, испытания и ремонта;
- 2) максимально исключить влияние человеческого фактора из процесса принятия решений при проведении всех видов контроля и диагностирования;
- 3) повысить объективность и достоверность принимаемых решений при наличии неопределенностей в результатах контроля и ограниченного времени на анализ проблемных ситуаций;
- 4) повысить точность оценок состояния объекта контроля на основе качественно новых моделей, алгоритмов обработки результатов измерений и контроля, решающих правил распознавания с целью своевременного выявления состояний изделия, приводящих к отказам;

- технологическое проектирование приемочного контроля должно осуществляться с учетом особенностей процессов ЖЦ изделия, обеспечивая необходимые взаимосвязи и взаимодействия между ними;

- при технологическом проектировании приемочного контроля должны обеспечиваться:

- 1) достоверная оценка качества изделия и снижение влияния факторов, приводящих к сокращению технического ресурса изделия;
- 2) снижение трудоемкости и временных затрат при проведении операций контроля и диагностирования в рамках производственного цикла;
- 3) возможное совмещение операций изготовления, испытаний и ремонта с операциями приемочного контроля;
- 4) сбор, хранение, анализ, обобщение и обмен информацией с участниками ЖЦ изделия для решения задач обеспечения требуемого качества изделий и регулирования технологических процессов;
- 5) оптимизация приемочного контроля по разработанным технико-экономическим критериям;
- 6) внедрение прогрессивных технических средств контроля, диагностирования, автоматизации проектирования и обработки информации;
- 7) возможность адаптации проектных решений в процессе функционирования технологической системы приемочного контроля;

- при сопровождении разработки и функционирования приемочного контроля должны обеспечиваться:

- 1) возможность декомпозиции проекта на составные части, разрабатываемые группами исполнителей с последующей интеграцией составных частей. При этом должна быть обеспечена координация процесса разработки и исключено дублирование результатов работ, которое может возникнуть по причине наличия общих данных и функций;

Таким образом, в рамках предложенного методологического подхода к проектированию приемочного контроля БАСУ необходимо провести дальнейшее исследование, направленное на разработку принципов построения ТСПК и методик принятия решений по результатам контроля, учитывающих наличие неопределенностей в результатах проверок.

1.5 Выводы по разделу 1

В результате анализа проблем, связанных с повышением эффективности приемочного контроля сложной приборной аппаратуры с ограниченным ресурсом на примере БАСУ, можно сделать следующие выводы:

- анализ особенностей БАСУ, как объекта приемочного контроля, показал сложность получения достоверной оценки состояния объекта контроля. Качество функционирования изделия существенно зависит от запаса его работоспособности;
- воздействия различного рода дестабилизирующих факторов приводят к сокращению фактических показателей технического ресурса, и, как следствие, к существенному снижению качества функционирования или потере работоспособного состояния;
- существующая технология приемочного контроля БАСУ не обеспечивает гарантированную возможность принятия достоверных решений о соответствии фактических показателей надежности (наработка на отказ, назначенный ресурс) изделия показателям, установленным в ТУ; не позволяет снизить влияние факторов на сокращение технического ресурса;
- современные тенденции и перспективы развития систем приемочного контроля связаны с совершенствованием процессов обработки полученной информации с привлечением методов интеллектуального анализа данных и использованием достижений информационных технологий в процессе принятия решений;
- необходимость совершенствования существующей технологии приемочного контроля путем дополнения круга решаемых ею задач задачами, которые определены и сформулированы в исследовании;
- целесообразность применения в качестве методологической основы проектирования технологического процесса и технического обеспечения приемочного контроля системных принципов, технологий интеллектуальной поддержки принятия решений и информационного сопровождения и поддержки ЖЦ продукции;
- необходимость в рамках предложенного подхода разработать принципы построения ТСПК и разработать методики принятия решений по результатам контроля, учитывающих наличие неопределенностей в результатах проверок.

РАЗДЕЛ 2 РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ТСПК СЛОЖНОЙ ПРИБОРНОЙ АППАРАТУРЫ С ОГРАНИЧЕННЫМ РЕСУРСОМ НА ПРИМЕРЕ БАСУ

2.1 Разработка алгоритма проведения приемочного контроля БАСУ

Технология приемочного контроля изделий представляет собой процесс, использующий совокупность технологических операций, алгоритма его проведения, технических средств, методов получения первичной информации и принятия решений о пригодности изделия к поставкам и (или) использованию с обеспечением необходимой взаимосвязи и взаимодействия в рамках ЖЦ изделия. Поскольку процесс технологического проектирования приемочного контроля имеет ярко выраженный иерархический характер и проходит в условиях, когда не определены все элементы технологии, а сведения об их возможностях и свойствах носят предположительный характер, целесообразно использовать принцип нисходящего (нисходящая декомпозиция) проектирования. Он предполагает первостепенное решение задач более высоких иерархических уровней с последующей детализацией относительно каждой специфической задачи в технологическом процессе, тем самым уменьшая уровень сложности на каждой из последующих стадий разработки.

При выборе объектов, методов и технических средств проведения приемочного контроля БАСУ в работе применяется принцип обеспечения преемственности, в сочетании с максимальным использованием передового отечественного и зарубежного опыта. В качестве основы для дальнейшего развития взят действующий технологический процесс. С учетом сформулированных в первом разделе диссертации направлений совершенствования технологии и принципа алгоритмического моделирования была разработана схема технологического процесса приемочного контроля БАСУ в форме алгоритма. Такое представление задает четко определенную последовательность действий, направленную на получение конечного результата, и обладает положительными свойствами: понятность, детерминированность, дискретность и конечность. Алгоритм представлен в виде блок-схемы (приложение Е). Отличие предложенной технологии приемочного контроля от существующей в настоящее время на предприятии состоит в расширении круга решаемых задач и представлено для наглядности в виде упрощенной схемы сравнения технологических процессов на рисунке 2.1.

Рассмотрим содержание дополнительных операций, появившихся в предлагаемой технологии. Контроль функционирования КПА в режиме самоконтроля, проводимый перед параметрическим контролем изделия позволяет избежать напрасного расходования ресурса изделия в случае неисправного состояния аппаратуры контроля. Контроль функционирования

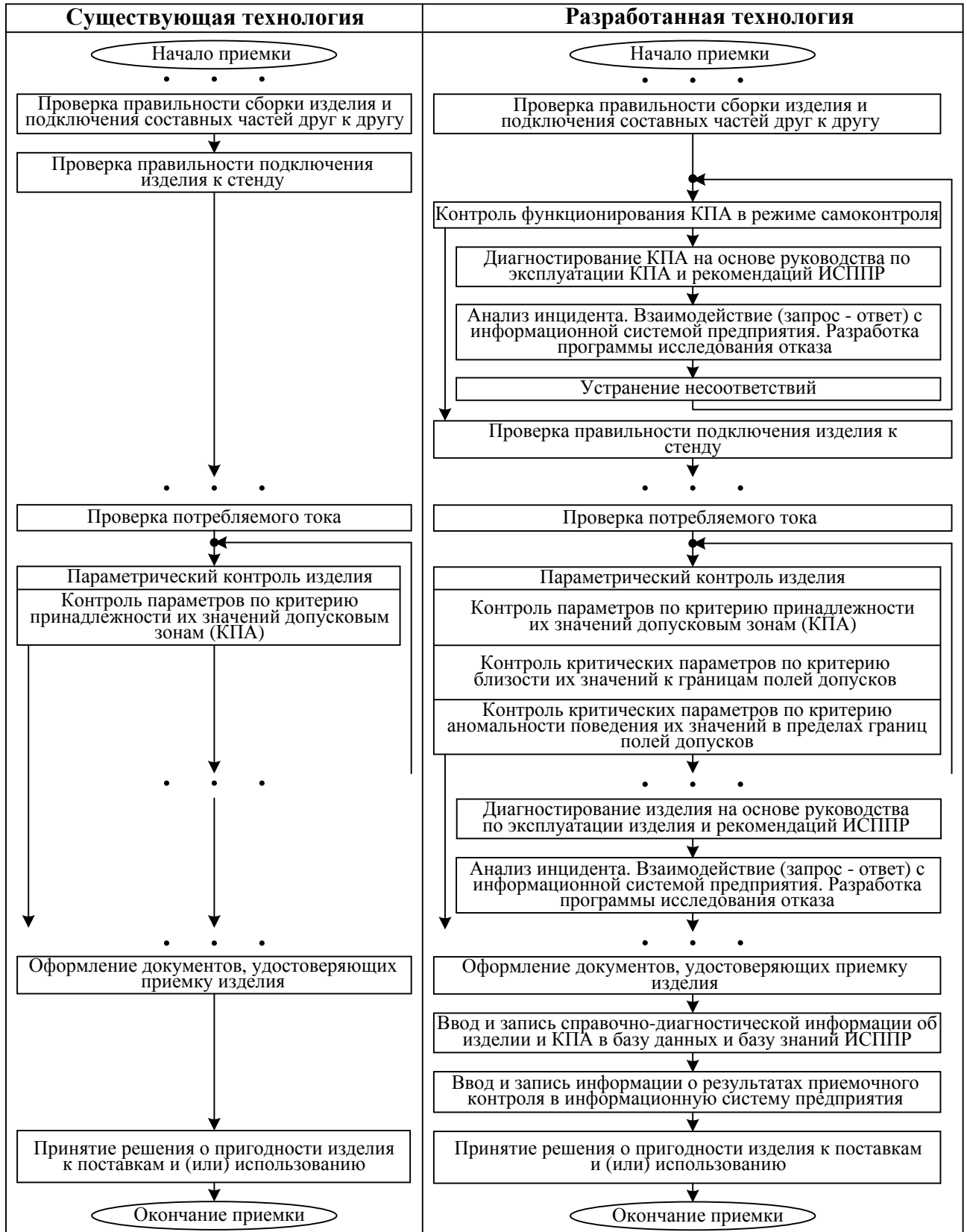


Рисунок 2.1 - Схема сравнения существующего и предложенного технологического процесса приемочного контроля БАСУ

КПА осуществляется в режиме автоматизированного самоконтроля. Самоконтроль проводится в соответствии с "Инструкцией по самоконтролю, отысканию и устранению неисправностей",

"Инструкцией по использованию управляющих органов КПА и вводу информации в КПА", входящих в состав эксплуатационной документации на КПА, и схемой электрической соединений и подключения. По результатам показаний визуальных средств отображения информации и печати контролируются:

- включение и выключение агрегатов питания КПА;
- цепи включения и выключения КПА по органам индикации;
- ввод информации, производимый оператором в соответствии с "Инструкцией по использованию управляющих органов КПА и вводу информации в КПА";
- напряжения по стрелочным приборам;
- оперативная информация о ходе и результатах самоконтроля, отражаемая на экране монитора КПА;
- документирование информации о ходе и результатах самоконтроля на бумажной ленте принтера, ее регистрация и накопление в ИСППР.

В случае получения отрицательного результата самоконтроля необходимо выполнить диагностирование КПА. Данная операция вводится для проведения информационной подготовки процесса принятия решения по восстановлению КПА и включает следующие действия:

- поиск, сбор, обработка и предварительный анализ информации об инциденте (отказе или повреждении КПА под воздействием внутренних или внешних воздействий, нарушившем заданное функционирование аппаратуры контроля);
- выработка предположений (гипотез) возникновения инцидента, формирование полного перечня альтернативных вариантов восстановления КПА и выбор из этого перечня наиболее предпочтительного.

Вначале предусмотрено выявление косвенных диагностических признаков проявления неисправности посредством визуального и органолептического контроля: световых и звуковых сигналов, изменений температуры элементов конструкции, показаний измерительных приборов, повреждений элементов, изоляции, некачественного соединения разъемов и т.д. Далее определяются потенциальные факторы и условия возникновения инцидента, изучаются результаты тестовых проверок, отображаемых на экране монитора КПА и бумажной ленте принтера. Потом на основе "Инструкции по самоконтролю, отысканию и устранению неисправностей" и рекомендаций ИСППР, представленных в виде ранжированного списка возможных дефектов вырабатываются предположения об отказе и его причинах, определяются различные варианты восстановления аппаратуры, из которых предварительно выбираются основные и наиболее предпочтительный вариант управляющих воздействий. Подготовленная информация является исходной для следующей операции, состоящей в содержательном анализе

и принятии решения по восстановлению КПА. Рассмотрение рациональных альтернативных решений происходит с учетом ограничений, которые могут повлиять на их реализацию. В качестве таких ограничений могут выступать:

- наличие необходимых материальных, кадровых и временных ресурсов;
- полнота и достоверность информации о решаемом инциденте;
- уровень полномочий и компетенции технического руководителя заказа, принимающего решение и т.д.

Для решения вопросов, связанных с возможными ограничениями при реализации принятого решения, предусмотрено информационное взаимодействие с информационной системой предприятия посредством АРМ ТСПК. После анализа основных альтернатив производится выбор наиболее эффективного варианта действий и разрабатывается программа исследования отказа с учетом следующих требований:

- программа должна быть обоснованной и реально достижимой;
- программа должна обладать точностью и ясностью;
- программа должна обеспечить достижение поставленной цели с наименьшими затратами;
- выполнение программы должно быть обеспечено всеми необходимыми ресурсами для ее реализации;
- восстановление КПА должно быть своевременным.

Содержательный анализ инцидента и разработка программы исследования отказа осуществляется коллективом исполнителей в составе ТРЗ, представителями ПЗ, ОКК и РСУ. Поддержка информационного взаимодействия с информационной системой предприятия осуществляется специалистом из бюро информационных технологий (БИТ). Разработанная программа содержит указания на последовательность действий, используемые методы и технические средства, исполнителей и сроки проведения, учитывая конкретные условия и обстоятельства. После утверждения программы ТРЗ (ЛПР), ее доводят до исполнителей для устранения несоответствий.

Контроль выполнения принятых решений и полученных результатов их реализации осуществляется ПЗ совместно с представителями ОКК предприятия-изготовителя. В процессе выполнения программы действий возможна его корректировка. По окончании выполнения всех предусмотренных программой мероприятий производится анализ и оценка соответствия результатов выполненных действий поставленным целям. В случае их положительной оценки принимается решение о завершении диагностирования и продолжении приемо-сдаточных испытаний изделия.

В предлагаемом технологическом процессе приемочного контроля внесены существенные изменения в методику параметрического контроля изделия. После проведения средствами КПА

идентификации значений параметров по критерию принадлежности допусковым зонам («годен» - «не годен»), значений тестовых проверок («в норме» - «не в норме») и вида состояния объекта контроля («работоспособное» - «неработоспособное») производится более точная оценка состояния объекта контроля с использованием ИСППР. Такая оценка основывается на вторичной обработке результатов параметрического контроля с использованием инструментария интеллектуального анализа данных. Сначала оцениваются критические параметры по критерию близости их значений к границам полей допусков. Результатом идентификации вида состояния БАСУ по данному критерию является присвоение лингвистической оценки, характеризующей техническое состояние объекта контроля в области работоспособных состояний. Решение о работоспособности изделия принимается на основе сравнения полученного значения с допустимым значением, установленным в ТУ. Предлагаемая технологическая операция позволяет выявлять случаи практического отсутствия запаса работоспособности у изделия, когда, например, значение критического параметра равно 4,99В, а допустимое значение параметра, характеризующего верхнюю границу поля допуска, составляет 5В.

Далее предусмотрено проведение оценки критических параметров по критерию аномальности поведения их значений в пределах границ полей допусков. Такая оценка основывается на сравнении результатов параметрического контроля, полученных в ходе предъявительских испытаний, проведения технологического прогона и приемочного контроля, которые сохраняются в базе данных ИСППР. Результатом идентификации вида состояния БАСУ по данному критерию является присвоение лингвистической оценки «работоспособное состояние по критерию аномальности поведения значений параметров в пределах границ полей допусков» или «неработоспособное состояние по критерию аномальности поведения значений параметров в пределах границ полей допусков». Известно, что при технологическом прогоне, сопровождаемом ускоренными испытаниями, выявляются дефекты, связанные с лавинообразным протеканием процессов старения комплектующих элементов. Предлагаемая операция позволяет обнаруживать нестабильность работы комплектующих элементов, наличие плохих контактов и т.п., вызванных воздействием дестабилизирующих факторов.

Если по результатам параметрического контроля изделие признано неработоспособным, то осуществляется диагностирование изделия на основе руководства по эксплуатации изделия и рекомендаций ИСППР, производится анализ инцидента и разрабатывается программа исследования отказа [97, 107, 110, 113]. В отличие от рассмотренного выше содержания подобных операций применительно к КПА, при разработке программы основным критерием выбора наиболее эффективного варианта решения из множества альтернатив является минимизация расходования технического ресурса изделия при контроле и диагностировании на

специализированных стендах контроля и диагностики. Проведение указанных операций позволяет существенно повысить качество подготовки и эффективность реализации управленческих решений по восстановлению изделия за счет:

- оперативности сбора и обработки необходимой информации, своевременности проведения анализа инцидента и согласования программы исследования отказа с ПЗ;
- автоматизации процесса сбора, обработки и анализа информации;
- принятия решений на основе многовариантности анализа;
- обеспечения коллективного обмена информацией при анализе инцидента;
- обеспечения оперативного обмена информацией с функциональными подразделениями предприятия для координации задач и действий;
- комплексного характера операций.

При обнаружении несоответствия БАСУ требованиям ТУ изделие возвращается представителем ПЗ ОКК предприятия-изготовителя для устранения причин несоответствия, определения возможности исправления брака и повторного предъявления.

На рисунке 2.2 представлена предлагаемая блок-схема подготовки и реализации управленческого решения по восстановлению БАСУ и место приемочного контроля в этом процессе.

Если в процессе повторного приемочного контроля не выявлены несоответствия, то производится оформление документов, удостоверяющих приемку изделия. В предлагаемой технологии в формуляр, ИСППР и информационную систему предприятия дополнительно вносится информация, связанная с оперативным обеспечением выполнения заданных требований ТУ, в том числе с обеспечением сохранения технического ресурса изделия, в рамках ЖЦ изделия. Данная информация содержит:

- основные данные по БАСУ и его составной части, находившейся в неработоспособном или предотказном состоянии (наименование, заводской номер, дата изготовления, наработка, номер чертежа (схемы), номер позиции на схеме);
- характеристику несоответствия (наименование проверки и критического параметра, результаты всех тестовых проверок при предъявительских испытаниях, технологическом прогоне и приемо-сдаточных испытаниях, описание косвенных диагностических признаков проявления несоответствия и т.д.);
- характер выявленного несоответствия (производственный, конструктивный, отказ комплектующего изделия и т.д.), ее повторяемость и причина возникновения;
- описание выполненных работ (содержание, объем и последовательность выполнения мероприятий по устранению и предупреждению причины потенциального отказа; описание

методик выполнения измерений, регулирования (настройки) изделия; описание применяемых средств испытаний, измерений и контроля, используемых ресурсов, полученных результатов);

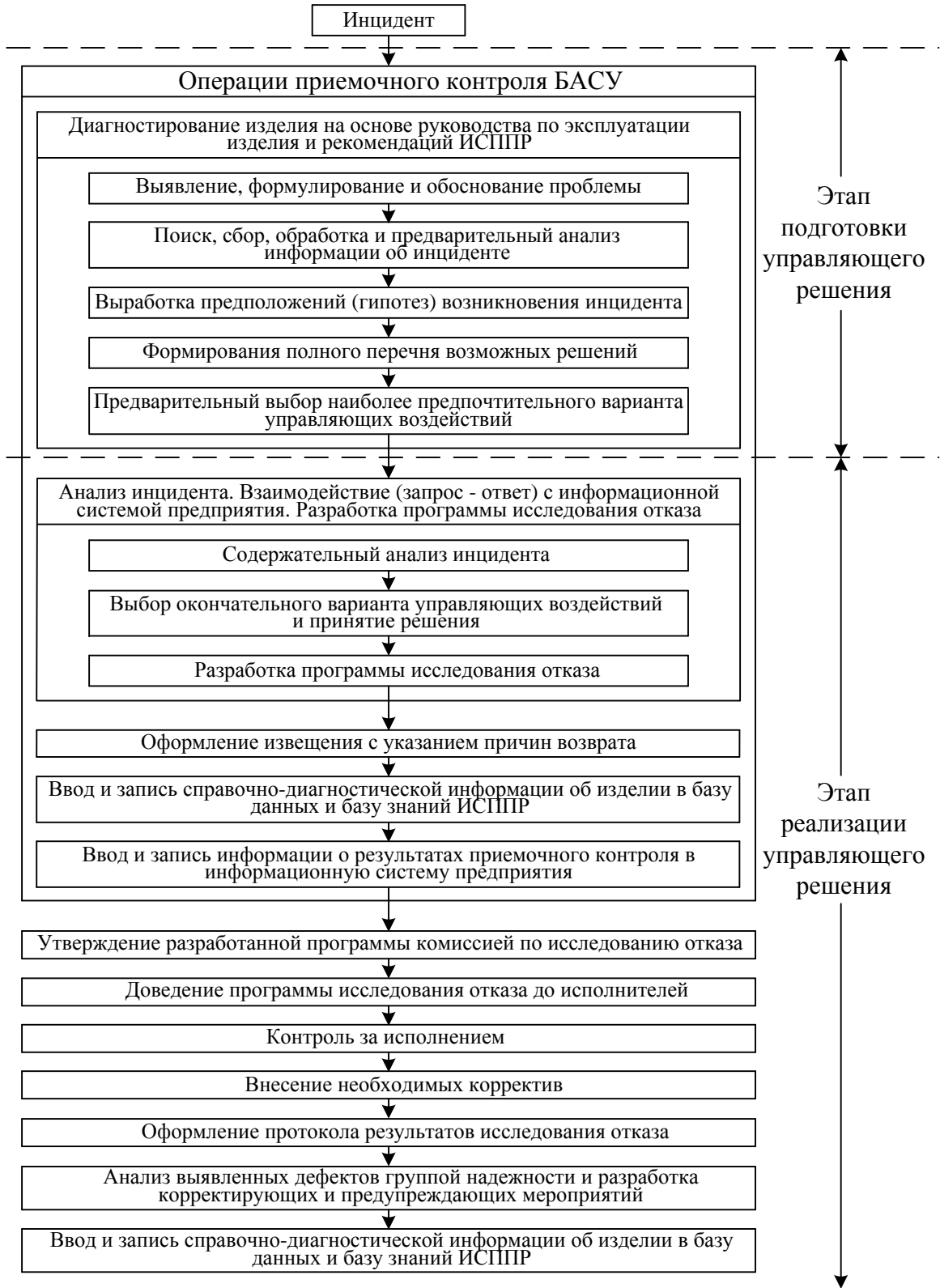


Рисунок 2.2 – Блок-схема подготовки и реализации управленческого решения по восстановлению изделия

- рекомендации по предотвращению повторяемости потенциальных отказов, устранению и предупреждению причин появления несоответствий (предложения по совершенствованию конструкции, технологии изготовления, правил эксплуатации, оснащению дополнительными средствами измерений и т. п.);
- рекомендации эксплуатирующим организациям (предложения о включении потенциально ненадежных узлов и составных частей в перечень особого контроля при техническом обслуживании системы, рекомендации об оптимизации номенклатуры и количества запасных частей, узлов, материалов, о сроках проведения регламентного контроля и т.д.).

Предложенная технология приемочного контроля БАСУ, основанная на решении функциональных задач с использованием ИСППР и АРМ ТСПК, позволяет обеспечить достоверную оценку технического состояния объекта контроля и сократить выработку ресурса БАСУ за счет минимизации времени нахождения изделия во включенном состоянии, улучшить показатели трудоемкости и временных затрат при приемке и восстановлении изделия. Для реализации рассмотренной технологии приемочного контроля необходимо разработать теоретические принципы построения ТСПК.

2.2 Разработка структурно-функциональной схемы ТСПК

С позиций системного подхода ТСПК - это сложная динамическая система, которая характеризуется следующими признаками:

- возможностью рассмотрения ее структуры как совокупности определенным образом организованных подсистем, у которых цели функционирования подчинены общей цели функционирования всей системы;
- наличием иерархической структуры;
- наличием сложных информационных взаимосвязей между элементами и подсистемами;
- наличием взаимодействия системы с внешней средой;
- функционированием в условиях воздействия случайных факторов.

С точки зрения разработки и обеспечения установленных показателей качества функционирования ТСПК обладает рядом достоинств, облегчающих решение этих задач:

- упрощением разработки и модернизации ТСПК в результате специализации групп проектировщиков по подсистемам;
- упрощением внедрения готовых подсистем в соответствии с очередностью выполнения работ;
- упрощением работы ТСПК вследствие специализации работников предметной области;
- возможностью изменять структуру ТСПК и ее элементов;

- возможностью изменять параметры системы автоматически или за счет целенаправленных действий людей;
- возможностью вводить дополнительные операции, разбивать операции на ряд переходов;
- возможностью ужесточать требования к отдельным операциям, изменять режимы работы.

При построении структурно-функциональной схемы ТСПК учитывались следующие основные системные принципы:

- принцип целенаправленности, выражающийся в возможности обеспечения ТСПК сохранения и сокращения выработки технического ресурса изделия;
- принцип иерархического представления ТСПК, выражающийся в возможности последовательной детализации (декомпозиции) описания системы в соответствии с нисходящим подходом проектирования;
- принцип комплексности, заключающийся в обеспечении взаимодействия разрабатываемых подсистем, как между собой, так и с внешними по отношению к ТСПК системами;
- принцип всесторонней компьютерной поддержки функционирования ТСПК;
- принцип оперативности, выражающийся в возможности обеспечить своевременное принятие управленческого решения по устранению и предотвращению несоответствий;
- принцип адаптивности, предусматривающий обеспечение приспособляемости ТСПК к изменяющимся внешним и внутренним условиям.

На рисунке 2.3 представлена предлагаемая структурно-функциональная схема ТСПК БАСУ. Структуру технологической системы образуют основные элементы (объект контроля, готовая продукция) и подсистемы (управления, технологического процесса и ресурсного обеспечения), а также производственные связи между ними. Из внешней среды в технологическую систему поступает объект контроля. Результатом процесса приемочного контроля становится решение о пригодности к поставкам и использованию по назначению готовой продукции с определенным набором свойств, которая поступает во внешнюю среду. Рациональную организацию и эффективное функционирование ТСПК обеспечивает подсистема управления. Из окружающей среды в подсистему управления поступает информация, на основе которой регулируется деятельность ТСПК, обеспечивается устойчивое взаимодействие между ее элементами и подсистемами. Подсистема технологического процесса представляет собой совокупность операций предварительного контроля, операций контроля технических характеристик, консервации, упаковки и операций управления. Операции предварительного контроля заключаются в проверке выполнения установленных мероприятий в соответствии с требованиями к обеспечению информационной безопасности, безопасности труда, охраны окружающей среды, защиты изделия и средств контроля от статического электричества, метрологическому обеспечению и т.д. Контроль технических характеристик включает в себя

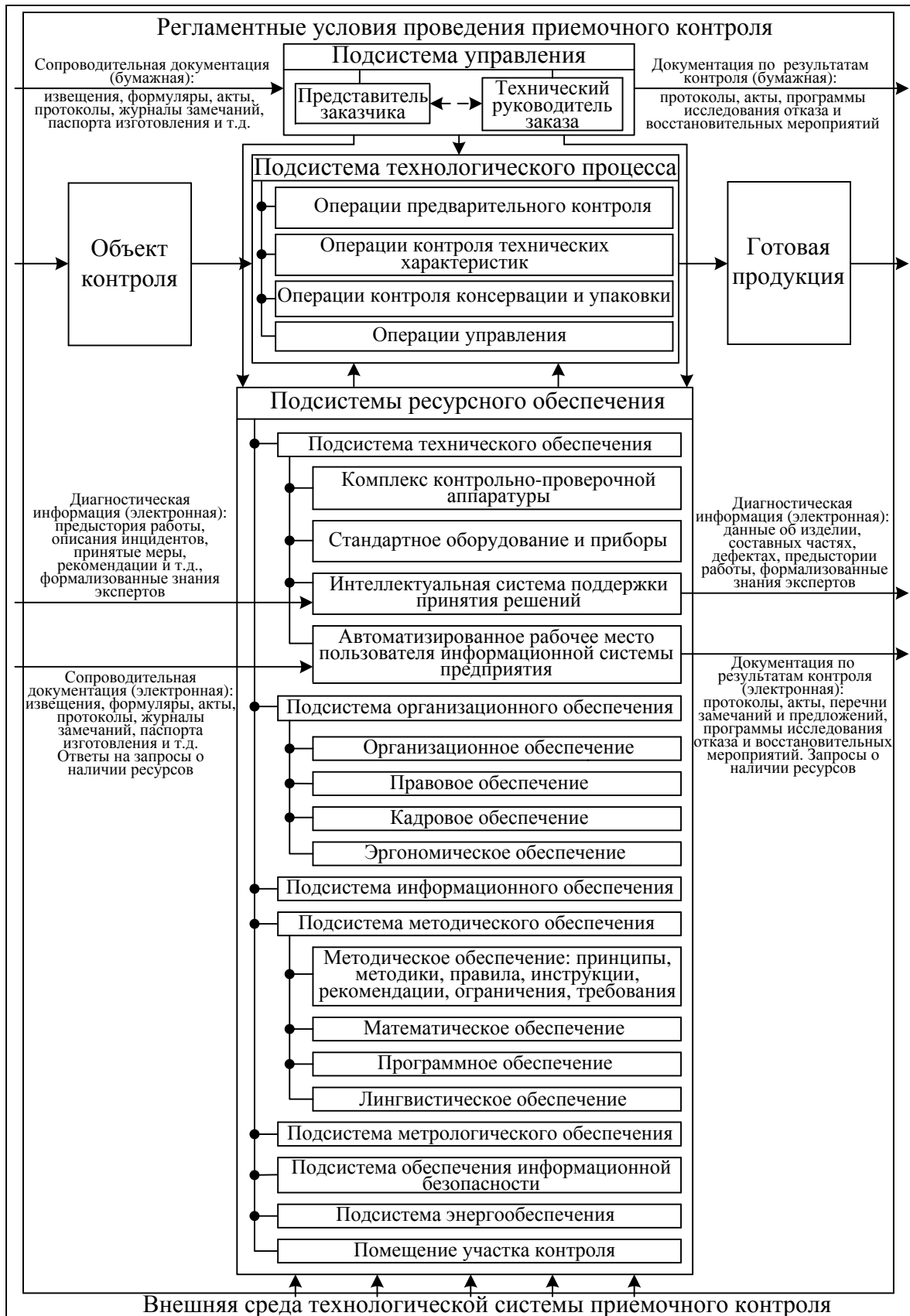


Рисунок 2.3 - Структурно-функциональная схема технологической системы приемочного контроля БАСУ

проверку сопротивления цепей заземления и изоляции электрических цепей питания, потребляемого тока, массы, параметрический контроль и т.д. Основными операциями

управления являются: сбор данных, подготовка и принятие решения, составление программ, расчет, согласование, выработка директив и команд в целях обеспечения согласованной и слаженной работы исполнителей при минимальных затратах производственных ресурсов, оценка результатов их выполнения.

Структура ТСПК включает в свой состав комплекс обеспечивающих подсистем [122]. Подсистема технического обеспечения – это комплекс взаимосвязанных и взаимодействующих технических средств, предназначенных для работы ТСПК. Подсистема организационного обеспечения представляет собой совокупность организационного, правового, кадрового и эргономического обеспечения, направленная на создания условий для эффективной работы персонала. Организационное обеспечение – комплекс методов, средств и решений, регламентирующих процессы создания, функционирования и совершенствование как ТСПК в целом, так и ее персонала. Основные функции организационного обеспечения:

- анализ существующей подсистемы управления ТСПК, определение возможных резервов для ликвидации выявленных отрицательных отклонений и выработка направлений повышения ее качества;
- выбор и постановка задач управления в конкретных условиях функционирования ТСПК;
- разработка организационных решений по проектированию и совершенствованию технологии приемочного контроля.

Правовое обеспечение – совокупность правовых норм, регламентирующих правоотношения при разработке и функционировании ТСПК. Правовое обеспечение на этапе разработки включает приказы, инструкции и другие нормативные акты, связанные с договорными взаимоотношениями между заказчиком и разработчиком ТСПК, правовым регулированием отклонений в процессе разработки, обеспечением процесса различными ресурсами. На этапе функционирования ТСПК правовое обеспечение определяет:

- статус ТСПК в производственном процессе;
- права, обязанности и ответственность персонала;
- правовые положения отдельных видов процесса управления;
- требования по организации проведения и правилам оформления результатов приемки;
- формы актов, заключений, заявок, перечней замечаний, извещений, журналов замечаний, протоколов испытаний.

Подсистема кадрового обеспечения представляет собой совокупность:

- состава специалистов требуемого профиля и квалификации, обладающего необходимым опытом для выполнения работ, процедур и операций приемочного контроля;
- мероприятий по подбору специалистов, качественному обучению, своевременному повышению квалификации и переподготовки;

- документации кадрового обеспечения (штатное расписание, функциональные обязанности и т.д.);
- методов и средств эффективного использования работоспособности, квалификации, практического опыта и мастерства персонала.

Эргономическое обеспечение – совокупность организационных мероприятий, научно-исследовательских и проектных работ, устанавливающих эргономические требования; методов и средств, используемых при разработке и функционировании ТСПК, создающих оптимальные условия для высокоэффективной и безошибочной деятельности персонала и для быстрейшего освоения технических средств контроля и испытаний изделия. В состав эргономического обеспечения входит комплекс различной документации, содержащей эргономические требования к рабочим местам, условиям работы персонала, техническому, программному обеспечению, а также методы, методики и технические средства, обеспечивающие эффективность работы специалистов при проведении приемочного контроля.

Подсистема информационного обеспечения – это совокупность всей информации, циркулирующей в ТСПК, методов и средств построения, организации функционирования и использования информационной базы ТСПК при решении задач приемочного контроля. Информационное обеспечение включает в себя:

- всю информацию об изделии, процессах и ресурсах, зафиксированную на бумажных и машинных носителях;
- схемы потоков информации;
- системы классификации и кодирования информации;
- принципы и методы построения баз данных и баз знаний;
- системы рационализации документооборота;
- способы и формы хранения и отображения информации;
- состав, структуру и организацию данных;
- способы обмена данными между компонентами системы;
- способы информационной совместимости со смежными системами.

Подсистема методического обеспечения представляет собой совокупность методического, математического, программного и лингвистического обеспечения.

Методическое обеспечение представлено методами, методиками, алгоритмами, требованиями, инструкциями, рекомендациями, описаниями и указаниями, которые описывают технологию проектирования, функционирования и сопровождения ТСПК. Оно включает в себя теорию процессов, происходящих в проектируемой технологической системе, методы анализа и синтеза системы и ее составных частей, приводящих к требуемому результату.

Математическое обеспечение – это совокупность математических методов, моделей и алгоритмов для реализации целей и задач ТСПК. К средствам математического обеспечения относятся:

- методы структурного, функционального и имитационного моделирования; методы оптимизации исследуемых процессов и принятия решений, решения интеллектуальных задач и т.д.;
- техническая документация по этому виду обеспечения, содержащая описание и математические модели типовых задач приемочного контроля, модели и алгоритмы взаимодействия различных систем и их компонентов в CALS-технологиях, текстовые и контрольные примеры их решения.

Программное обеспечение (ПО) – это комплекс программ на носителях данных и программной документации по их применению (отладке, функционированию и проверке работоспособности), позволяющие реализовать предложенные методы, модели и алгоритмы, наиболее эффективно использовать вычислительную технику, обеспечивая пользователям наибольшие удобства в работе. ПО включает системное, вспомогательное и прикладное ПО.

Программный комплекс, предназначенный для информационного сопровождения проектирования и функционирования ТСПК в рамках CALS-технологий, должен формироваться из существующих программных систем и адаптироваться к условиям конкретного производства для решения следующих основных задач:

- накопления, хранения и систематического обновления данных об изделии;
- технологического проектирования приемочного контроля, анализа и реализации возможностей повышения его эффективности;
- стандартизации процессов и технологий управления и информационного взаимодействия всех участников ЖЦ и т.д.

Лингвистическое обеспечение объединяет совокупность языковых средств (языков программирования высокого или низкого уровня), правил и методов их создания и применения, используемых в вычислительной системе с целью повышения качества ее разработки и облегчения общения человека с комплексом средств автоматизации. Языковые средства обеспечивают однозначное смысловое соответствие действий пользователя и аппаратной части в виде персональной ЭВМ. Лингвистическое обеспечение включает:

- языки описания структурных единиц информации (показателей, документов, формул);
- языки управления (манипулирования) данными информационной базы (общения с пользователем, языки запросов);
- языковые средства, позволяющие описать алгоритмы решения задач приемочного контроля;
- языки информационно-поисковых систем;

- языки специального назначения;
- средства описания процессов организации, ее документооборота;
- форматы данных об изделиях и процессах;
- термины и определения, позволяющие идентифицировать различные элементы ТСПК и используемые в процессе разработки и функционирования ТСПК;
- правила и методы использования языковых средств.

Подсистема метрологического обеспечения - это совокупность работ (разработка, изготовление и применение), проектных решений и технических и программных средств, направленная на обеспечение качества измерений параметров и технических характеристик изделия в процессе приемочного контроля. Достоверность и обоснованность результатов приемочного контроля во многом определяется правильным выбором средств и методов контроля, качеством методик выполнения измерений.

Подсистема обеспечения информационной безопасности представляет собой совокупность принципов (ориентирующих, технических, организационных и управленческих), методов, соответствующей структуры и средств их реализации, предназначенных для выявления угроз охраняемым объектам, передачи информации о них и создания преград на пути их распространения. При разработке подсистемы обеспечения информационной безопасности ТСПК необходимо выполнение ряда дополнительных требований, связанных с функционированием ИСППР и АРМ пользователей информационной системы предприятия:

- обеспечение защиты информационных ресурсов при решении задач по интеграции с другими автоматизированными системами;
- обеспечение контроля доступа к защищенным ресурсам;
- обеспечение идентификации и авторизации пользователей;
- обеспечение блокирования работы субъектов или объектов в случае обнаружения фактов несанкционированного доступа и воздействий;
- обеспечение регистрации попыток доступа к защищаемым файлам и сигнализации попыток нарушения защиты;
- обеспечение защиты от вредоносных программ (вирусов) и т.п.

Таким образом, дальнейшее проектирование технологии приемочного контроля БАСУ связано с разработкой обеспечивающих подсистем ТСПК.

2.3 Разработка организационно-технологической схемы ТСПК

Организационная структура управления ТСПК представляет собой систему связей и взаимодействий группы исполнителей из различных функциональных подразделений,

функционирующих в процессе обоснования, выработки, принятия и реализации управляющих решений.

В качестве основных принципов, используемых при построении организационной структуры ТСПК, можно выделить следующие принципы управления: принцип владельца процесса, принцип полной координации и принцип квалификационного отбора. На основе анализа существующего организационного обеспечения приемочного контроля БАСУ можно сформулировать следующие основные требования к проектируемой организационной структуре ТСПК. Она должна:

- обеспечить объединение ведущих специалистов для совместной работы;
- обеспечить большую возможность координации связей между исполнителями;
- обеспечить четкое распределение обязанностей и ответственности между исполнителями и различными функциональными подразделениями предприятия;
- обеспечить сокращение нагрузок на руководителей высшего уровня путем передачи полномочий;
- обеспечить гибкость и маневренность человеческими ресурсами при выполнении задач приемочного контроля;
- обеспечить усиление личной ответственности руководителя за выполнение программы приемочного контроля, как в целом, так и за ее элементы;
- гарантировать достоверность передачи информации, не допуская искажений управляющих команд и других передаваемых данных, обеспечить бесперебойность связи в системе управления.

Учитывая сформулированные требования, особенности технологии и объекта приемочного контроля предлагается использовать матричную организационную структуру управления ТСПК, дополняющую существующую линейно-функциональную структуру предприятия. На практике матричные структуры менеджмента создаются, когда выбранная стратегия нацелена на получение высококачественного результата по программе в области создания продукции нового поколения и высоких технологий. Суть принципа формирования организационной структуры на основе матричной модели – «один процесс или один проект = группа сотрудников из разных функциональных подразделений».

Основопологающим принципом в матричном подходе к построению организационных структур управления является не совершенствование деятельности отдельных функциональных подразделений, а улучшение их взаимодействия в целях реализации того или иного проекта или эффективного решения определенной проблемы.

На рисунке 2.4 представлена организационно-технологическая схема управления ТСПК на основе матричной структуры управления. Схема графически показывает состав исполнителей,

их подчиненность, связи функциональных подразделений предприятия, роли и функции в технологическом процессе.

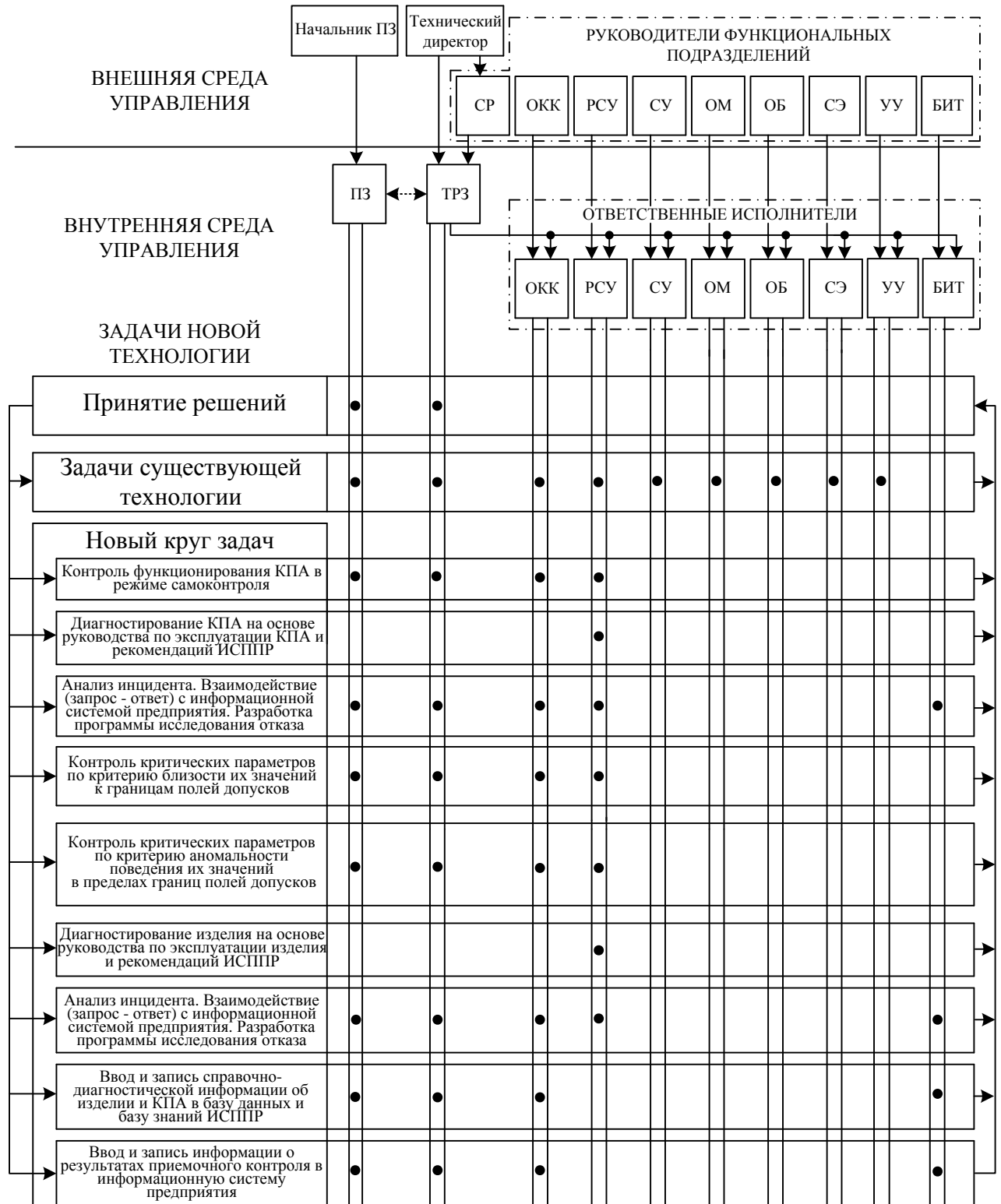


Рисунок 2.4 - Организационно-технологическая схема

Матричная структура представляет собой решетчатую структуру, объединяющую действия высококвалифицированных специалистов, в которой организация проведения приемочного контроля БАСУ осуществляется ТРЗ. Эта структура построена на принципе двойного подчинения ответственных исполнителей в каждом функциональном подразделении: с одной стороны – административного подчинения непосредственному руководителю подразделения, с другой стороны – оперативного подчинения менеджеру процесса (ТРЗ), которому исполнители подчиняются на время выполнения заказа. Руководитель заказа отвечает в целом за координацию всех видов деятельности и ресурсов, относящихся к данному заказу. Для того чтобы добиться этого, он наделяется необходимыми полномочиями в соответствии с запланированными сроками выполнения данного заказа и несет усиленную личную ответственность за выполнение заказа в целом и за его элементы.

Следует отметить, предлагаемая форма организации управления в ТСПК формирует синергетический эффект, т.е. существенное возрастание эффективности деятельности в результате эффективного комбинирования в процессе взаимодействия следующих видов производственных факторов: профессионализма руководителя, квалификации исполнителей, механизма координации действий и расходования ресурсов.

Таким образом, разработанная организационно-технологическая схема ТСПК на основе матричной структуры управления, позволяет обеспечить синергию внутрипроизводственных взаимодействий и эффективное использование кадрового потенциала, минимизируя отрицательное влияние человеческого фактора при проведении приемочного контроля.

2.4 Разработка технического обеспечения функционирования ТСПК

Разработка технического обеспечения ТСПК связана с проектированием дополнительного комплекса технических средств, реализующих CALS-технологии, технологии интеллектуального анализа данных и поддержки принятия решений. В него входят:

- компьютеры;
- устройства сбора, накопления, хранения, обработки, передачи и вывода информации;
- сетевое коммутирующее оборудование и линии передачи данных;
- оргтехника различного назначения (принтер, ксерокс, сканер, факс и т.п.).

Новая технология приемочного контроля предполагает использование ИСППР (рисунок 2.5) и АРМ для решения дополнительных задач параметрического контроля БАСУ, содержание которых представлено на рисунке 2.6.

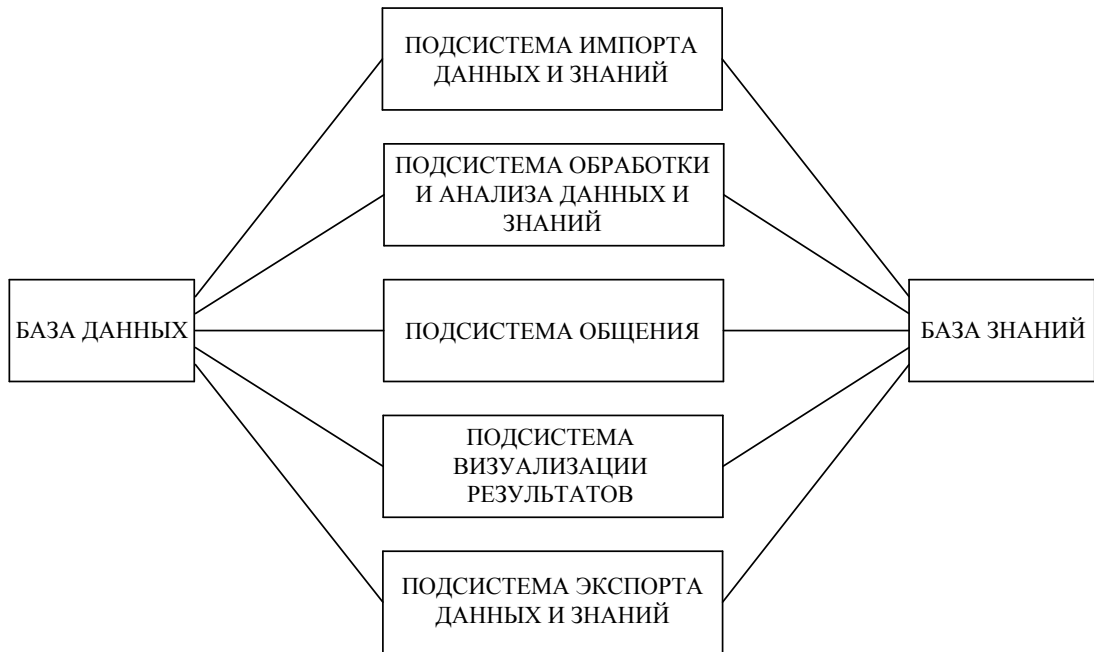


Рисунок 2.5 - Обобщенная структура ИСППР

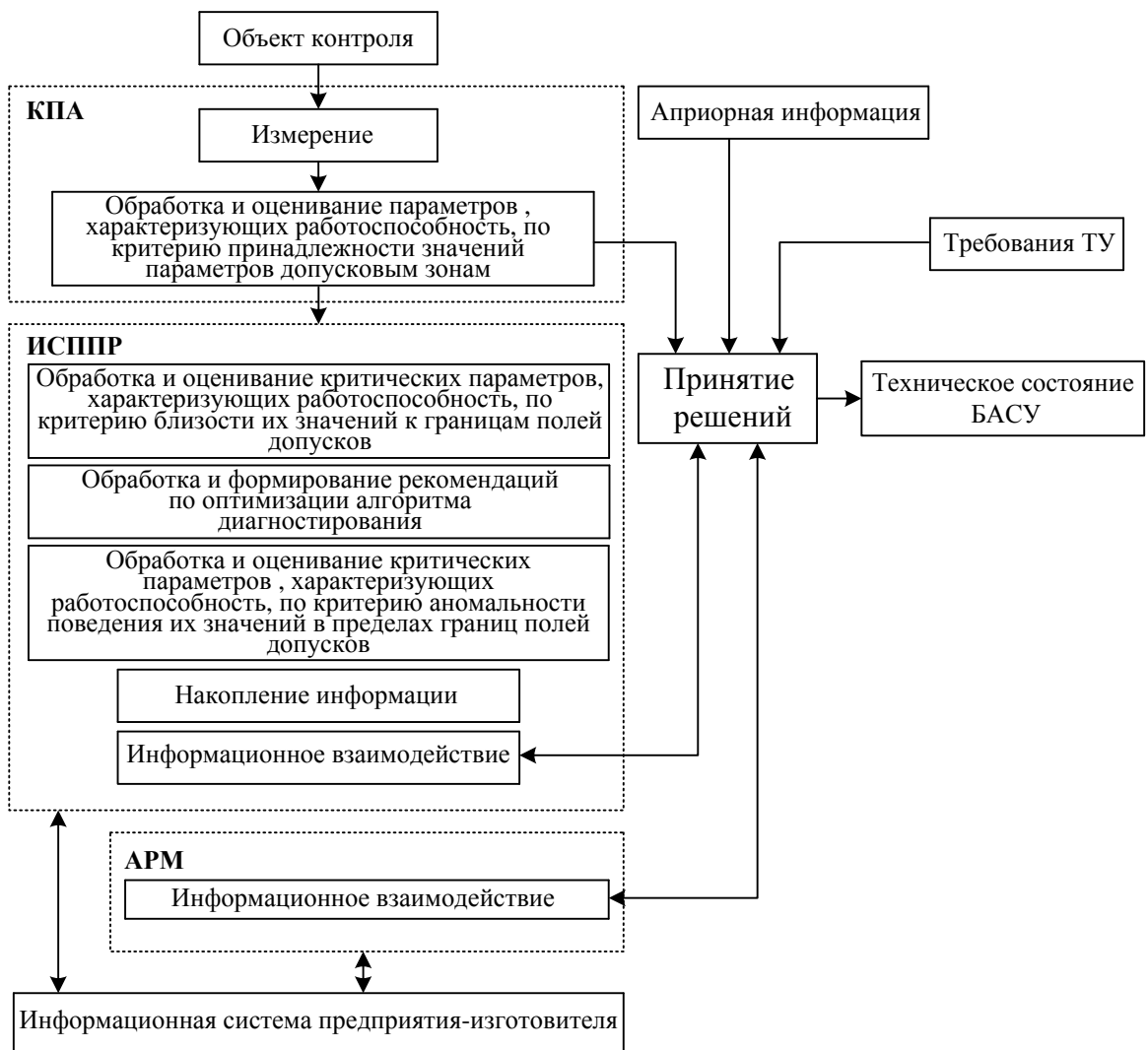


Рисунок 2.6 – Структура задачи параметрического контроля БАСУ

Предлагаемая структура технических средств испытаний, измерений, контроля и информационного обеспечения представлена на рисунке 2.7, а схема рабочего места проверки изделия - на рисунке 2.8.

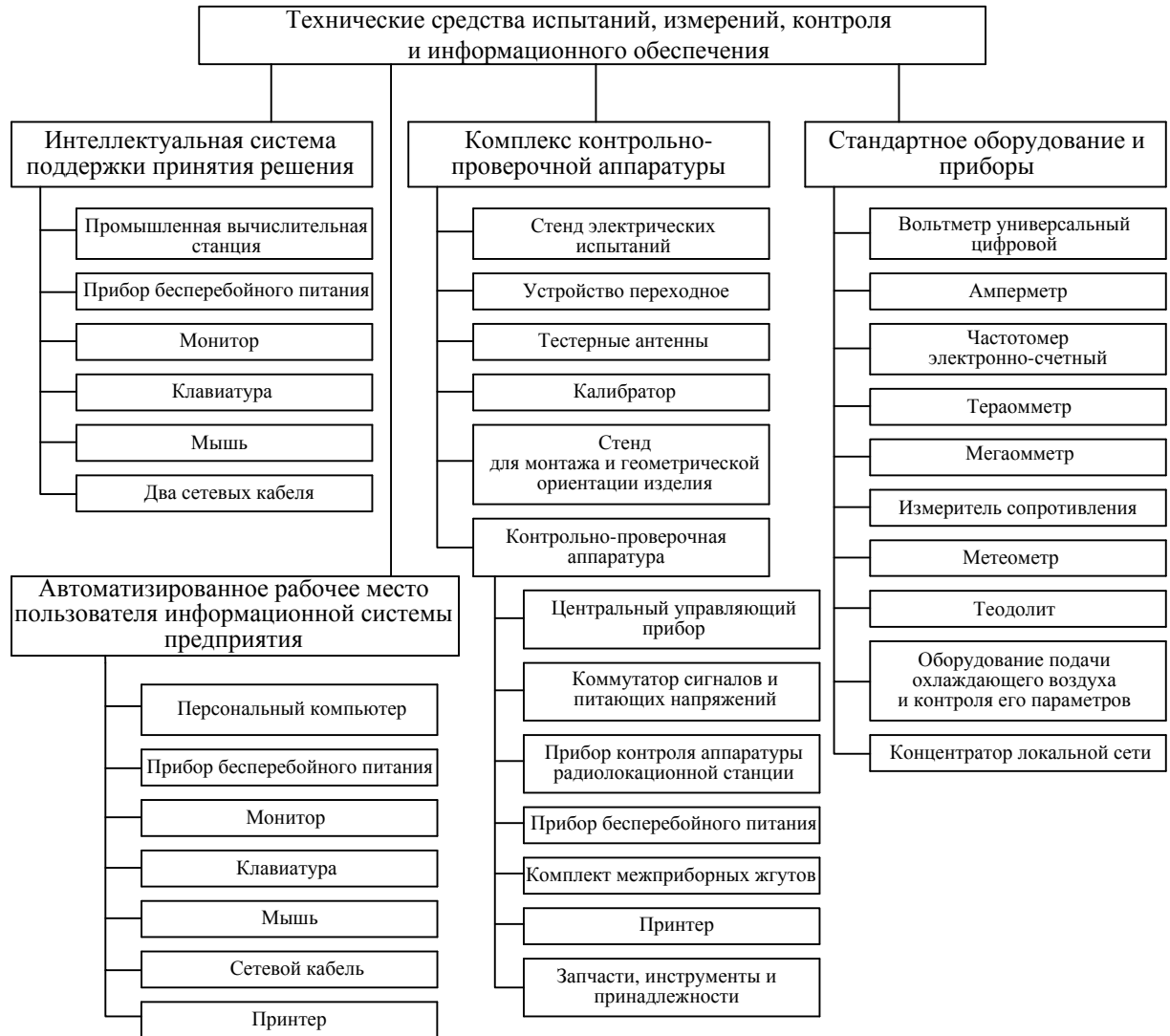


Рисунок 2.7 - Структура технических средств испытаний, измерений, контроля и информационного обеспечения

Следует подчеркнуть, что конструктивная совместимость ИСППР и КПА обеспечивается согласованностью интерфейса и не требует доработок КПА, имеющей в своей конструкции дополнительные сетевые разъемы.

В предложенном комплексе технических средств ИСППР и АРМ ТСПК обеспечивают информационную поддержку проектирования и функционирования ТСПК на основе CALS-технологий и методов интеллектуального анализа данных. Для их эффективного применения необходимо рассмотреть вопросы, связанные с разработкой ИСППР, информационной системы сопровождения технологической подготовки и проведения приемочного контроля, а также методического обеспечения их работы. Разработанные модели и методы должны позволить:

- формализовать экспертные знания для решения интеллектуальных (творческих) задач с использованием средств вычислительной техники, нацеленных на сокращение выработки ресурса изделия, минимизацию влияния человеческого фактора на процессы принятия решений, повышение объективности и достоверности решений, в том числе при наличии неопределенностей в результатах контроля и ограниченного времени на анализ проблемных ситуаций;
- организовать рациональное управление ТСПК и процессами, связанными с обеспечением необходимой для принятия решений информацией.



Рисунок 2.8 - Схема рабочего места проверки изделия

Разработанная структура технических средств испытаний, измерений, контроля и информационного обеспечения, схема рабочего места проверки изделия, обобщенная структура ИСППР, позволяют автоматизировать проведение операций приемочного контроля, связанных со сбором, хранением, накоплением, обработкой, анализом, представлением и обменом информацией.

2.5 Разработка информационного обеспечения ТСПК

2.5.1 Структурная схема организации ЕИП предприятия

Рассмотрим вопросы информационного сопровождения технологической подготовки и функционирования ТСПК на основе использования концепции CALS-технологий (Continuous Acquisition and Lifecycle Support - технологии компьютерного сопровождения и поддержки ЖЦ изделий).

Обеспечение и поддержание высокого уровня качества БАСУ, процессов ТППК и проведения приемочного контроля существенно зависит от эффективности использования информации об изделии, процессах и ресурсах, полученной на различных этапах ЖЦ изделия. Структура такого рода информации в существующем информационном обмене в рамках ЖЦ приведена в приложении Д. Существующий уровень интеграции информации, процессов и различных информационных систем в рамках ЖЦ БАСУ не обеспечивает требуемого качества информационного взаимодействия (оперативности, доступности, единообразия действий и интерпретации данных, возможности многократного использования результативной информации, опыта и знаний и т.п.) территориально-распределенных участников ЖЦ изделия на всех его стадиях. Это обстоятельство связано с увеличением объема данных и необходимости их совместного использования.

Таким образом, информационная интеграция становится одним из ключевых факторов эффективности процессов обеспечения качества изделия [47]. Объединение унифицированных данных в единой базе хранения данных является лучшим способом обеспечения быстрого и простого доступа к необходимой информации при выработке управляющих решений.

Под информационным сопровождением технологической подготовки и функционирования ТСПК понимается обеспечение данного процесса необходимой информацией, средствами поиска, получения, хранения, накопления, передачи и обработки информации, которая содержится в базе данных информационной системы, многократно и совместно используется в соответствии с правами доступа к ней [123].

Одним из путей повышения эффективности использования информации об изделии, процессах и ресурсах при технологической подготовке и проведении приемочного контроля является более глубокая автоматизация информационного обеспечения для выполнения этих работ. Данное обстоятельство требует использования информационной поддержки процесса на базе современных информационных технологий, согласующих информационный обмен между всеми участниками ЖЦ изделия [99, 109].

Информационная поддержка представляет собой совокупность методических, алгоритмических, программных технических средств и организационных мероприятий, дающая возможность обрабатывать информацию с целью обоснования принимаемых решений. Она предполагает электронное представление всех видов информации, ее обработку с помощью компьютерной техники и цифровых коммуникаций. В настоящее время информационная поддержка ЖЦ наукоемких изделий реализуется на основе концепции CALS-технологий. Эта концепция нацелена на повышение качества продукции, минимизацию влияния «человеческого фактора», сокращение общих затрат на поддержку и предполагает создание ЕИП [121], являющееся необходимым условием информационной интеграции.

ЕИП должно обладать следующими основными свойствами: ЕИП охватывает и представляет в электронном виде всю информацию, созданную об изделии (рисунок 2.9), в формате и виде, регламентированном стандартами CALS; ЕИП строится только на основе международных, государственных и отраслевых информационных стандартов, используя программно-аппаратные средства, уже имеющиеся у участников ЖЦ; ЕИП постоянно развивается и совершенствуется.

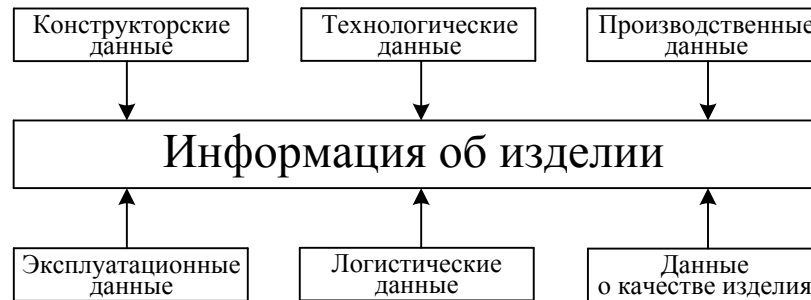


Рисунок 2.9 - Структура информации об изделии

Задача построения ЕИП сводится к выбору, конфигурированию и адаптации инструментальных средств, учитывающей специфику конкретного предприятия; настройке баз данных и баз знаний, разработке необходимого программного обеспечения, определению числа автоматизированных рабочих мест. Для предприятия-изготовителя БАСУ построение ЕИП в соответствии со стандартами должно иметь структуру, представленную на рисунке 2.10. Структура информационной системы, инструментальный комплекс технических и программных средств определен на основе разработанных требований к ее функциональности и способен обеспечить необходимый уровень информационной интеграции. В рамках комплексного подхода к решению задачи обеспечения надежности изделия на различных стадиях ЖЦ, в соответствии с ГОСТ Р 50-109-89 «Надежность в технике. Обеспечение надежности изделий. Общие требования», предлагаемая структура позволяет повысить эффективность проведения комплекса необходимых взаимосвязанных работ:

- расчета (прогнозирования) надежности изделия, его составных частей и комплектующих элементов;
- анализа принятого технологического процесса и контроля важнейших технологических операций с точки зрения обеспечения изготовления изделия с заданными показателями надежности;
- анализа принятых правил эксплуатации изделия, эксплуатационных и ремонтных документов и т.д.



Рисунок 2.10 - Структурная схема организации ЕИП предприятия

В настоящее время в ЗАО «НПЦ «Аквамарин» (предприятия-изготовителе БАСУ) работы по внедрению CALS-технологий находятся в начальной стадии. Определены ключевые направления автоматизации. К ним относится процесс ТППК и процесс приемки в целом.

Основными элементами ТППК, подлежащими автоматизации, а, следовательно, и информационному сопровождению, являются:

- проработка конструкторской документации на технологичность;
- подбор и анализ исходных материалов;
- разработка алгоритма технологического процесса, подбор оборудования, технологической оснастки;
- согласование графиков ТППК и проектирование средств технологического оснащения;
- разработка комплекта технологических документов на процесс приемочного контроля в соответствии с требованиями ЕСТД;
- внедрение технологического процесса;
- централизованное управление данными технологической подготовки приемочного контроля.

Использование информационной поддержки при проектировании и функционировании ТСПК позволит решить следующие проблемы, связанные с управлением информацией и сохранением ресурса изделия в рамках его ЖЦ:

- минимизации общих затрат и трудоемкости процессов проектирования и функционирования ТСПК. Сокращение затрат происходит за счет: возможности параллельного выполнения сложных работ несколькими рабочими группами; резкого уменьшения количества ошибок и переделок; создания и поддержки в актуальном состоянии информационных объектов в ИСППР и в информационной системе предприятия; использования ЕИП, обеспечивающего проведение сквозных процессов при ТППК; планирования и управления поставками при электронном взаимодействии с поставщиками;
- повышения качества разработанного технологического процесса, и, соответственно, повышения качества и конкурентоспособности изделия;
- обеспечения конкурентоспособности самого производства на внешних рынках военно-технической продукции за счет реализации информационной поддержки в соответствии с требованиями международных стандартов, регламентирующих правила взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными;
- минимизации влияния человеческого фактора;
- сохранения критических технологий;
- обеспечения возможности многократного использования однажды созданных данных с целью последующего использования этих данных при модернизации существующих и проектировании новых образцов изделий и процессов [22];
- сокращения брака и затрат, связанных с внесением изменений в конструкцию или технологический процесс;

- сокращение затрат на ремонт изделия за счет организации оперативной обратной связи с эксплуатирующими организациями, проведения анализа на всех стадиях ЖЦ;
- совершенствования структуры потоков информации и системы документооборота;
- повышения эффективности координации и управления как внутри предприятия, так и в рамках ЖЦ изделия.

Таким образом, предложенная структурная схема организации ЕИП предприятия, позволяет обеспечить информационную интеграцию участников ЖЦ изделия и повысить эффективность совместного использования информации об изделии, полученной со всех этапов его ЖЦ.

2.5.2 Структура информационной поддержки проектирования и функционирования ТСПК

На основе структуры организации ЕИП и ее функциональных возможностей была разработана структурная схема информационной поддержки проектирования и функционирования ТСПК, представленная на рисунке 2.11.

Одним из основных компонентов структуры «как должно быть» («ТО-ВЕ») является PDM-система, аккумулирующая всю информацию об изделии, создаваемой прикладными системами, в единую логическую модель [123]. Данная система предназначена для информационного обеспечения технологического проектирования и выполняет следующие основные функции:

- управление конструкторско-технологической подготовкой производства;
- хранение проектных данных, доступ к ним, их поиск, редактирование, маршрутизация, создание спецификаций, структурирование и визуализация;
- управление конфигурацией изделия, т.е. ведение версий проекта, управление внесением изменений;
- управление информационно-справочной системой предприятия;
- защита информации.

Таким образом, использование CALS-технологий для решения задачи информационной поддержки технологической подготовки и проведения приемочного контроля сложной приборной аппаратуры с ограниченным ресурсом позволит более эффективно решать проблему сокращения выработки технического ресурса изделия за счет следующих основных факторов:

- получения необходимой информации от участников ЖЦ изделия для своевременной актуализации базы данных и базы знаний ИСППР ТСПК;
- предоставления имеющейся информации участникам ЖЦ изделия, полученной в ходе приемочного контроля, для проведения работ по обеспечению и улучшению эксплуатационно-технических характеристик изделия и своевременной актуализации базы данных и базы знаний аналогичных ИСППР ТСПК;

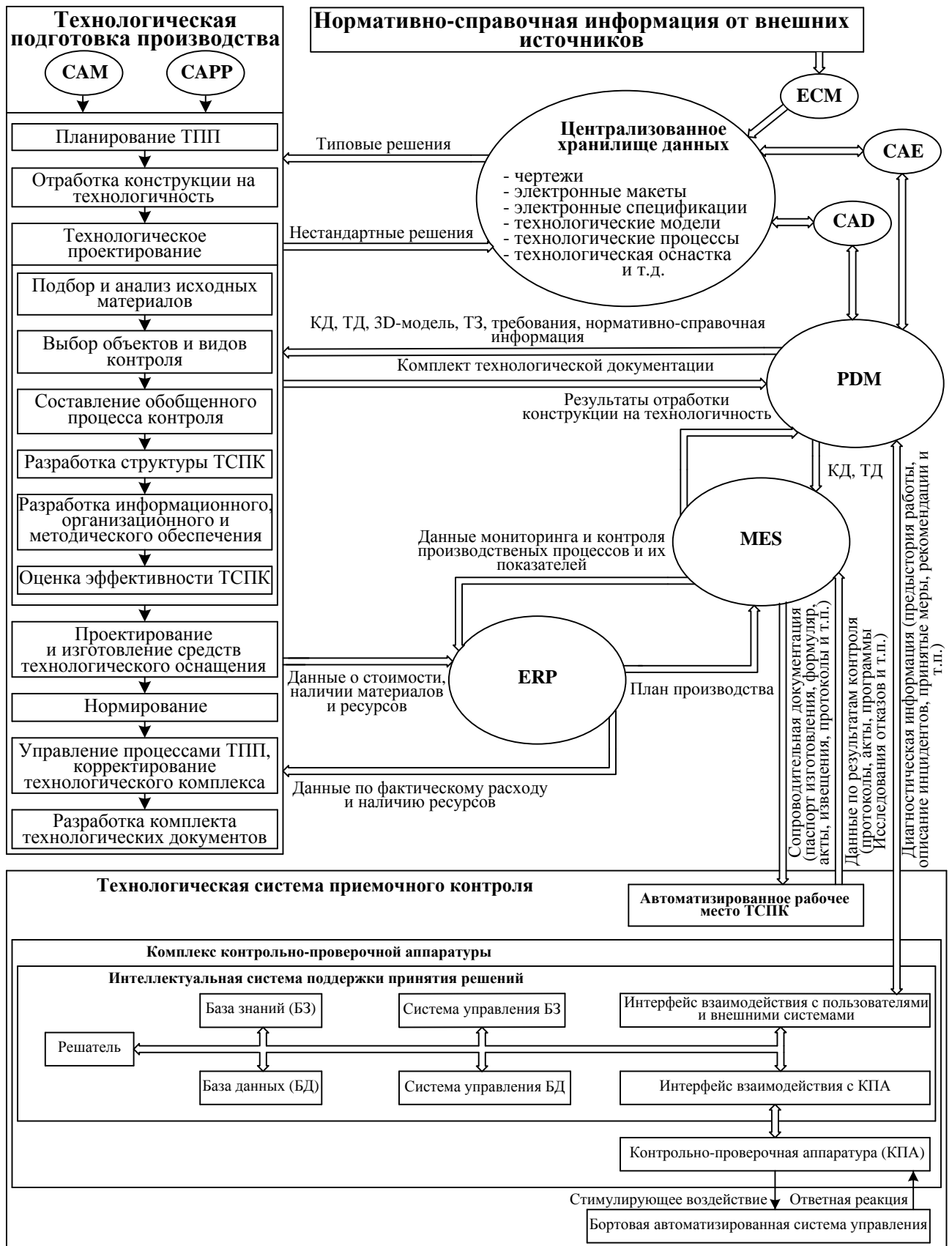


Рисунок 2.11 - Структура информационной поддержки проектирования и функционирования ТСПК

- оперативного доступа к информации об изделии, ресурсах, процессах и результатах, полученных на различных этапах ЖЦ;

- оперативного обмена информацией посредством АРМ ТСПК в рамках предприятия-изготовителя при проведении приемочного контроля и отработки его технологии;
- качественного мониторинга в ходе отработки технологии приемочного контроля.

2.5.3 Фрагменты моделирования процессов информационного сопровождения функционирования ТСПК

Разработка информационного сопровождения ТСПК потребовала проведения моделирования процессов подготовки и функционирования системы.

Для решения такого рода задач моделирования сложных систем применяются стандартизованные методологии семейства IDEF, позволяющие эффективно отображать и анализировать различные модели деятельности предприятия. На первом этапе изучения процесса ТППК была выбрана и использована CALS-ориентированная методология функционального моделирования IDEF0, отражающая процессы, потоки информации, материальные объекты и структурные подразделения, исполнителей, технические системы, ответственные за их проведение. Модель в нотации IDEF0 представляет собой совокупность иерархически упорядоченных и взаимосвязанных диаграмм с необходимой глубиной декомпозиции. Она является не только удобным средством анализа, пригодным для поиска путей совершенствования, но и служит методической основой для настройки прикладных программных систем. В качестве CASE-средства, позволяющего строить модели IDEF, было выбрано инструментальное средство для моделирования Business Studio 3.6.

В качестве примера на рисунке 2.12 и на рисунках в приложении Ж приведены фрагменты модели разработки технологической документации приемочного контроля БАСУ. Следует отметить, что большинство затрат на технологическую подготовку производства относится на этап проектирования технологической документации и, в частности, на проектирования технологического процесса. На рисунке 2.12 приведена контекстная IDEF0-диаграмма верхнего уровня А-0, обеспечивающая наиболее общее и абстрактное описание объекта моделирования. На диаграмме весь процесс разработки технологической документации представлен в виде одного блока с граничными стрелками, входящими в блок и выходящими из него, которые отображают связи с внешней по отношению к моделируемой системе средой.

Диаграмма также содержит краткие формулировки, определяющие точку зрения должностного лица, с позиций которого разрабатывается модель, и цель, для достижения которой ее разрабатывают. Стрелки, связанные с левой стороной блока, представляют собой вход (Input) – информацию, которая используется или преобразуется в блоке для получения результата (выхода). Такой информацией в данном случае является:

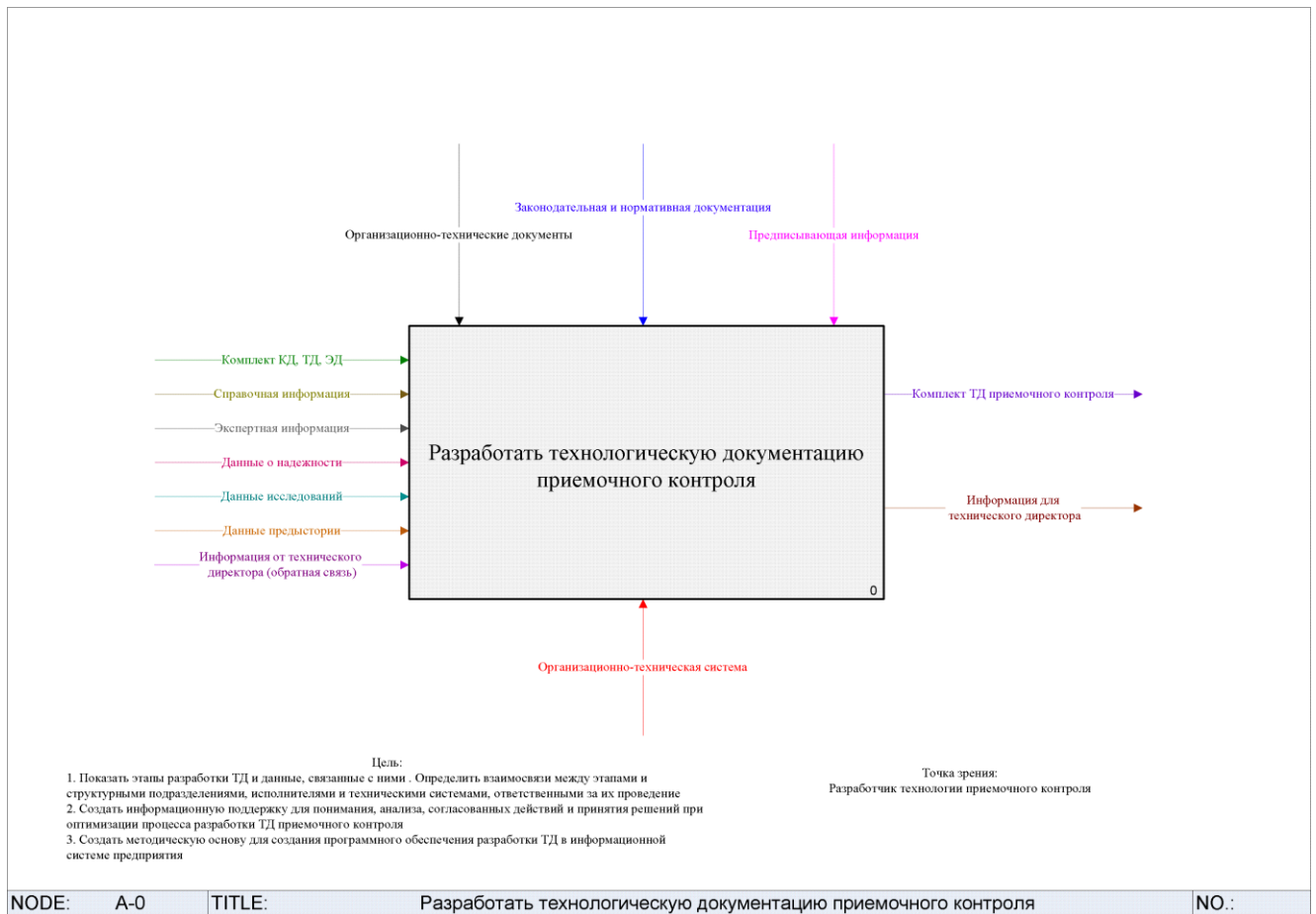


Рисунок 2.12 - Контекстная IDEF0-диаграмма функциональной модели процесса разработки технологической документации приемочного контроля

- комплект существующей КД, ТД и ЭД;
- справочная информация (публикации в научно-технических изданиях, патенты, материалы выставок, конференций, каталоги и т.д.)
- экспертная информация (информация в виде приближенных, интуитивных оценок, рекомендации, рациональные предложения на основе эмпирических правил, подходы к решению задач, связанных с наличием неопределенностей и т.д.);
- данные о надежности (сведения, содержащие перечни, виды и причины отказов, программы мероприятий по повышению качества и надежности изделия, предложения по устранению и предупреждению причин появления дефектов в изделиях и т.д.);
- данные исследований (результаты исследований и испытаний с целью отработки критического элемента, программы и протоколы исследования отказов, результаты наблюдений за состоянием или использованием изделия и т.д.);

- данные предыстории (паспорта изготовления и испытания изделий, машинные распечатки на ЭВМ значений контролируемых параметров, записи в цеховых журналах, протоколы испытаний и т.д.);
- информация от технического директора (решения, связанные с формулированием или корректировкой ранее сформулированных целей и задач и направленные на их достижение).

Верхние входящие в блок стрелки – управление (Control) – это данные, предназначенные для управления выполнением функции блока или задающие ограничения на ее выполнение.

Содержание таких данных следующее:

- организационно-технические документы (техническое задание на разработку, договор, график выполнения работ и т.д.);
- законодательная и нормативная документация (международные, государственные, ведомственные и внутренние стандарты, нормативные документы, правила и т.д.);
- предписывающая информация (методические указания, инструкции, рекомендации, технические описания, паспорта, справочные данные, перечни разрешенных элементов, руководства и т.д.).

Таким образом, использование методологии IDEF0 при построении модели процесса разработки технологической документации позволяет: четко регламентировать действия, выполняемые на каждом этапе, и используемые ресурсы; определить объекты, нуждающиеся в детальном исследовании, выявить пути оптимизации процесса проектирования; систематизировать разнородную информацию, уменьшить количество ошибок, повысить качество проектной документации и т.д.

2.6 Выводы по разделу 2

При разработке теоретических принципов построения технологической системы приемочного контроля сложной приборной аппаратуры с ограниченным ресурсом на примере БАСУ получены следующие основные результаты:

1. Предложена технология приемочного контроля БАСУ, основанная на решении функциональных задач с использованием ИСППР и АРМ, позволяющая обеспечить достоверную оценку технического состояния объекта контроля и сократить выработку ресурса БАСУ за счет минимизации времени нахождения изделия во включенном состоянии, улучшить показатели трудоемкости и временных затрат при приемке и восстановлении изделия.
2. Разработана структурно-функциональная схема ТСПК, реализующая предложенную технологию.

3. Разработана организационно-технологическая схема ТСПК, позволяющая обеспечить взаимодействие и эффективное использование кадрового потенциала и минимизировать отрицательное влияние человеческого фактора при проведении приемочного контроля.
4. Разработана структура технических средств, составляющих техническую структуру ТСПК и необходимых для автоматизации проведения всего комплекса операций приемочного контроля.
5. Определены элементы PDM-системы (системы хранения, анализа, передачи данных об изделии и процессах) и ЕИП предприятия, необходимые для информационного сопровождения подготовки и функционирования ТСПК.
6. Разработана структура информационной поддержки проектирования и функционирования ТСПК, позволяющая своевременно актуализировать базу данных и базу знаний ИСППР, предоставлять имеющуюся информацию другим участникам ЖЦ изделия, оперативно обмениваться информацией в рамках предприятия-изготовителя посредством АРМ ТСПК, проводить качественный мониторинг в ходе отработки технологии приемочного контроля.
7. Разработана функциональная модель процесса разработки технологической документации приемочного контроля на основе методологии IDEF0.

РАЗДЕЛ 3 РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОГО И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Дальнейшее развитие предложенной технологии приемочного контроля БАСУ связано с разработкой:

- ИСППР, позволяющей автоматизировать проведение операций приемочного контроля, связанных со сбором, хранением, накоплением, обработкой, анализом, представлением и обменом информацией;
- методического обеспечения поддержки принятия решений, позволяющего достоверно оценивать состояние объекта контроля за минимальное время затраченной наработки.

3.1 Формирование основных требований, принципов построения и разработка концептуальной модели ИСППР

Реализация предложенной технологии приемочного контроля основана на использовании ИСППР, позволяющей автоматизировать выполнение сложных операций интерпретации, интеллектуального анализа и подготовки данных для решения функциональных задач приемочного контроля и уменьшить негативное влияние человеческого фактора на качество решений [99, 103, 105, , 108, 109]. Под понятием «поддержка принятия решений» понимается совокупность процедур (обработка данных измерений, их анализ, формирование списка альтернатив, выбор лучшего решения и т.д.), обеспечивающих ЛПР необходимой информацией и рекомендациями, облегчающими процесс принятия решений. ИСППР представляет собой программно-аппаратный комплекс, использующий и интегрирующий элементы технологий искусственного интеллекта и информационных систем для обработки значительных объемов объективной и субъективной информации [48, 51, 68, 83]. В основу ИСППР положена способность приобретать и воспроизводить теоретические и практические знания высококвалифицированных специалистов, эвристические (логико-интуитивные) методы поиска при решении задач в условиях наличия различного рода неопределенности (неполноты, неточности, противоречивости и т.п.) [49]. Это позволит анализировать и синтезировать текущую известную информацию, извлекать следствия из имеющихся знаний, формировать и выдавать новую интеллектуальную информацию с высокой степенью достоверности, в явном виде в нее не заложенную, предназначенную для помощи ЛПР, а также адаптироваться в условиях изменения в проблемной области. Под интеллектуальной информацией понимается информация, несущая определенный смысл и предназначенная для определенных целенаправленных действий.

Существенный вклад в изучение проблем формального представления знаний в проблемной области, автоматизации процесса принятия решения с использованием знаний, разработки средств поддержки решений сложных задач внесли Поспелов Г.С. [90, 91], Заде Л.А. [45], Геловани В.А. [20], Люгер Д.Ф. [67], Финн В.К. [127], Поспелов Д.А. [90, 92], Орловский С.А. [84], Вагин В.Н. [6, 7, 8], Еремеев А.П. [9, 11, 44], Варшавский П.Р. [10, 12, 13, 14], Димов Э.М. [41], Тулупьев А.Л. [125] и другие ученые. Отмеченные ученые и специалисты внесли значительный вклад в разработку различных теоретических и прикладных аспектов поддержки принятия решений, информационно-аналитических систем поддержки принятия решений. Вместе с тем следует признать, что предлагаемые решения зачастую не обеспечивают необходимого уровня поддержки принятия управленческих решений и ожидаемых эффектов от их внедрения. Это связано с недостаточным уровнем адаптируемости спроектированных систем к специфике проблемной области. Ряд научных направлений этой тематики требует более глубокой проработки. К таким направлениям можно отнести: разработку процедур решения слабоструктурированных задач в условиях существенной неопределенности [46], методов получения рациональных решений, настройки и адаптации к проблемной области, обработки неполной и неточной информации и т.д.

При проектировании ИСППР в качестве главного регулятора процесса разработки были сформулированы и использовались следующие основные принципы:

- принцип преемственности. Он заключается в обязательном учете в проектном решении ранее накопленного опыта, а также сохранении всех полезных для дальнейшего использования ресурсов и технических средств;
- принцип развития. Он состоит в том, что ИСППР разрабатывается с учетом возможности постоянного наращивания своего программно-математического обеспечения, ориентированного на расширение и обновление функциональных возможностей, состава задач и информационной базы. Расширение функциональности ИСППР предусматривается за счет обеспечения возможности включения новых программных модулей, совместимых с уже имеющимися модулями;
- модульный принцип построения программных средств, обеспечивающий возможность их замены, изменения с целью совершенствования ИСППР или ее адаптации к новым условиям. Модульная структура программного обеспечения позволяет вести поэтапное внедрение прикладных программ, гарантируя возможность автономного их применения, что ускоряет процесс внедрения;
- принцип гибкости, который заключается в возможности ИСППР поддерживать разные парадигмы представления знаний и решений задач, легкости модификации программ,

наращивания базы знаний (БЗ), в возможности автоматизации процесса приобретения новых знаний;

- принцип конкуренции при выборе вычислительной технологии, который заключается в возможности обеспечить сравнительный анализ результатов обработки информации с использованием различных моделей представления знаний;

- принцип приближенной формализации нечеткой и неполной информации в вычислительной среде, позволяющий реализовать сложные модели представления и обработки нечеткой и неполной системы знаний.

- принцип стандартизации и унификации. Стандартизация предполагает, что разработку и развитие ИСППР следует осуществлять с ориентацией на информационное взаимодействие с другими системами в соответствии с правилами и протоколами национальных и международных стандартов. Необходимо предусмотреть аппаратную, программную, лингвистическую и информационную совместимость. Унификация состоит в следовании правилу единообразия в методах, средствах, содержании и формах представления информации при разработке программного обеспечения.

На основе анализа потребностей потенциальных пользователей и в соответствии с заявленными принципами ИСППР разрабатывалась с учетом следующих требований:

- иметь возможность сбора, хранения и накопления информации о проблемной области в базе данных (БД) и БЗ по трем направлениям: декларативной информации, экспертной информации, представляющей собой формализованные знания высококвалифицированных специалистов, и базы прецедентов – информации о проблемных ситуациях, которые уже имели место в прошлом;

- основываться на применении адекватных и технически осуществимых формальных моделей для решения задач, предусмотренных новой технологией приемочного контроля. Процесс решения задач, отличающихся многокритериальностью, недостаточностью и недостоверностью информации для принятия решения, должен обеспечиваться возможностью представления и обработки разнотипных знаний, данных и моделей, а также развития соответствующих БД, БЗ и моделей;

- должна обеспечиваться возможность включения в локальную сеть информационной системы предприятия.

На основе сформулированных принципов и требований и в условиях отсутствия прямых аналогов подобной системы, ограничивающих возможность использования каких-либо типовых проектных решений и прикладных систем, была разработана концептуальная модель ИСППР, представленная на рисунке 3.1. Она представляет собой совокупность обобщенных функциональных компонентов, принципов их взаимодействия между собой, с КПА,

пользователями и внешней средой и определяет смысловую структуру разрабатываемой системы.

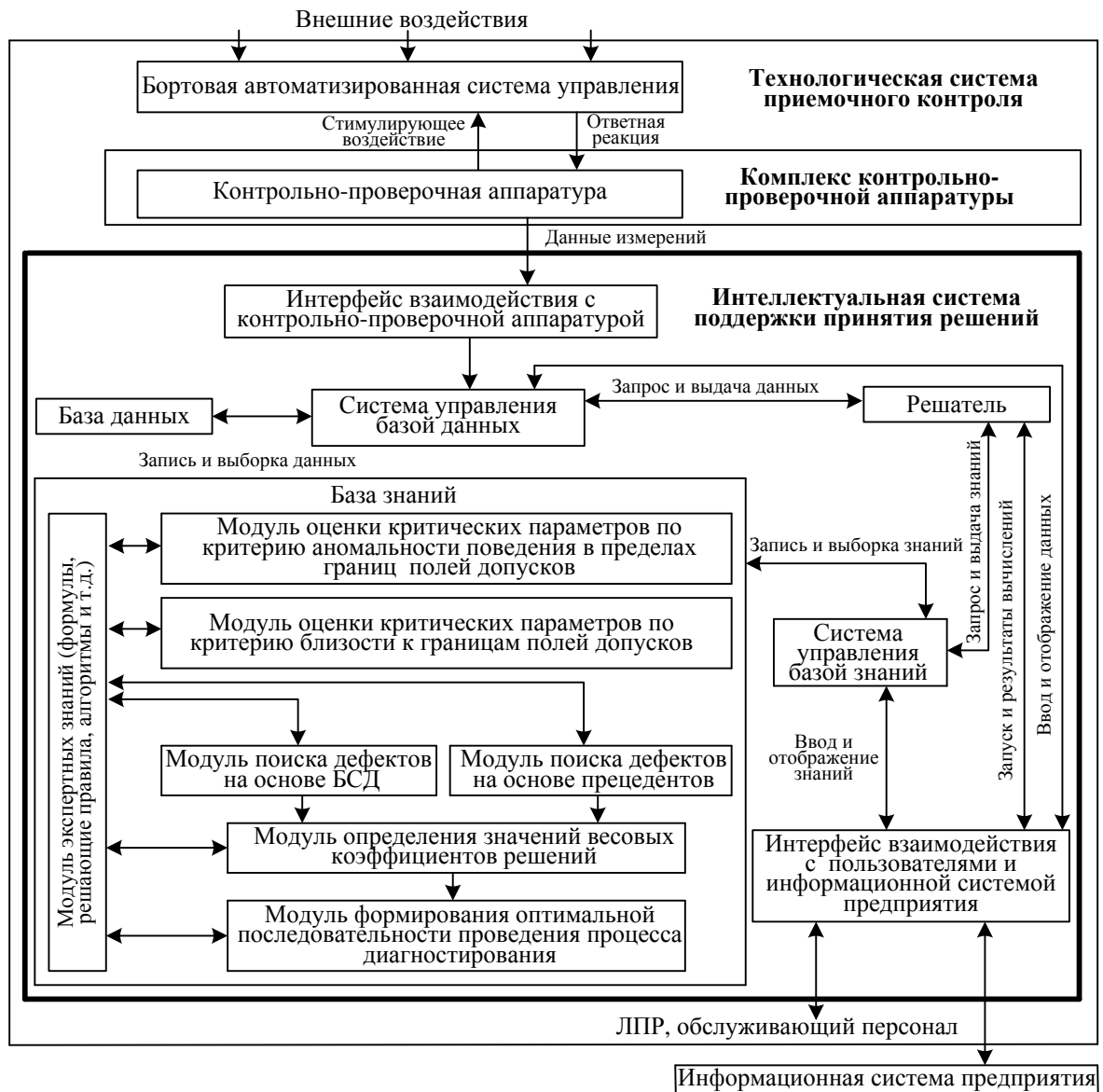


Рисунок 3.1 – Концептуальная модель ИСПП

ИСПП предусматривает выполнение следующих основных функций:

- функции ввода информации, источниками которой являются: КПА (данные измерений), PDM-системы (данные и знания аналогичных ИСПП), ЛПР (данные условий решения задачи), инженер по знаниям из БИТ (новые и скорректированные данные и знания), программист из БИТ (разработанное или скорректированное ПО);
- функции предварительной обработки информации для преобразования к виду, пригодному для использования;
- функции хранения поступившей информации в БД и БЗ по разработанному формату;

- функции обработки информации (сортировка, выборка, арифметическая и логическая обработка) для решения функциональных задач;
- функции оценки контролируемых параметров и технического состояния объекта контроля;
- функции диагностирования отказов объекта контроля;
- функции формирования отчета о результатах интеллектуального анализа данных;
- функции поиска информации по различным признакам;
- функции вывода и графической визуализации аналитической (рекомендаций для формирования решений) и справочной информации для представления пользователям или передачи в информационную систему предприятия;
- функции настройки и адаптации решателя, структуры и параметров БД и БЗ к конкретным условиям функционирования;
- функции регламентации прав доступа к информации и защиты данных.

Работа ИСППР как информационной системы заключается в обслуживании двух встречных потоков информации: ввода новой информации и выдача текущей информации по запросам [23]. Рассмотрим функциональное назначение элементов ИСППР (рисунок 3.1).

Интерфейс взаимодействия с КПА предназначен для обеспечения информационной, электрической и конструктивной совместимости БД и КПА, реализации их взаимодействия. Его программные средства осуществляют предварительную обработку и преобразование результатов измерений в формат БД.

Система управления БД (СУБД) представляет собой совокупность методов, языковых и программных средств, предназначенная для управления БД. Она позволяет создавать, хранить большие массивы данных и манипулировать ими (обновлять, модифицировать, извлекать, поддерживать обмен данными, осуществлять контроль доступа к данным и их восстановление после любого аппаратного или программного сбоя) для использования БД многими пользователями.

БД - это организованная по определенным правилам и поддерживаемая в памяти ИСППР совокупность структурированных, организованных данных (отдельных фактов и сведений, полученных путем измерения, наблюдения и выполнения различных операций), характеризующая актуальное состояние (объекты, процессы, явления и их свойства) в предметной области. БД представляет собой жестко структурированную модель, где однородные данные представлены в виде записей. В БД хранятся данные измерений, полученные при контроле и диагностировании изделия, данные об изделии и другая справочно-диагностическая информация в виде таблиц, протоколов справочных данных и т.д.

БЗ показана на рисунке 3.1 в виде множества программных модулей, обеспечивающих ввод, обработку, анализ, поиск и вывод необходимой информации. Знаниями являются хорошо

структурированные разнородные и разнотипные данные, полученные эмпирическим путем, отражающие опыт высококвалифицированных специалистов. БЗ представляет собой открытую модель, построенную с использованием специальных языков представления знаний, основанных на символьном представлении данных. Знания содержатся в ней в виде формул, алгоритмов, прецедентов, решающих правил, текстовых сообщений, графических схем и т.д. БЗ управляется системой управления базой знаний (СУБЗ) – комплексом программных и языковых средств, имеющим более мощные обслуживающие процедуры по сравнению с СУБД. СУБЗ осуществляет организацию и взаимодействие всех компонентов, входящих в БЗ, реализует связи БЗ с внешней средой. Это дает возможность взаимодействовать с БЗ инженеру по знаниям и обеспечивает работу решателя, производя различные операции над знаниями в БЗ.

Координацию и поддержку работы основных компонентов программной системы выполняет решатель. Решатель (блок логического вывода) – это программа, моделирующая ход рассуждений эксперта и решающая поставленную задачу с помощью знаний из БЗ и данных из БД. Он производит выборку информации, ее анализ и выводит новые промежуточные или конечные факты посредством интерфейса взаимодействия с пользователями и внешними системами. Данный интерфейс переводит машинное представление результатов обработки и анализа в удобный для пользователей формат, и наоборот, воспринимает запросы пользователей и преобразует их в форму представления БЗ и БД или в формат, соответствующий программе решателя. Для информационной системы предприятия информация представляется в формате и виде, регламентированном стандартами CALS.

Следует добавить, что для практического использования ИСППР необходимо реализовать дополнительные требования пользовательского характера. ИСППР должна:

- иметь способность к обучению, накоплению и адаптации. Адаптация подразумевает способность приспособления к изменяющимся внешним условиям и включает в себя:

- 1) приспособление к изменениям в предметной области на основе приобретаемого опыта и знаний путем пополнения, замены или изменения правил и фактов в БЗ и БД;
- 2) приспособление к изменениям в информационных потребностях пользователей, к изменениям условий решения задачи, подходов к решению задач, которые определяет пользователь, на базе адаптивных алгоритмов;
- 3) приспособление к изменениям в структуре ИСППР или отдельных ее составляющих без остановки эксплуатации системы и без потери информационной базы, обеспечиваемое открытой архитектурой и модульным принципом построения;
- 4) приспособление к современным достижениям и изменениям в аппаратном обеспечении без потерь информационной базы и без остановки эксплуатации ИСППР,

вызванным постоянным и быстрым развитием технических средств, расширением видов пользователей и предоставлением новых услуг;

5) приспособление к конкретным требованиям пользователя: к различным алфавитам, режимам текстового и графического представления, способам ввода/вывода и т.д.

- иметь возможность интеграции с контрольно-проверочной аппаратурой БАСУ;
- иметь возможность многоуровневой организации раздельного доступа к БД и БЗ при работе с ИСППР специалистам разных уровней ответственности;
- включать коммуникационные механизмы для информационного взаимодействия в рамках ЖЦ выпускаемого изделия, что обуславливает необходимость разработки унифицированных протоколов обмена информацией в таких системах. Наличие таких информационных связей дает основу для индивидуального сопровождения каждого изделия в процессе его ЖЦ, обмена накопленным опытом, позволяющим эффективно совершенствовать БЗ [85], а также, своевременно принимать корректирующие решения;
- должна обеспечивать максимальное удобство для пользователей средств общения с ИСППР и отображения информации на основе технологии когнитивной графики, позволяющей активно использовать механизмы как активного, так и глубинного уровней мышления, и иметь возможность представления информации и форм ее отображения с различной степенью детализации. Представление результатов анализа, знаний и работа с ними на уровне графических образов должны обеспечивать быстрое восприятие пользователем, повышать уровень их понимания и способствовать развитию таких важных для специалиста качеств, как интуиция и образное мышление. Результаты должны сохраняться и визуализироваться в виде таблиц БД, в виде текстовых файлов, в виде графиков и диаграмм.
- должно гарантироваться полное восстановление системы (файлов) после аппаратных сбоев. Допускается защита системы от сбоев с помощью резервного копирования БЗ и БД;
- должна обеспечиваться защита информации от несанкционированного доступа;
- должна обеспечиваться работа с БД и БЗ на основе существующих версий ПО или средств конвертации БД и БЗ;

Таким образом, сформированы основные требования, разработана оригинальная концептуальная модель и принципы построения ИСППР, которая характеризуется целевыми интеллектуальными компонентами БЗ и обеспечивает возможность решения трудноформализуемых задач приемочного контроля. Для реализации указанных интеллектуальных компонентов далее необходимо разработать методическое обеспечение, включающее методики, алгоритмы, рекомендации и т.д.

3.2 Разработка классификатора, принципов классификации и методик идентификации параметров оценки технического состояния БАСУ

В существующей на сегодняшний день системе автоматизированного параметрического контроля БАСУ реализована традиционная методика оценки работоспособности изделия, основанная на критерии принадлежности значений параметров соответствующим допусковым зонам. Такой подход можно представить в виде четкого множества (рисунок 3.2), описываемого характеристической функцией

$$\eta_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (3.1)$$

где x - некоторый элемент множества X , определяющего все возможные значения параметра, A – некоторое множество, определяющее интервал допустимых значений $[x_{д. мин}, x_{д. макс}]$ и являющееся подмножеством множества X , $x_{д. мин}$, $x_{д. макс}$ - минимальное и максимальное допустимые значения параметра x , являющиеся границами области гарантированной работоспособности. Значения этой функции указывают, является или не является x элементом множества A .

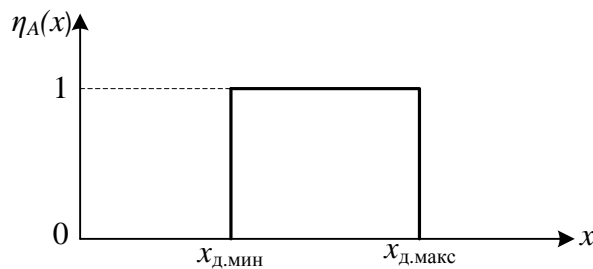


Рисунок 3.2 - Характеристическая функция множества значений параметра с лингвистической оценкой «годен»

В ситуации контроля ответственных и дорогостоящих систем такому бинарному подходу не хватает гибкости, так как отсутствуют качественные оценки промежуточных состояний параметра. Следует отметить, что недостатки такого рода оценивания параметров были отмечены в работах отечественных ученых Дилигенского Н.В. [40], Евланова Л.Г. [43], Клевцовой А.Б.[54, 55, 57], Клевцова С.И. [54, 55, 56], Матюшина М.М.[69], Саркисяна Х.В. [69], посвященных исследованию вопросов оценки работоспособных состояний технических систем.

Таким образом, бинарный подход к оценке контролируемых параметров является довольно грубым и не отвечает современным требованиям к обеспечению высокого уровня надежности и безопасности изделий [100, 101, 111]. Решением проблемы повышения точности оценок результатов параметрического контроля, качества распознавания и оценивания технического состояния БАСУ является разработка качественно новых моделей, алгоритмов и решающих

правил распознавания, позволяющих обнаруживать предотказные состояния БАСУ и выявлять факты предрасположенности к неустойчивости работоспособного состояния на ранних стадиях развития дефекта.

3.2.1 Классификатор и принципы классификации контролируемых параметров

Для повышения точности оценок результатов параметрического контроля разработан классификатор оценок контролируемых параметров, принципы классификации и методики идентификации параметров оценки технического состояния БАСУ.

В качестве параметров, подлежащих более точному оцениванию, предлагается выбрать критические параметры БАСУ, характеризующие работоспособность критичных элементов БАСУ [19, 32, 36, 115, 117]. Исходными данными для такой оценки критических параметров являются их численные значения, измеренные КПА. Перечень критических параметров определяется в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ 27.310 – 95 «Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения» и ГОСТ Р 51814.2 – 2001 «Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов». Он согласовывается разработчиками и ПЗ БАСУ при выработке требований к программе обеспечения его надежности, включаемых в контрактные документы (техническое задание или договор) с возможностью его корректировки на основании анализа экспериментальных и экспертных данных. Для оценки контролируемых параметров разработан классификатор, представленный на рисунке 3.3.

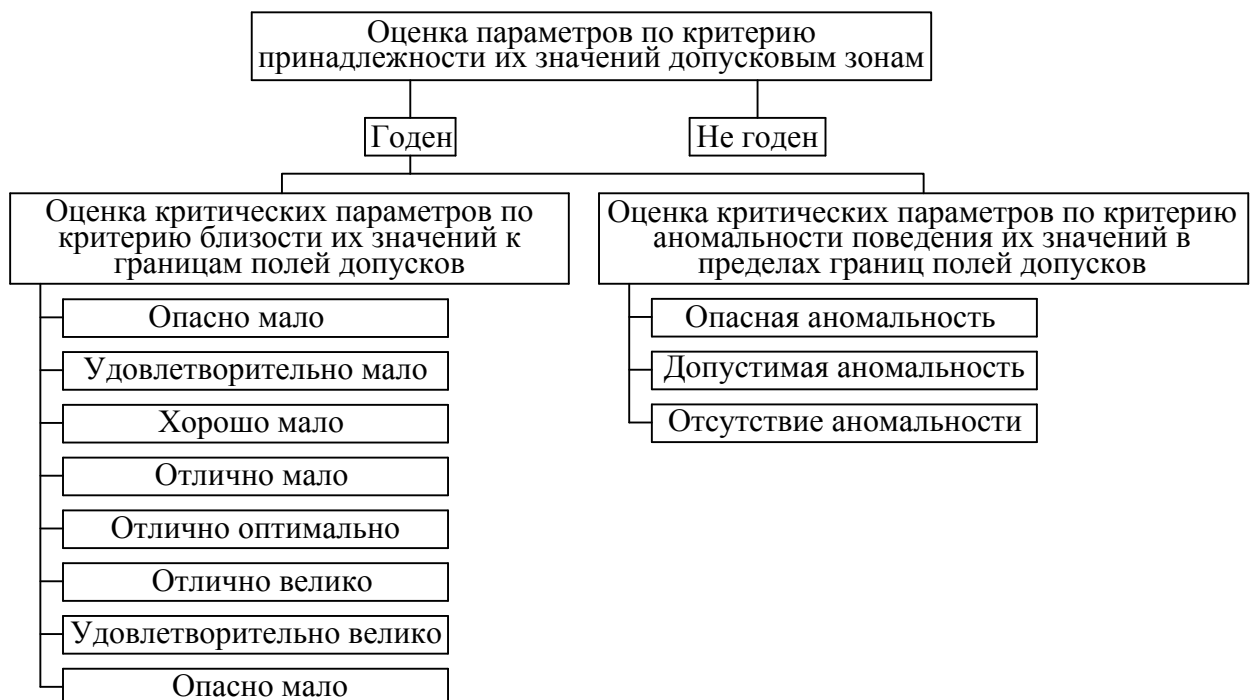


Рисунок 3.3 – Классификатор для оценки контролируемых параметров БАСУ

Построение классификатора основано на результатах обработки заключений определенного числа опытных специалистов-экспертов и анализа имеющейся базы данных результатов предыдущих испытаний. На рисунке 3.3 показано, что каждый класс оценок делится на подклассы. Выбор оптимального количества подклассов произведен с учетом необходимости обеспечить минимальную степень трудности при использовании классификатора в процессе контроля и максимальную согласованность экспертных суждений при ее создании. Предлагаемые градации качества отражают особенности человека, как субъекта принятия решений и обработки информации.

Далее рассмотрим принципы классификации, позволяющие разделить области возможных значений параметров на подклассы в зависимости от их свойств и признаков.

Классификация по критерию близости значений параметров к границам полей допусков основана на нечетко-множественном подходе к построению математической модели параметра и формализации экспертных знаний [17, 100, 101]. Теория нечетких множеств нашла широкое применение при решении трудноформализуемых задач, так как позволяет математически формализовать нечеткую экспертную информацию и разработать модели для дальнейшего ее использования при обработке данных. Описание значений параметра в виде лингвистической переменной является гораздо более естественным. В этом случае, функции принадлежности нечетких переменных задают степень или уверенность, с которой возможные значения параметра принадлежат нечетким множествам, описываемым этими функциями. С помощью математического аппарата теории нечетких множеств предлагается произвести разделение области допустимых значений критического параметра, имеющего лингвистическую оценку "годен", на подобласти, характеризующие степень выраженности этой оценки.

Общей теоретической базой для разработки принципа классификации послужили работы Аверкина А.Н.[1], Алтунина А.Е. [2], Дюбуа Д. [42], Заде Л.А. [45], Кофмана А. [60], Недосекина А.О. [81], Орловского С.А. [84], Поспелова Д.А. [90, 92], Рутковской Д. [93] и других ученых, в которых много внимания уделено представлению и обработке данных и знаний на основе теории нечетких множеств. Основные практические достоинства нечетко-множественного подхода подробно рассмотрены в публикации [101].

Рассмотрим процесс формализации неоднородной информации на основе теории нечетких множеств. Введем лингвистическую переменную «параметр», областью определения которой является интервал $[0, x_{пред}]$, где $x_{пред}$ – предельно возможное значение параметра x . Ее значениями являются нечеткие переменные «годен», «не годен меньше», «не годен больше». Для каждой переменной экспертами определяется диапазон допустимых значений.

На основании экспертных данных каждому значению лингвистической переменной ставится в соответствие функция принадлежности того или иного нечеткого множества. Например, для критических параметров рассматриваемой БАСУ, предлагается использовать непрерывную математическую модель параметра со стандартными формами функций принадлежности, графически представленными на рисунке 3.4, где $x_{опт}$ – оптимальное значение параметра x , $x_{мин}$ и $x_{макс}$ – минимальное и максимальное значения параметра x , являющиеся границами областей гарантированной неработоспособности, характеризуемой интервалами $[0, x_{мин}]$ и $[x_{макс}, x_{пред}]$. Нечеткую переменную «годен» описывает стандартная функция принадлежности $\mu_z(x)$ класса t , «негоден меньше» - $\mu_{нм}(x)$ класса L , «негоден больше» - $\mu_{нб}(x)$ класса γ [93]. Интервалы $[x_{мин}, x_{д.мин}[$ и $]x_{д.макс}, x_{макс}[$ характеризуют области негарантированной работоспособности, а интервал $[x_{д.мин}, x_{д.макс}]$ – область гарантированной работоспособности.

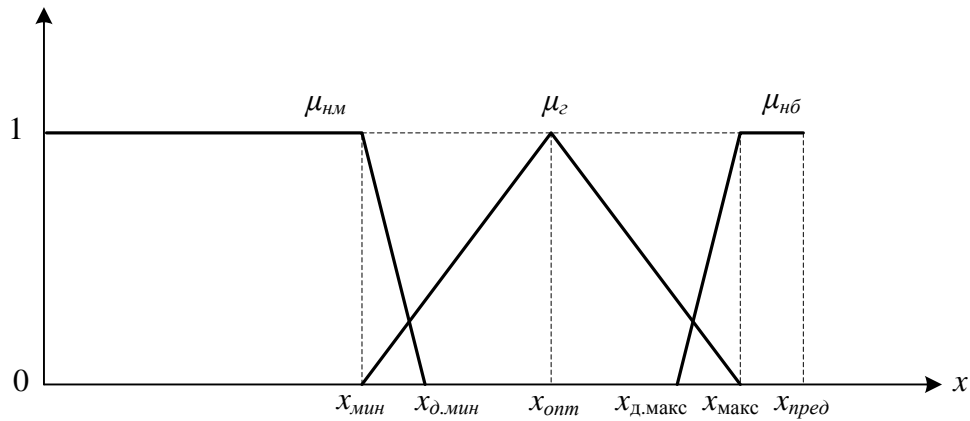


Рисунок 3.4 - Функции принадлежности нечетких переменных $\mu_{нм}$ («не годен меньше»), μ_z («годен»), $\mu_{нб}$ («не годен больше»)

Эти функции определяются следующими выражениями:

$$\mu_{нм}(x; x_{мин}, x_{д.мин}) = \begin{cases} 1, & x \leq x_{мин} \\ \frac{x_{д.мин} - x}{x_{д.мин} - x_{мин}}, & x_{мин} \leq x \leq x_{д.мин} \\ 0, & x \geq x_{д.мин} \end{cases}, \quad (3.2)$$

$$\mu_z(x; x_{мин}, x_{опт}, x_{макс}) = \begin{cases} 0, & x \leq x_{мин} \\ \frac{x - x_{мин}}{x_{опт} - x_{мин}}, & x_{мин} \leq x \leq x_{опт} \\ \frac{x_{макс} - x}{x_{макс} - x_{опт}}, & x_{опт} \leq x \leq x_{макс} \\ 0, & x \geq x_{макс} \end{cases}, \quad (3.3)$$

$$x_{опт} = x_{макс} - \frac{x_{макс} - x_{мин}}{2}, \quad (3.4)$$

$$\mu_{\text{нб}}(x; x_{\text{д.макс}}, x_{\text{макс}}) = \begin{cases} 0, & x \leq x_{\text{д.макс}} \\ \frac{x - x_{\text{д.макс}}}{x_{\text{макс}} - x_{\text{д.макс}}} & x_{\text{д.макс}} \leq x \leq x_{\text{макс}} \\ 1, & x \geq x_{\text{макс}} \end{cases} \quad (3.5)$$

Нечеткая переменная «годен» имеет нормальную и выпуклую функцию принадлежности, которая дает наглядное представление качественной информации о значениях параметра внутри этого множества. Такой подход к построению модели параметра является гораздо более естественным, чем традиционное описание с помощью характеристической функции (дискретной модели). В этом случае, функция принадлежности нечеткой переменной характеризует некоторое свойство параметра, а изменение степени принадлежности рассматривается как изменение интенсивности проявления этого свойства.

Далее необходимо определить границы между подклассами, установленными в классификаторе (рисунок 3.3). Для того чтобы сопоставить качественным наименованиям подклассов их количественную оценку в виде множеств допустимых значений, необходимо разбиение нечеткой переменной «годен» на четкие множества, соответствующие определенным ранее подклассам. Дискретизация нечеткой переменной на четкие множества производится на основе заданных экспертом значений α , которые называются α -уровнями. Выбранные α -уровни являются количественной характеристикой степени выраженности свойства «годен» отдельными значениями контролируемого параметра и равны заданному уровню уверенности эксперта в такой характеристике. На рисунке 3.5 показаны пять α -уровней и пять α -сечений (α -разрезов) нечеткой переменной «годен». Под α -сечением нечеткой переменной «годен», обозначаемым как A_{α} , понимается четкое множество, состоящее из элементов x , степени принадлежности которых нечеткой переменной «годен» не меньше числа α .

Интервалы достоверности α -сечений можно представить в виде следующих выражений:

$$A_{\alpha 1} = \{x \mid x_{\text{д.мин}} \leq x \leq x_{\text{д.макс}}\}, \quad (3.6)$$

$$A_{\alpha 2} = \{x \mid x_{21} \leq x \leq x_{22}\}, \quad (3.7)$$

$$A_{\alpha 3} = \{x \mid x_{31} \leq x \leq x_{32}\}, \quad (3.8)$$

$$A_{\alpha 4} = \{x \mid x_{41} \leq x \leq x_{42}\}, \quad (3.9)$$

$$A_{\alpha 5} = \{x \mid x = x_{\text{онм}}\}. \quad (3.10)$$

Множества значений параметра, соответствующие лингвистическим оценкам "опасно" ($A_{\text{он}}$), "удовлетворительно" ($A_{\text{уд}}$), "хорошо" ($A_{\text{хор}}$), "отлично" ($A_{\text{отл}}$), "отлично оптимально" ($A_{\text{онм}}$) можно представить в виде разности α -сечений:

$$A_{\text{он}} = A_{\alpha 1} \setminus A_{\alpha 2} = A_{\text{он.м}} + A_{\text{он.б}} = \{x \mid x_{\text{д.мин}} \leq x < x_{21}\} \cup \{x \mid x_{22} < x \leq x_{\text{д.макс}}\}, \quad (3.11)$$

$$A_{\text{уд}} = A_{\alpha 2} \setminus A_{\alpha 3} = A_{\text{уд.м}} + A_{\text{уд.б}} = \{x \mid x_{21} \leq x < x_{31}\} \cup \{x \mid x_{32} < x \leq x_{22}\}, \quad (3.12)$$

$$A_{хор} = A_{a3} \setminus A_{a4} = A_{хор.м} + A_{хор.в} = \{x/x_{31} \leq x < x_{41}\} \cup \{x/x_{42} < x \leq x_{32}\}, \tag{3.13}$$

$$A_{отл} = A_{a4} \setminus A_{a5} = A_{отл.м} + A_{отл.в} = \{x/x_{41} \leq x < x_{отл}\} \cup \{x/x_{отл} < x \leq x_{42}\}, \tag{3.14}$$

$$A_{отл} = A_{a5} = \{x/x = x_{отл}\}. \tag{3.15}$$

где $A_{отл.м}$ – множество значений параметра, соответствующее лингвистической оценке "опасно мало", $A_{отл.в}$ – "опасно велико", $A_{отл}$ – "отлично оптимально" и т.д.

Опорные значения границ подклассов, указанных выше множеств, определяются по формуле (3.3).

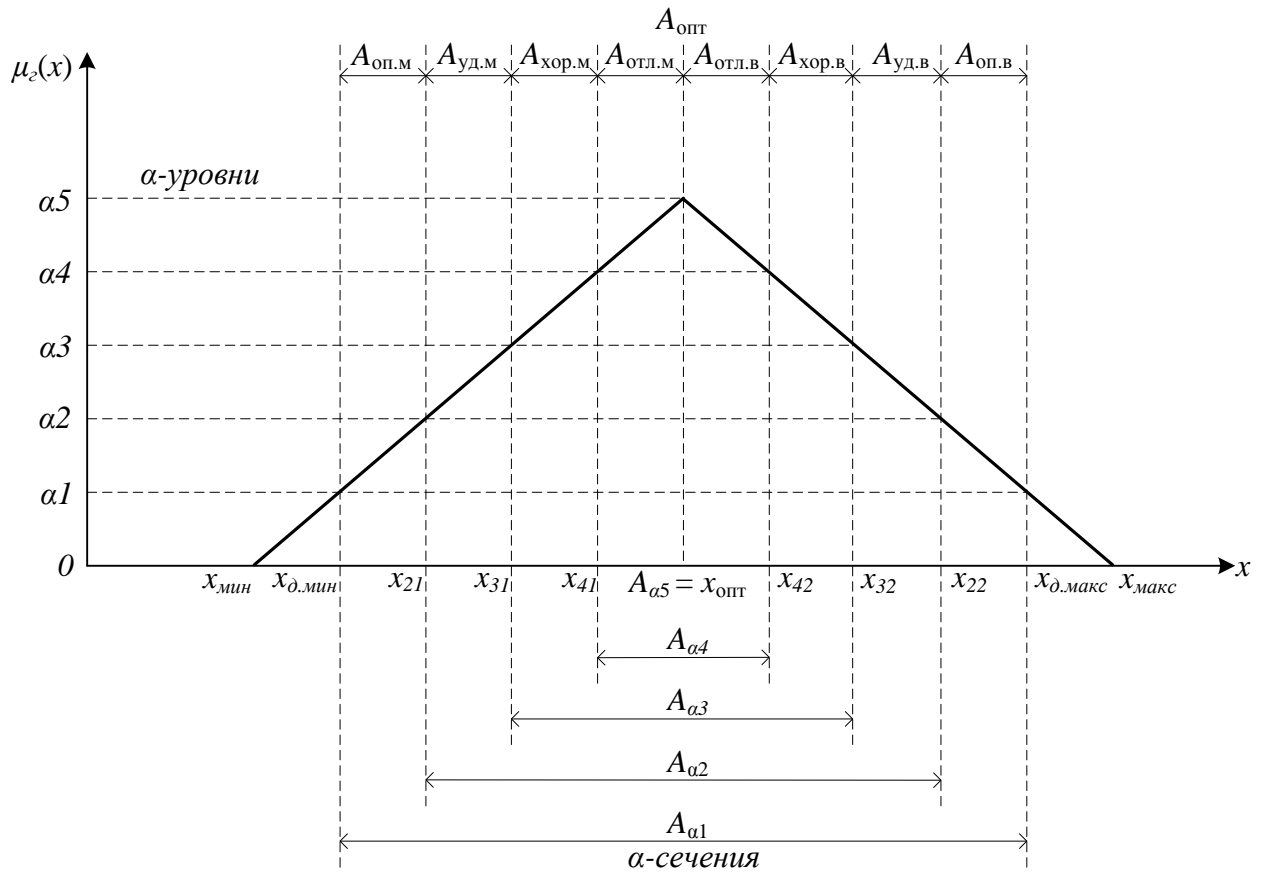


Рисунок 3.5 - Графическое представление α -уровней и α -сечений нечеткой переменной «годен»

Для классификации по критерию аномальности поведения значений критических параметров в пределах границ полей допусков необходимо задать числовые значения $\Delta x_{доп.макс}$ и $\Delta x_{доп.мин}$, используя знания опытных специалистов-экспертов. Значение Δx , представляет собой разность между максимальным и минимальным значением параметра из всех значений, полученных в ходе предъявительских испытаний, проведения технологического прогона и приемочного контроля. Значения $\Delta x_{доп.макс}$ и $\Delta x_{доп.мин}$ позволяют определить границы областей, соответствующих подклассам классификатора. Таким образом, подкласс «опасная

аномальность» представляет собой множество всех значений Δx , которые удовлетворяют условию больше $\Delta x_{kp} > \Delta x_{дон.маx}$ и, соответственно, «отсутствие аномальности» - $\Delta x_{kp} < \Delta x_{дон.мин}$, «допустимая аномальность» - $\Delta x_{дон.мин} \leq \Delta x_{kp} \leq \Delta x_{дон.маx}$.

Итак, предложенный классификатор и принципы классификации качественных оценок контролируемых параметров являются основой для дальнейшей разработки методик оценки критических параметров по предложенным выше критериям.

3.2.2 Методика оценки критических параметров по критерию близости к границам полей допусков

Формальная постановка задачи идентификации может быть сформулирована следующим образом.

Дано: числовые значения параметров x_{ij} , которые сформированы в отдельные множества $X_j = \{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{tj}\}$, составляющие $X = \{X_1, X_2, \dots, X_j\}$ - множество всех контролируемых параметров БАСУ, где t – количество контролируемых параметров в j – той тестовой проверке. Каждое такое множество X_j соответствует определенной проверке n_j , которая входит в набор проверок $N = \{n_1, n_2, \dots, n_m\}$, составляющий программу контроля, где m – количество тестовых проверок.

Требуется: разработать методику (построить алгоритм проведения идентификации) $A: X_k \rightarrow B$, способный идентифицировать произвольный параметр $x_k \in X_k$, где $X_k = \{x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kp}\}$ является множеством критических параметров, p – количество идентифицируемых критических параметров, а $B = \{B_1, \dots, B_s\}$ представляет собой классифицированное множество возможных качественных оценок параметра работоспособной системы, которое разбито на s областей. Результатом идентификации является отнесение контролируемого параметра в зависимости от его численного значения к определенной области из множества B и присвоение ему соответствующей качественной оценки, выраженной на естественном языке и сохраняющей семантическую достоверность экспертных оценок.

Оценка критических параметров по критерию близости их значений к границам полей допусков базируется на положении, что в процессе изготовления и работы в элементах БАСУ происходят процессы, чувствительные к некоторой совокупности дестабилизирующих факторов. Это может привести не только к внезапным отказам, характеризующимся скачкообразным изменением значений какого-либо контролируемого параметра, но и к постепенным отказам, возникающим в результате процессов ускоренной деградации в

радиоэлементах и характеризующимся постепенным изменением значений одного или нескольких параметров изделия. При этом всякие нарушения во время параметрического контроля БАСУ проявляются в виде информации, которая может быть получена от измерительных устройств.

Для получения качественных оценок критических параметров, т.е. отнесения измеренного значения к одному из выделенных подклассов состояний (рисунок 3.3) предлагается алгоритм идентификации, представляющий собой следующую последовательность шагов:

Шаг 1. Получение информации ИСППР от КПА в виде результатов параметрического контроля.

Шаг 2. Выборка значений критических параметров, получивших оценку «годен».

Шаг 3. Идентификация значений критических параметров.

Для идентификации значений критических параметров в соответствии с классификационными признаками предлагается использовать следующий набор производственных правил:

Правило 1: ЕСЛИ « $x \in A_{оп.м}$ », ТО « x – «опасно мало»,

Правило 2: ЕСЛИ « $x \in A_{оп.в}$ », ТО « x – «опасно велико»,

Правило 3: ЕСЛИ « $x \in A_{уд.м}$ », ТО « x – «удовлетворительно мало»,

Правило 4: ЕСЛИ « $x \in A_{уд.в}$ », ТО « x – «удовлетворительно велико»,

Правило 5: ЕСЛИ « $x \in A_{хор.м}$ », ТО « x – «хорошо мало»,

Правило 6: ЕСЛИ « $x \in A_{хор.в}$ », ТО « x – «хорошо велико»,

Правило 7: ЕСЛИ « $x \in A_{отл.м}$ », ТО « x – «отлично мало»,

Правило 8: ЕСЛИ « $x \in A_{отл.в}$ », ТО « x – «отлично велико»,

Правило 9: ЕСЛИ « $x \in A_{отт}$ », ТО « x – «отлично оптимально».

Шаг 4. Вывод лингвистических оценок критических параметров на экран монитора и запись в БД ИСППР.

Следует отметить, что предложенная методика может использоваться в системах контроля и диагностирования при решении следующих прикладных и исследовательских задач:

- повышения достоверности контроля;
- повышения производительности контроля за счет сокращения времени на анализ результатов тестовых проверок;
- уменьшения стоимости трудозатрат на проведение контроля;
- обнаружения предотказных состояний технических систем на очень ранних стадиях развития дефекта;
- оценки эффективности различных управляющих воздействий и прогнозирования их последствий;

- прогнозирования технического состояния изделия, его составных частей, дефектов и предотказных состояний в различных условиях эксплуатации;
- анализа влияния различных внешних факторов на параметры системы, качество ее функционирования, свойства системы и отдельных ее составных частей во время производственных испытаний и ее степени устойчивости к этим воздействиям;
- определения степени совершенства конструкции, технологии производства, правильности выбора номиналов элементов, схемных решений, режимов работы;
- принятия более обоснованных решений о пригодности изделия выполнять свои функции, об упреждающей настройке, регулировке запаса работоспособности ее составных частей, отладке их взаимодействия;
- оценки износа сложных систем, имеющих значительный срок эксплуатации, для продления их срока службы с возможной заменой отдельных блоков и узлов;
- перехода от системы планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания к стратегии управления эксплуатационной надежностью системы по ее фактическому техническому состоянию;
- ретроспективного анализа причин отказов технической системы;
- оптимизации программы, схемы и объема контроля, с учетом специфики работы каждой конкретной системы, ее составных частей в конкретных условиях производства и эксплуатации;
- мониторинга развития опасных тенденций изменения параметров для выявления потенциально дефектных составных частей системы;
- оптимизации номенклатуры и количества запасных частей, узлов, материалов.

Знание результатов классификации контролируемых параметров позволяет принять решение о применении системы, не прибегая к помощи специалистов высокой квалификации, хорошо знающих влияние каждого параметра на работоспособность системы, человеку сравнительно невысокой технической квалификации.

Таким образом, предложенная методика оценки критических параметров по критерию близости к границам полей допусков, основанная на формализации экспертных знаний с использованием математического аппарата теории нечетких множеств и продукционных правил логического вывода, позволяет оперативно обнаруживать и качественно оценивать недостаточный запас работоспособности критических параметров.

3.2.3 Методика оценки критических параметров по критерию аномальности поведения в пределах границ полей допусков

В технических системах с ограниченным ресурсом для минимизации возможных ухудшений рабочих характеристик изделия очень важно обнаружить появление необычного события как

можно раньше. Причиной нарушения работы БАСУ, как правило, являются скрытые дефекты, вызванные воздействием дестабилизирующих факторов в процессе изготовления. Нестабильность работы комплектующих элементов, наличие «холодных паяк» в монтажных соединениях сопровождаются изменениями значений контролируемых параметров. Существующая на сегодняшний день КПА БАСУ не способна зафиксировать подобные изменения, которые могут быть предвестником отказа системы. Поэтому, важной задачей предлагаемой технологии приемочного контроля БАСУ является своевременное обнаружение аномального поведения контролируемых параметров, вызванного наличием скрытых дефектов. Это позволит предотвратить развитие негативных процессов, приводящих к частичной или полной потере работоспособности изделия, на ранней стадии их развития.

Предлагаемая методика оценки критических параметров по критерию аномальности поведения в пределах границ полей допусков основана на вторичной обработке результатов измерений и предусматривает выполнение следующих этапов:

Этап 1. Получение от КПА и сохранение в БД ИСППР результатов параметрического контроля, полученных в ходе предъявительских испытаний, проведения технологического прогона и приемочного контроля.

Этап 2. Выборка из БД ИСППР совокупности данных измерений критических параметров, получивших оценку «годен».

Этап 3. Определение x_{kpmax} и x_{kpmin} для каждого p -го критического параметра.

Этап 4. Вычисление $\Delta x_{kp} = x_{kpmax} - x_{kpmin}$ для каждого p -го критического параметра.

Этап 5. Идентификация значений критических параметров на основе сравнения Δx_{kp} с $\Delta x_{доп. max}$ и $\Delta x_{доп. min}$. Для идентификации предлагается использовать следующий набор продукционных правил логического вывода:

Правило 1: ЕСЛИ « $\Delta x_{kp} > \Delta x_{доп. max}$ », ТО « x_{kp} – «опасная аномальность»»,

Правило 2: ЕСЛИ « $\Delta x_{доп. min} \leq \Delta x_{kp} \leq \Delta x_{доп. max}$ », ТО « x_{kp} – «допустимая аномальность»»,

Правило 3: ЕСЛИ « $\Delta x_{kp} < \Delta x_{доп. min}$ », ТО « x_{kp} – «отсутствие аномальности»».

Этап 6. Вывод лингвистических оценок критических параметров на экран монитора и запись в БД ИСППР.

Таким образом, предложенная методика оценки критических параметров по критерию аномальности поведения в пределах границ полей допусков, основанная на формализации экспертных знаний с использованием продукционных правил логического вывода и использовании результатов тестового контроля, полученных с предшествующих этапов изготовления, позволяет своевременно выявлять и качественно оценивать опасные изменения

критических параметров. Предложенные методики оценки критических параметров БАСУ являются основой для последующей разработки методики идентификации технического состояния БАСУ.

3.2.4 Методика многокритериальной идентификации технического состояния БАСУ

Техническое состояние объекта контроля характеризуется фактическими значениями контролируемых параметров, непосредственно определяющими его работоспособность. Согласно ГОСТ 19919-74 «Контроль автоматизированный технического состояния изделий авиационной техники. Термины и определения» техническое состояние – совокупность подверженных изменению в процессе производства или эксплуатации свойств объекта, характеризующая в определенный момент времени признаками, установленными технической документацией на этот объект. Не работоспособным называется состояние объекта, при котором значения хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствуют требованиям нормативной и (или) конструкторской (проектной) документации.

Предлагаемая методика многокритериальной идентификации технического состояния изделия основывается на использовании результатов оценки значений контролируемых параметров, полученных при анализе результатов измерений средствами КПА и ИСППР. Модель оценки строится на основе структурной декомпозиции БАСУ на составляющие компоненты. Графовая модель технического состояния БАСУ представлена на рисунке 3.6, где O – интегральная лингвистическая оценка текущего состояния БАСУ, $\overline{x_{qj}}$ – лингвистическая оценка значения параметра из множества всех контролируемых параметров БАСУ по критерию принадлежности допусковым зонам, $q = \overline{1, t}$, t – количество контролируемых параметров в тестовой проверке, j – номер проверки, $\overline{x_{ki}^a}$ – лингвистическая оценка значения критического параметра по критерию аномальности поведения в пределах границ полей допусков, $\overline{x_{ki}^b}$ – лингвистическая оценка значения критического параметра по критерию близости к границам полей допусков, $i = \overline{1, p}$. Лингвистическая оценка технического состояния БАСУ может принимать одно из двух взаимоисключающих значений: «работоспособное состояние» и «неработоспособное состояние».

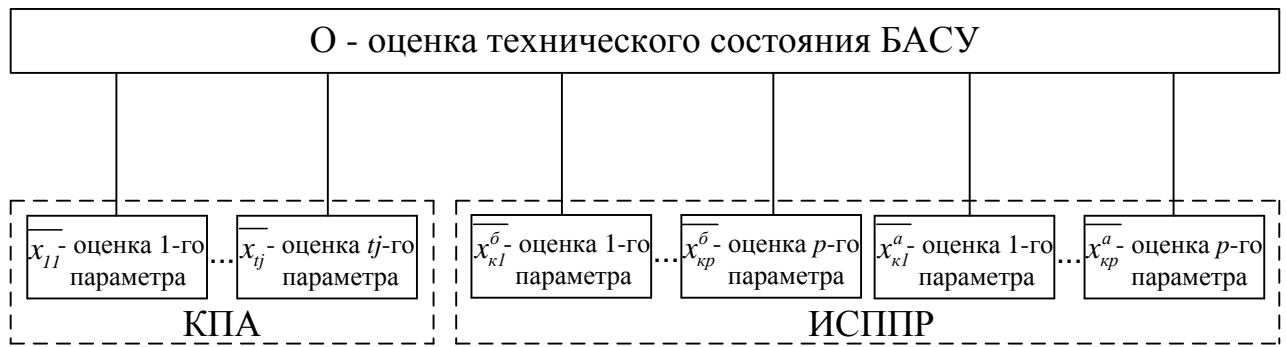


Рисунок 3.6 - Графовая модель технического состояния БАСУ

Для идентификации технического состояния БАСУ предлагается использовать методику, состоящую из следующей последовательности шагов:

Шаг 1. Идентификация каждого параметра всей совокупности контролируемых параметров по критерию принадлежности значений параметров допусковым зонам на основе существующей методики, реализованной в КПА. Результатом идентификации параметров является присвоение каждому параметру лингвистической оценки «годен» или «не годен».

Шаг 2. Выборка из КПА и запись в ИСППР измеренных значений критических параметров с оценкой «годен».

Шаг 3. Идентификация критических параметров с оценкой «годен» в соответствии с методикой оценки критических параметров по критерию близости к границам полей допусков. Результатом идентификации параметров является присвоение каждому параметру одной из следующих лингвистических оценок: «опасно мало», «удовлетворительно мало», «хорошо мало», «отлично мало», «отлично оптимально», «отлично велико», «хорошо велико», «удовлетворительно велико», «опасно велико».

Шаг 4. Идентификация критических параметров с оценкой «годен» в соответствии с методикой оценки критических параметров по критерию аномальности поведения в пределах границ полей допусков. Результатом идентификации параметров является присвоение каждому параметру одной из следующих лингвистических оценок: «опасная аномальность», «допустимая аномальность», «отсутствие аномальности».

Шаг 5. Идентификация технического состояния БАСУ производится с использованием следующего набора продукционных правил логического вывода:

Правило 1: ЕСЛИ «есть одна из оценок $\overline{x_{ij}}$ «не годен»», ТО «первая предварительная оценка вида технического состояния БАСУ - «неработоспособное состояние по критерию принадлежности значений параметров допусковым зонам», ИНАЧЕ «первая предварительная

оценка вида технического состояния БАСУ - «работоспособное состояние по критерию принадлежности значений параметров допусковым зонам»;

Правило 2: ЕСЛИ «есть одна из оценок $\overline{x_{ki}^b}$ «опасно мало» или «опасно велико», ТО «вторая предварительная оценка вида технического состояния БАСУ - «неработоспособное состояние по критерию близости значений параметров к границам полей допусков» », ИНАЧЕ «вторая предварительная оценка вида технического состояния БАСУ - «работоспособное состояние по критерию близости значений параметров к границам полей допусков»»;

Правило 3: ЕСЛИ «есть одна из оценок $\overline{x_{ki}^a}$ «опасная аномальность», ТО «третья предварительная оценка вида технического состояния БАСУ - «неработоспособное состояние по критерию аномальности поведения значений параметров в пределах границ полей допусков», ИНАЧЕ «третья предварительная оценка вида технического состояния БАСУ - «работоспособное состояние по критерию аномальности поведения значений параметров в пределах границ полей допусков»»;

Правило 4: ЕСЛИ «есть одна из трех предварительных оценок вида технического состояния БАСУ «неработоспособное состояние по критерию принадлежности значений параметров допусковым зонам», «неработоспособное состояние по критерию близости значений параметров к границам полей допусков» или «неработоспособное состояние по критерию аномальности поведения значений параметров в пределах границ полей допусков», ТО «вид технического состояния БАСУ - «неработоспособное состояние», ИНАЧЕ «вид технического состояния БАСУ - «работоспособное состояние»».

Шаг 6. Вывод лингвистической оценки технического состояния БАСУ на экран монитора и запись в БД ИСППР.

Таким образом, предложена новая методика многокритериальной идентификации технического состояния объекта контроля, основанная на качественной оценке значений критических параметров с помощью математического аппарата нечетких множеств и продукционной системы логического вывода, позволяющая:

- получить достоверную оценку технического состояния;
- обнаружить предотказное состояние БАСУ, выявить факты предрасположенности к неустойчивости работоспособного состояния на ранних стадиях развития дефекта;
- принимать обоснованные решения, направленные на предупреждение потенциальных отказов для предотвращения нештатных и аварийных ситуаций в условиях эксплуатации;
- своевременно провести восстановительные и предупредительные мероприятия (настройки, дополнительной регулировки, отладки взаимодействия составных частей в составе изделия и

т.д.), направленные на увеличение запаса работоспособности и обеспечение устойчивой работы БАСУ, т.е. увеличению фактического ресурса БАСУ.

3.3 Разработка методики оптимизации процедуры диагностирования на основе байесовской и прецедентной модели представления знаний

Сохранение технического ресурса изделия в процессе производства непосредственно связано с сокращением выработки ресурса при проведении операций контроля и диагностирования в ситуации неполного обнаружения неисправностей. Для решения задачи повышения эффективности диагностирования необходимо разработать соответствующие модели и методики, позволяющие решать задачи поиска неисправностей в БАСУ в условиях неопределенности и неполноты информации.

Общей теоретической базой для разработки методик и алгоритмов диагностирования послужили работы отечественных и зарубежных исследователей, а именно: Пархоменко П.П. [86, 87], Согомоняна Е.С. [123], Карибского В.В.[52], Мозгалевского А.В. [74, 75], Гаскарова Д.В. [73], Кузнецова П.И. [61], Тулупьева А.Л. [125], Николенко С.И. [125], Сироткина А.В. [125], Нечаева Ю.И. [82], Дегтярева А.Б. [82], Портнягина Н.Н. [89], Пюкке Г.А. [89], Бидюка П.И. [3], Фефелова А.А. [126], Еремеева А.П. [8, 9, 12], Варшавского П.Р. [10, 11, 13, 14], Терехова С.А. [124], Шалашова И.В. [128], Милова В.Г. [72], Шевцовой Ю.В. [129], Вагина В.Н. [6, 7], Карпова Л.Е. [53], Крупского М.А. [38], Юдина В.Н. [53], Pearl J. [134], Heckerman D.E. [131, 132], Horvitz E.J. [131, 133].

При поиске математического аппарата, позволяющего копировать, моделировать и тиражировать при помощи ИСППР рассуждения, опыт и знания высококвалифицированных специалистов, которые довольно успешно решают задачи оценки технического состояния БАСУ и оптимизации процедуры диагностирования при наличии неопределенностей в результатах контроля, были выбраны байесовский и прецедентный подходы к моделированию. Выбранные подходы, представляющие разные концепции обработки знаний, положены в основу предлагаемых ниже методик оптимизации процедуры диагностирования.

3.3.1 Методика оптимизации процедуры диагностирования при неполном обнаружении неисправностей на основе БСД

Согласно ГОСТ 20911-89 под техническим диагностированием понимается определение технического состояния объекта, а задачами технического диагностирования являются: контроль технического состояния объекта, поиск места и определение причин отказа (неисправности), прогнозирование технического состояния.

В соответствии с ГОСТ 20911-89 постановка задачи диагностирования при байесовском подходе выглядит следующим образом:

1. Имеется изделие, которое находится в неработоспособном состоянии.
2. Известна совокупность двухрядных диагностических признаков (результатов тестовых проверок), каждый из которых с определенной вероятностью характеризует состояние составных частей изделия.
3. Требуется построить решающее правило, позволяющее, на основе, реализованной у диагностируемого объекта, совокупности признаков, ранжировать вероятности неработоспособных состояний составных частей изделия в направлении убывания их значений.

На сегодняшний день одной из наиболее подходящих моделей, позволяющих гибко и адекватно описывать интеллектуальное поведение высококвалифицированных специалистов при диагностировании сложных систем в условиях неопределенности и предназначенных для работы с неполной и неточной информацией при поиске места неисправности, являются БСД. Самое широкое применение БСД нашли в решении задач в области медицины (уточнение диагнозов, диагностирование заболеваний лимфатических узлов [131]), технического диагностирования двигателей различного назначения, электрического оборудования автомобилей [126], в системах поддержки принятия решений (система Vista, применяемая в Центре управления полетами NASA в Хьюстоне [133]), в системах автоматического распознавания речевых сигналов, обработки изображений и классификации данных различной природы.

Вероятностный подход к решению задач поиска и локализации неисправностей на основе математического аппарата БСД обладает следующими основными достоинствами:

- возможностью его реализации на базе существующих средств контроля и диагностирования БАСУ, обладающих отработанной технологией;
- базированием БСД на фундаментальных положениях и результатах теории вероятности [15], разрабатываемых в течение многих лет;
- обоснованностью результатов моделирования рассуждений знаниями экспертов, представленными как структурой графа сети доверия, так и в форме таблиц условных вероятностей в узлах сети доверия;
- возможностью экономии времени и ресурсов, сведением помощи более опытных специалистов к минимуму;
- возможностью быстрого осмысления ситуаций и наглядного представления взаимодействия элементов (переменных) при представлении модели процесса в виде графа. Как правило, человек интерпретирует события с точки зрения причинно-следственного подхода, что упрощает понимание математических моделей пользователем;

- наглядностью и компактностью представления вероятностных зависимостей и совместного распределения вероятности случайных величин, описывающих некоторое явление или процесс;
- простотой компьютерной реализации. БСД опираются на доступные программные технологии (Hugin Expert, Microsoft Bayesian Network Editor, Bayes Net Toolbox for Matlab);
- возможностью использования априорного опыта экспертов и учета объективной информации, полученной при проведении экспериментов (опытов) или накопленной в результате длительных наблюдений [98, 106];
- возможностью моделирования редких событий, в условиях отсутствия достаточного объема статистических данных;
- возможностью корректировки используемых моделей и их параметров с учетом поступления новой информации о поведении исследуемого объекта.

Основным недостатком использования сети доверия является сложность и длительность процесса заполнения таблиц условных вероятностей.

Несмотря на то, что байесовским сетям уделяется много внимания в зарубежной литературе, принципы их построения, обучения и использования, применительно к решению задач диагностирования, еще недостаточно освещены в отечественных публикациях, что существенно затрудняет их понимание и применение.

БСД – это вероятностная графическая модель событий и процессов на основе объединения некоторых результатов теории вероятностей и теории графов. Качественно БСД представляет собой направленный ациклический граф, в котором не существует направленного маршрута, начинающегося и заканчивающегося в одном и том же узле, т.е. отсутствуют направленные циклы. Граф состоит из узлов и дуг, которые соединяют эти узлы. Узлы представляют собой случайные переменные, которые могут быть дискретными или непрерывными. Дуги отображают причинно-следственные связи между переменными, благодаря чему БСД еще иногда называют причинно-следственными сетями. Отсутствие дуги между двумя переменными указывает на их условную независимость; т.е. вероятность одной из переменных не зависит непосредственно от состояния другой. В причинно-следственных сетях родительские узлы представляют собой причины (гипотезы), а дочерние – следствия (свидетельства). Количественно БСД представлена в виде набора таблиц условных и безусловных вероятностей своих состояний. Построение БСД основано на использовании априорных знаний или субъективных суждений о предметной области, т.е. знаний, приобретенных до наблюдений и экспериментов. Они могут быть получены на основе анализа имеющейся базы данных результатов предыдущих испытаний, предварительных экспериментов, опроса опытных специалистов (экспертов), экспертных заключений, интуиции,

логических умозаключений, модельных гипотез и ожиданий. В дальнейшем эти знания могут подвергаться постепенному уточнению.

Основой для принятия решений в условиях неопределенности на основе байесовских сетей является байесовский (апостериорный) вывод. Он заключается в следующем: вычисляются вероятности состояний интересующих нас узлов на основе поступившей информации о значении других узлов. Можно сказать, что информация, приходящая в наблюдаемые переменные (дочерние узлы), распространяется внутри байесовской сети и изменяет вероятностные распределения ненаблюдаемых переменных (родительские узлы) [97].

БСД базируются на фундаментальных положениях и результатах теории вероятности, однако, байесовское понимание вероятности в отличие от частотного – это степень уверенности в истинности суждения. Математический аппарат байесовских сетей основан на использовании четырех основных правил: формулы Байеса, формулы полной вероятности, правила обобщенной суммы и цепного правила. Более подробную информацию о БСД можно найти в [124, 125, 129].

Методика оптимизации процедуры диагностирования составных частей БАСУ в условиях ограниченной информации базируется на диагностической модели, которая устанавливает связь между возможными состояниями составных частей БАСУ и их отображением в пространстве диагностических признаков [97]. При построении БСД была выполнена следующая последовательность действий:

- анализ процесса диагностирования изделия;
- генерация топологии сети;
- определение безусловных вероятностей состояний для родительских узлов, характеризующих техническое состояние составных частей изделия и составление таблиц распределения безусловных вероятностей;
- определение условных вероятностей состояний для дочерних узлов, характеризующих состояние тестовых проверок и составление таблиц распределения условных вероятностей.

В результате анализа ситуаций, когда возникают неопределенности при локализации неисправностей с точностью до конкретной составной части, были определены конкретные составные части изделия и тестовые проверки, связанные с таким положением, а также причинно-следственные связи, установленные между ними.

БСД построена таким образом, что ненаблюдаемые переменные (составные части БАСУ) находятся в корневых узлах ациклического графа, а наблюдаемые (тестовые проверки) располагаются в нижнем уровне сети. Между узлами сети установлены причинно-следственные связи. Оценка безусловных вероятностей для ненаблюдаемых и условных вероятностей для наблюдаемых переменных сети, была получена на основе анализа имеющейся базы данных

результатов предыдущих испытаний и опроса опытных специалистов (экспертов). Здесь следует сказать, что данной оценке подвергаются лишь те переменные, которые имеют непосредственное влияние (прямую связь) на своего потомка. Результаты оценки выражаются в виде таблиц безусловных и условных вероятностей.

На рисунке 3.7 показана топология байесовской сети для процесса диагностирования БАСУ. Здесь A_1 – радиовысотомер, A_2 – прибор преобразования информации БЦВМ и смежных систем, A_3 – усилитель рулевого агрегата, A_4 – прибор кроссировки и коммутации, A_5 – датчик угловых скоростей, $B_1 \dots B_7$ – тестовые проверки №1...№7. Целевым состоянием узлов сети является неработоспособное состояние и отрицательный результат тестовой проверки.

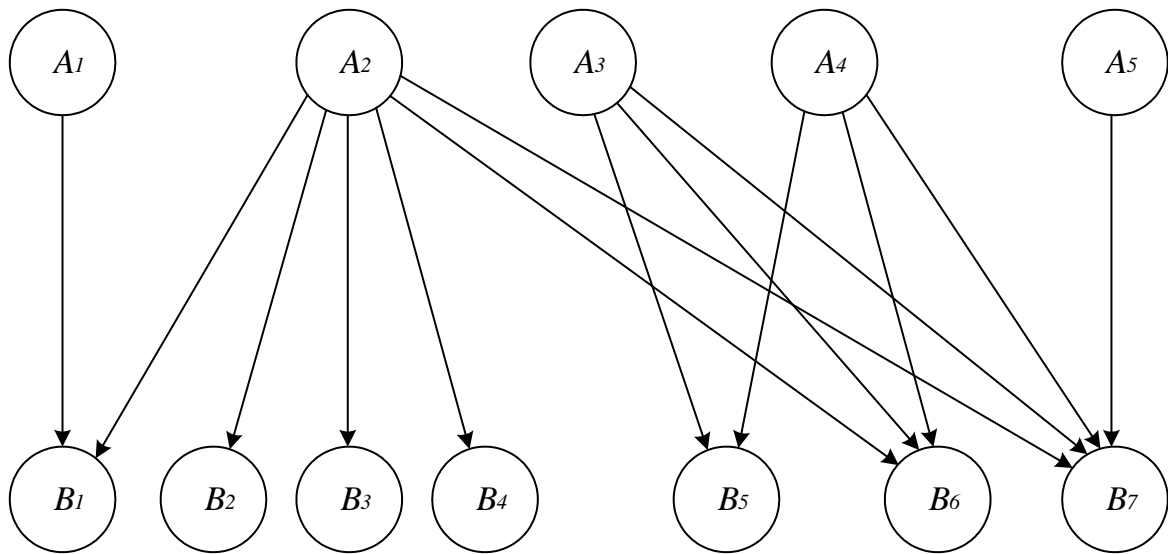


Рисунок 3.7 - Топология байесовской сети для процесса диагностирования БАСУ

Переменные в узлах БСД являются булевыми. Значения переменных A_1, \dots, A_5 , соответствующие неработоспособному состоянию, равняются 1, а работоспособному, соответственно, 0. Значения переменных B_1, \dots, B_7 , соответствующие отрицательному результату тестовой проверки, равняются 1, а положительному результату, соответственно, 0. На приведенном выше рисунке дано графическое представление БСД. Однако, это только качественное представление БСД. Ее количественным представлением является множество таблиц безусловных и условных вероятностей. В качестве примера в таблице 3.1 приведены значения условных вероятностей для переменной B_1 (тестовая проверка №1).

В данной таблице перечислены вероятности всех возможных значений текущей переменной при условии принятия всех возможных значений ее родительскими переменными.

Предлагаемая методика оптимизации процедуры диагностирования составных частей БАСУ конкретизирует отдельные положения известного метода [126], интерпретирует их в терминах рассматриваемой проблемной области и распространяет его на новый класс технических систем. Диагностическая модель, построенная на основе БСД, используется для вывода

суждений, основанных на поступившей информации о результатах прохождения тестовых проверок. По результатам тестирования в диагностической модели происходит установка значений переменных B_1, \dots, B_7 , соответствующих результатам тестовой проверки. Вывод суждений происходит посредством изменения степеней доверия к другим случайным переменным A_1, \dots, A_5 , соответствующих неработоспособному состоянию каждой составной части БАСУ. Следовательно, можно сказать, что информация, приходящая в наблюдаемые переменные, распространяется внутри байесовской сети и изменяет вероятностные распределения ненаблюдаемых переменных. Вычисление вероятностей неработоспособных состояний составных частей БАСУ дает возможность их ранжировать и сравнивать. Диагностирование начинают с того узла, у которого вероятность отказа является максимальной. Выбор такой составной части изделия означает принятие решения о его демонтаже из БАСУ и проведении дальнейшего диагностирования на отдельном специализированном стенде.

Таблица 3.1 - Значения условных вероятностей $P(B_1/A_1, A_2)$

A_1	A_2	$P(B_1 = 1/A_1, A_2)$	$P(B_1 = 0/A_1, A_2)$
1	1	0,95	0,05
1	0	0,95	0,05
0	1	0,15	0,85
0	0	0,05	0,95

Алгоритм оптимизации процедуры диагностирования составных частей БАСУ представляет собой следующую последовательность шагов:

Шаг 1. Получение информации от КПА о результатах тестовых проверок. Установка соответствующих значений переменных B_1, \dots, B_7 БСД.

Шаг 2. Вычисление апостериорных вероятностей неработоспособных состояний составных частей БАСУ A_1, \dots, A_5 в соответствии с установленными значениями переменных B_1, \dots, B_7 .

Шаг 3. Ранжирование вычисленных вероятностей неработоспособных состояний составных частей БАСУ A_1, \dots, A_5 в направлении убывания их значений, что и является оптимальным решением.

Шаг 4. Выполнение тестовых проверок на специализированном стенде, начиная с той составной части БАСУ, чья вероятность неработоспособного состояния характеризуется наибольшим значением.

Рассмотрим пример поиска отказа фрагмента БАСУ, модель которого в виде БСД представлена на рисунке 3.8, где A_1 – радиовысотомер, A_2 – прибор преобразования информации

БЦВМ и смежных систем, B_1 , B_2 – тестовая проверка № 1 и 2 соответственно. Значения вероятностей, указанные в таблицах 3.2 – 3.5, получены на основе анализа имеющейся базы данных результатов предыдущих испытаний и опроса опытных специалистов (экспертов).

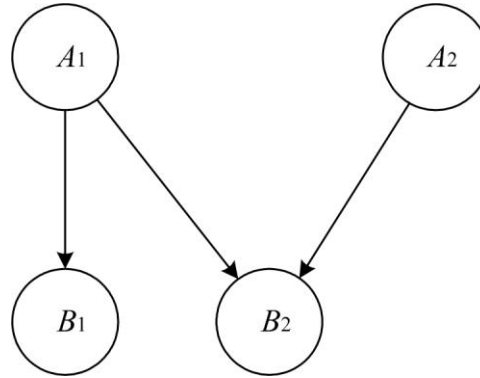


Рисунок 3.8 - Топология байесовской сети для процесса диагностирования фрагмента БАСУ

Таблица 3.2 - Значения безусловных вероятностей $P(A_1)$

$P(A_1 = 1)$	$P(A_1 = 0)$
0,11	0,89

Таблица 3.3 - Значения безусловных вероятностей $P(A_2)$

$P(A_2 = 1)$	$P(A_2 = 0)$
0,1	0,9

Таблица 3.4 - Значения условных вероятностей $P(B_1/A_1)$

B_1	$P(B_1/A_1=1)$	$P(B_1/A_1=0)$
1	0,96	0,04
0	0,04	0,96

Таблица 3.5 - Значения условных вероятностей $P(B_2/ A_1, A_2)$

B_2	$P(B_2/ A_1, A_2=1)$		$P(B_2/ A_1, A_2=0)$	
	$A_1=1$	$A_1=0$	$A_1=1$	$A_1=0$
1	0,94	0,6	0,9	0,03
0	0,06	0,4	0,1	0,97

Пример 1. По результатам тестовых проверок переменные B_1 и B_2 принимают следующие значения: $B_1 = 1$, $B_2 = 1$, т.е. оба теста показали наличие неисправности. Необходимо вычислить апостериорные вероятности $P(A_1 = 1|B_1 = 1, B_2 = 1)$ и $P(A_2 = 1|B_1 = 1, B_2 = 1)$, т.е. вероятности

неработоспособного состояния радиовысотомера и прибора преобразования информации БЦВМ и смежных систем при условии, что $B_1 = 1$ и $B_2 = 1$.

Для выполнения расчетов применялись следующие формулы:

1. Формула Байеса:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B)}, \quad (3.16)$$

где $P(A)$ - безусловная вероятность наступления события A (априорная вероятность), $P(A|B)$ - условная вероятность наступления события A при наличие информации о событии B (апостериорная вероятность), $P(B|A)$ условная вероятность появления информации о событии B при наступлении события A , $P(B)$ - полная вероятность наступления события B .

2. Формула полной вероятности:

$$P(B) = \sum_{i=1}^n P(A_i) \cdot P(B|A_i). \quad (3.17)$$

3. Правило обобщенной суммы или правило суммирования:

$$P(B) = \sum_A P(B, A). \quad (3.18)$$

5. Формула вероятности совместного наступления событий:

$$P(C_1, \dots, C_n) = P(C_1) \cdot P(C_2|C_1) \cdot P(C_3|C_1, C_2) \cdot \dots \cdot P(C_n|C_1, C_2, \dots, C_{n-1}), \quad (3.19)$$

где $C_1, \dots, C_n \in W$ - конечное множество переменных, соответствующих узлам байесовской сети.

4. Цепное правило:

$$P(C_1, \dots, C_n) = \prod_{i=1}^n P(C_i|C_1, \dots, C_{i-1}), \quad (3.20)$$

Вероятность совместного появления событий A_1, A_2, B_1, B_2 имеет следующий вид [124, с. 160]:

$$P(A_1, A_2, B_1, B_2) = P(A_1) \cdot P(A_2|A_1) \cdot P(B_2|A_1, A_2) \cdot P(B_1|A_1, A_2, B_2). \quad (3.21)$$

В БСД (рисунок 3.8) ориентированные ребра графа отражают те вероятности, которые реально имеют место в данном примере. Так как A_2 не зависит от A_1 , а B_1 не зависит от A_2, B_2 , то это обстоятельство позволяет нам представить в соответствии с цепным правилом совместное распределение вероятностей более компактно [124, с. 160]:

$$P(A_1, A_2, B_1, B_2) = P(A_1) \cdot P(A_2) \cdot P(B_2|A_1, A_2) \cdot P(B_1|A_1). \quad (3.22)$$

Вычислим вероятности неработоспособных состояний составных частей A_1 и A_2 , просуммировав их совместное распределение:

$$P(A_1 = 1 | B_1 = 1, B_2 = 1) = \frac{P(A_1 = 1, B_1 = 1, B_2 = 1)}{P(B_1 = 1, B_2 = 1)} = \frac{\sum_{A_2=\{1,0\}} P(A_1 = 1, A_2, B_1 = 1, B_2 = 1)}{\sum_{\substack{A_1=\{1,0\} \\ A_2=\{1,0\}}} P(A_1, A_2, B_1 = 1, B_2 = 1)}, \quad (3.23)$$

$$\sum_{A_2=\{1,0\}} P(A_1 = 1, A_2, B_1 = 1, B_2 = 1) = P(A_1) \cdot P(A_2 = 1) \cdot P(B_2 | A_1, A_2 = 1) \cdot P(B_1 | A_1) + P(A_1) \times \\ \times P(A_2 = 0) \cdot P(B_2 | A_1, A_2 = 0) \cdot P(B_1 | A_1) = 0,11 \cdot 0,1 \cdot 0,94 \cdot 0,96 + 0,11 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,96 = 0,0954624; \quad (3.24)$$

$$\sum_{\substack{A_1=\{1,0\} \\ A_2=\{1,0\}}} P(A_1, A_2, B_1 = 1, B_2 = 1) = P(A_1 = 1) \cdot P(A_2 = 1) \cdot P(B_2 | A_1 = 1, A_2 = 1) \cdot P(B_1 | A_1 = 1) + \\ + P(A_1 = 0) \cdot P(A_2 = 1) \cdot P(B_2 | A_1 = 0, A_2 = 1) \cdot P(B_1 | A_1 = 0) + P(A_1 = 1) \cdot P(A_2 = 0) \times \\ \times P(B_2 | A_1 = 1, A_2 = 0) \cdot P(B_1 | A_1 = 1) + P(A_1 = 0) \cdot P(A_2 = 0) \cdot P(B_2 | A_1 = 0, A_2 = 0) \cdot P(B_1 | A_1 = 0) = \\ = 0,11 \cdot 0,1 \cdot 0,94 \cdot 0,96 + 0,89 \cdot 0,1 \cdot 0,6 \cdot 0,04 + 0,11 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,96 + 0,89 \cdot 0,9 \cdot 0,03 \cdot 0,04 = 0,0985596; \quad (3.25)$$

$$P(A_1 = 1 | B_1 = 1, B_2 = 1) = \frac{0,0954624}{0,0985596} = 0,968575359 \approx 0,97;$$

$$P(A_2 = 1 | B_1 = 1, B_2 = 1) = \frac{P(A_2 = 1, B_1 = 1, B_2 = 1)}{P(B_1 = 1, B_2 = 1)}; \quad (3.26)$$

$$P(A_2 = 1, B_1 = 1, B_2 = 1) = \sum_{A_1=\{1,0\}} P(A_1, A_2 = 1, B_1 = 1, B_2 = 1) = P(A_1 = 1) \cdot P(A_2) \times \\ \times P(B_2 | A_1 = 1, A_2) \cdot P(A_2) \cdot P(B_2 | A_1 = 1, A_2) \cdot P(B_1 | A_1 = 1) + P(A_1 = 0) \cdot P(A_2) \cdot P(B_2 | A_1 = 0, A_2) \times \\ \times P(B_1 | A_1 = 0) = 0,11 \times 0,1 \times 0,94 \times 0,96 + 0,89 \times 0,1 \times 0,6 \times 0,04 = 0,0120624; \quad (3.27)$$

$$P(A_2 = 1 | B_1 = 1, B_2 = 1) = \frac{0,0120624}{0,0985596} = 0,12238686 \approx 0,12.$$

Таким образом, при отрицательных результатах прохождения тестовых проверок B_1 и B_2 значение вероятности неработоспособного состояния радиовысотомера больше, чем прибора преобразования информации БЦВМ и смежных систем. Следовательно, радиовысотомер должен быть демонтирован из БАСУ для проведения дальнейших тестовых проверок на специализированном стенде.

Пример 2. По результатам тестовых проверок переменные B_1 и B_2 принимают следующие значения: $B_1 = 0$, $B_2 = 1$. Необходимо вычислить апостериорные вероятности $P(A_1 = 1 | B_1 = 0, B_2 = 1)$ и $P(A_2 = 1 | B_1 = 0, B_2 = 1)$.

$$P(A_1 = 1 | B_1 = 0, B_2 = 1) = \frac{P(A_1 = 1, B_1 = 0, B_2 = 1)}{P(B_1 = 0, B_2 = 1)} = \frac{0,0039776}{0,0783104} = 0,050792742 \approx 0,05;$$

$$P(A_2 = 1 | B_1 = 0, B_2 = 1) = \frac{P(A_2 = 1, B_1 = 0, B_2 = 1)}{P(B_1 = 0, B_2 = 1)} = \frac{0,0516776}{0,0783104} = 0,65990724 \approx 0,66.$$

При заданных результатах тестовых проверок должен быть демонтирован из БАСУ прибор преобразования информации БЦВМ и смежных систем для проведения дальнейших тестовых проверок на специализированном стенде.

Таким образом, построена байесовская сетевая модель диагностирования БАСУ и на ее основе разработана методика оптимизации процедуры диагностирования при неполном обнаружении неисправностей путем ранжирования апостериорных вероятностей отказа составных частей изделия, позволяющая в автоматическом режиме проводить анализ и поиск неисправностей и минимизировать расходование ресурса изделия.

3.3.2 Методика формирования моделей прецедента и библиотеки прецедентов

Разработка методики диагностирования на основе правдоподобных рассуждений по прецедентам предполагает предварительное решение следующих задач:

- обоснование целесообразности применения прецедентного подхода к решению задач представления, хранения и обработки диагностической информации;
- разработка методики формирования моделей прецедента и библиотеки прецедентов, ориентированных на применение в рамках ИСППР при выполнении оценки результатов параметрического контроля.

Как показывает практика, при принятии решений в процессе диагностирования БАСУ, требующих учета неопределенностей различной степени и характера, решающую роль играет высокая квалификация опытных специалистов. Они предлагают оптимальное решение, на основании сочетания теоретического понимания проблемы и практических навыков ее решения [103, 105, 110, 119], эффективность которых доказана в результате практической деятельности в данной области. Одним из таких естественных способов рассуждений, который они применяют на первых порах, сталкиваясь с новой задачей поиска неисправностей, состоит в следующем: они анализируют инцидент, вспоминают, какие решения принимались ранее в подобных случаях. При необходимости эти решения адаптируются в соответствии с текущей ситуацией.

Предлагаемый подход основан на одном из методов интеллектуального анализа данных (Data Mining) – методе моделирования рассуждений на основе прецедентов (CBR – Case-based Reasoning). Вывод, основанный на прецедентах, является моделью управления знаниями в ИСППР и позволяет получить решение неизвестной задачи, используя накопленный опыт решения похожих задач, хранящийся в библиотеке прецедентов, и адаптируя его к новым условиям. Вывод на основе прецедентов показал свою эффективность в случаях, когда отсутствует возможность полного математического описания предметной области и основным источником знаний для решения задач является опыт. Следует отметить, что полученное на

основе метода решение не является гарантированно верным, а служит лишь отправной точкой процесса поиска правильного решения. Интуитивно понятно, что правильнее начинать с какого-то приблизительного решения в условиях отсутствия четкого варианта действий. Такой подход к принятию решений основан на многолетней практике работы высококвалифицированных специалистов при диагностировании сложных систем.

Преимуществами прецедентного подхода являются:

- возможность повысить качество решений путем использования доступного массива исторических данных и знаний, накопленных многими специалистами, без привлечения экспертов в предметной области;
- возможность уменьшить информационную нагрузку на ЛПР в процессе принятия решения в ситуациях с высокой степенью неопределенности (необходимость полного и углубленного рассмотрения знаний о конкретной предметной области), снизить влияние факторов субъективности при анализе инцидента, сократить время, необходимое для принятия решения, за счет использования уже имеющегося решения для подобной задачи;
- возможность исключить получение повторного ошибочного решения;
- возможность решать трудноформализуемые задачи диагностирования, применять эвристики (например, весовые коэффициенты для различных прецедентных ситуаций), реализовывать механизмы адаптации систем, основанных на прецедентах;

К недостаткам рассуждений на основе прецедентов можно отнести следующее:

- невозможность получения решения задач, для которых нет прецедентов или степень их сходства меньше заданного порогового значения;
- сложность определения критериев для сравнения прецедентов и адаптации найденного решения.

С общим описанием метода можно ознакомиться в работах [6, 7, 9, 10]. Для практической реализации процессов, входящих в CBR-цикл, моделей представления знаний о прецедентах не существует каких-то универсальных решений. Они являются специфичными в каждой конкретной прикладной системе и опираются на знания о предметной и проблемной области.

Применительно к решению задачи поиска неисправностей в БАСУ, под прецедентом подразумевается описание состояния отказа системы и подробное указание действий, которые принимались в такой ситуации и могут служить образцом для повторного применения при аналогичных обстоятельствах. Целью применения данного метода является уменьшение неопределенности при диагностировании за счет представления ЛПР готового решения для текущего инцидента на основе прецедентов, которые уже имели место в прошлом при решении подобных задач для данной технической системы.

Разработка методики оптимизации процедуры диагностирования на основе прецедентного подхода напрямую связана со способом представления прецедентов и библиотеки прецедентов. Проблема представления прецедента и библиотеки прецедентов требует тщательного изучения специфики конкретной предметной области и решаемых задач. Построение модели прецедента и библиотеки прецедентов предусматривает выполнение нескольких этапов, представленных на рисунке 3.9.

Этап. 1. Определяется перечень задач использования ИСППР при различных видах вывода результатов контроля и способах их объективного оценивания. Для достижения единства оценивания результатов контроля целесообразна формулировка исходных задач ИСППР для всех этапов ЖЦ изделия - производства, эксплуатации и проектирования новых изделий на основе данного прототипа. Предлагается следующий перечень прикладных и исследовательских задач, требующих использования ИСППР:

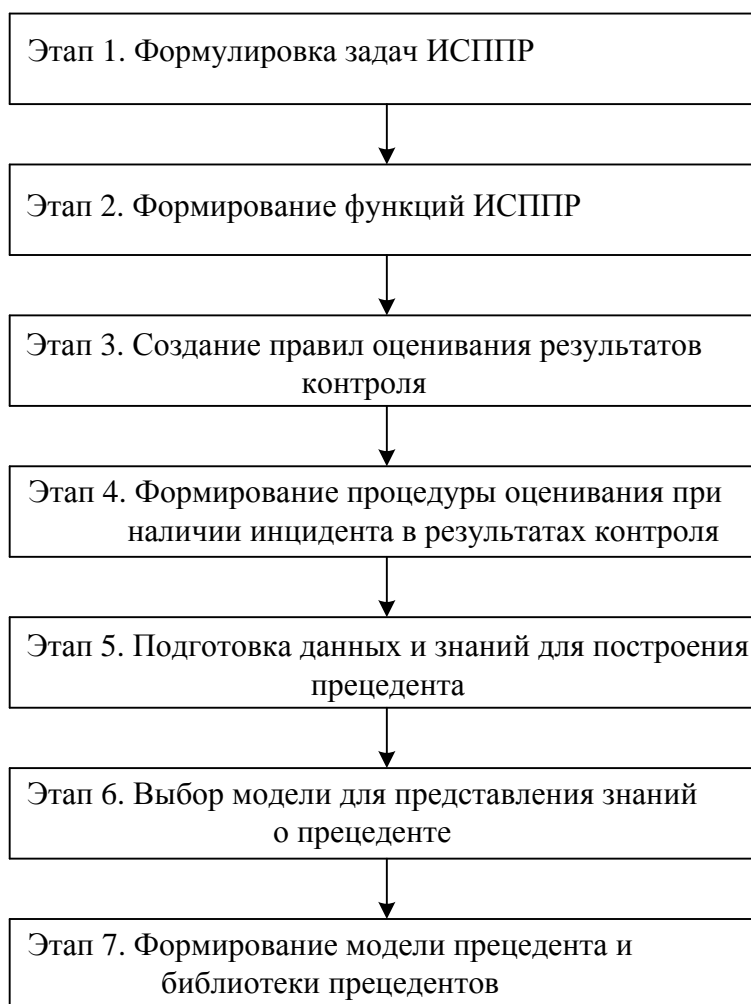


Рисунок 3.9 - Последовательность разработки модели прецедента и библиотеки прецедентов

- повышение производительности контроля и диагностирования за счет автоматизации принимаемых решений в случае возникновения инцидента на базе использования накопленного опыта (ранее принятых решений по оцениванию инцидентов);

- оценка эффективности и границ различных управляющих воздействий в БАСУ и прогнозирования их последствий;
- анализ влияния различных внешних факторов на параметры БАСУ, качество ее функционирования, свойства БАСУ и отдельных ее составных частей во время производственных испытаний и степени устойчивости к этим воздействиям;
- определение степени совершенства конструкции БАСУ, технологии производства, правильности выбора номиналов элементов, схемных решений, режимов работы;
- анализ причин инцидентов при контроле БАСУ.

Этап 2. Результаты первого этапа позволяют сформулировать следующий перечень функций, который должна выполнять ИСППР:

- классификация инцидентов, возникающих при проведении проверок по программе параметрического контроля БАСУ;
- описание состояний БАСУ при зафиксированных инцидентах по накопленной информации;
- выявление причинно-следственного комплекса факторов, которые привели к инциденту;
- идентификация инцидента с последующим внесением соответствующего прецедента в библиотеку прецедентов;
- прогнозирование критичности инцидента;
- разработка необходимых рекомендаций по предотвращению инцидентов;
- адаптация библиотеки прецедентов;
- разработка рекомендаций по обеспечению и восстановлению работоспособности БАСУ и минимизации различного рода потерь.

Этап 3. Правила оценивания разрабатываются с учетом основных особенностей БАСУ с точки зрения ее контроля и диагностирования. Необходимо сформировать правила оценивания инцидентов на основе признаков, используемых в процессе параметрического контроля и экспертных знаний. В настоящее время средствами КПА реализуется бинарный подход к оценке параметров и результатов тестовых проверок.

Этап 4. На основе данных предыдущего этапа составляется список инцидентов, предполагаемых к появлению в результатах проведения проверок БАСУ. Все инциденты (отказы, сбои, повреждения или неопределенные события), требующие анализа и оценки ЛПР, подлежат индексации для их хранения в классифицированном массиве и последующего формирования соответствующей индексации прецедентов.

Этап 5. Подготовка необходимого набора данных и знаний, предназначенного для построения прецедента и библиотеки прецедентов проводится с учетом результатов предыдущих этапов. Она предполагает детальную проработку каждого признанного полезным источника информации, в котором отражены связи между вариантами решений и влияющими

на них факторами. К таким источникам информации относятся высококвалифицированные специалисты и документы, относящиеся к информационной поддержке изделия на стадии изготовления:

- результаты тестовых проверок неисправных БАСУ;
- ремонтно-эксплуатационная документация;
- карточки учета отказов;
- отчеты, содержащие перечень отказов изделия, обобщенный анализ причин отказов, оценку средней наработки на отказ, результаты выполнения программы обеспечения надежности;
- рабочие цеховые журналы контроля и диагностики.

Разнообразные формы представления данных и знаний неудобны для решения конкретных практических задач и компьютерной обработки. Собранная информация структурируется, индексируется и становится основой для выбора и формирования модели прецедента и библиотеки прецедентов.

Этап 6. Существуют различные способы представления и хранения прецедентов: объектно-ориентированные, параметрические, специальные (древовидные и логические структуры, графы, семантические сети, продукционные правила и т.д.) [44, 83]. В рассматриваемой предметной области полученная структура данных и знаний является объединением (композицией) нескольких исходных структур.

Предлагается использовать комбинированную модель представления этих структур, состоящую из табличной, продукционной, математической и графовой моделей. Параметрический способ моделирования характеристик прецедента в виде табличной формы имеет следующие достоинства: наглядность, полная открытость для анализа и изменения структур данных и алгоритмов решения задачи, способность концентрировать в себе информацию о большом количестве вариантов решения однотипных по постановке и целям задач, простота интеграции этой модели в цикл рассуждений по прецедентам. Табличные модели нашли широкое применение в практике создания различных автоматизированных систем. Продукционные правила обеспечивают формализацию рекомендаций и профессиональных знаний экспертов. Преимуществами этого способа представления знаний являются простота реализации, пополнения и модификации правил, естественность механизмов логического вывода, модульность организации. Это является важным моментом, поскольку позволяет легко совершенствовать набор продукционных правил для адаптации прецедентов. Математическая модель, построенная с использованием формул, позволяет уточнять отдельные характеристики табличной модели. Иерархическая модель в виде ориентированного ациклического графа дает возможность наглядно представить логическую и физическую структуру организации процесса поиска подходящего прецедента.

Этап 7. Прецедент - это модуль знаний, в котором структурирована информация о проблеме, решении и контексте. Прецедент можно представить в виде совокупности следующих характеристик:

$$Case = (I, X_1, X_2, X_3, ZN_T, D, G, T_{\text{п}}, F_{\text{дп}}, F_{\text{мп}}, Z_{\text{п}}, P_o, P_{\text{п}}, W, Y_T, Y_B, Y_{\text{нп}}),$$

где I - идентификатор прецедента; X_1 (X_2, X_3) – множество параметров БАСУ, описывающее данный прецедент в булевском формате, соответствующее 1-му (2-му, 3-му) уровню глубины поиска; ZN_T – множество параметров, соответствующих 3-му уровню глубины поиска, в числовом формате; D – диагноз; G – номер группы, характеризующей отказ; $T_{\text{п}}$ – дополнительная текстовая информация; $F_{\text{дп}}$ – дата формирования прецедента; $F_{\text{мп}}$ - место формирования прецедента; $Z_{\text{п}}$ - заводской номер БАСУ, в которой зафиксирован инцидент; P_o - общее число применений; $P_{\text{п}}$ - число положительных применений; W - вес (оценка применимости). Внешние воздействующие факторы описываются следующими характеристиками: Y_T - температура окружающей среды; Y_B - относительная влажность воздуха; $Y_{\text{нп}}$ – характеристики напряжений электрического питания. Характеристика D – предполагаемое решение задачи поиска неисправностей, представленное в виде текстового описания наименования и заводского номера, составной части БАСУ, в которой зафиксирован инцидент. Характеристика $T_{\text{п}}$ представляет собой текстовое описание характера инцидента, выявленного дефекта, рекомендаций ЛППР, реализованных мероприятий, перечня выполненных операций, а также мероприятий по предупреждению повторяемости инцидента. Характеристика W выражает числовую оценку применимости данного прецедента. Данная настройка в структуре прецедента влияет на выбор извлекаемых прецедентов и позволяет учитывать предысторию их применения (адаптации) с точки зрения результативности. Значение W определяется из следующего выражения:

$$W = \begin{cases} 0, P_o = 0; \\ \frac{P_{\text{п}}}{P_o}, P_o \neq 0. \end{cases} \quad (3.28)$$

После каждого извлечения прецедента необходима коррекция W , которая осуществляется на основании продукционного правила: Если « $Case$ был извлечен», То « $P_{\text{п}}, P_o, W$ обновить», Иначе « $P_{\text{п}}, P_o, W$ не обновлять».

В процессе совершенствования стратегий извлечения и адаптации прецедентов в продукционную модель знаний могут добавляться новые правила, изменяться или удаляться старые.

Характеристика G имеет свой числовой идентификатор и показывает, после произведенного анализа, к какой группе отнесен инцидент. Для описания инцидента предлагается использовать следующие группы и идентификаторы:

- 1 – отказы комплектующих (электронных компонентов) при их работе в режимах, предусмотренных в ТУ;
- 2 – схемные инциденты, возникшие из-за ошибок разработчиков схемной документации (ошибки в схемных решениях, неправильный выбор режимов работы электронных компонентов и т.д.);
- 3 - конструкционные отказы, возникшие в результате нарушения установленных правил и (или) норм конструирования БАСУ (неправильный выбор материалов, допусков, теплового режима, неправильное размещение и сопряжение узлов и деталей, ошибки в конструкторской документации и т.п.);
- 4 – производственные инциденты БАСУ, возникшие в результате несовершенства или нарушения установленного процесса изготовления или ремонта (доработки) на предприятии-изготовителе [94];
- 5 – эксплуатационные инциденты, возникшие в результате нарушения установленных правил и (или) условий эксплуатации БАСУ;
- 6 – самоустраняющиеся инциденты, причина которых не установлена, а также перемежающиеся (многократно возникающие самоустраняющиеся) отказы БАСУ. К этой группе относят инциденты, зафиксированные только в исключительных случаях, после проведения исследования их причины. Они должны быть взяты на особый учет для выявления аналогичных признаков инцидентов в других БАСУ;
- 7 – инциденты, находящиеся на исследовании, у которых анализ причин их возникновения не завершен к концу отчетного периода.

Описание характеристик прецедента для оценивания классифицированных инцидентов имеет разный формат: числовой, булевский, описательный в виде текстового комментария. Как видно из рисунка 3.10, прецедент представляет собой некоторый случай, решение имевшее место в прошлом при параметрическом контроле БАСУ и состоящее в самом общем виде из задачи (информации, описывающей инцидент) и решения (диагноза и рекомендаций). В каком-то смысле прецедент является подобием продукционного правила вида «Если..., То..., Иначе...».

Предлагается использование комбинации табличного, продукционного и математического представления моделей, образующих комбинированную модель прецедента.

Для обеспечения возможности машинной обработки, лингвистические оценки результатов тестовых проверок и значений параметров перекодируются в булевские переменные: «в норме» - 0, «не в норме» - 1, «годен» - 0, «не годен» - 1. Исходя из особенностей организации существующей тестовой системы контроля и диагностирования, а также структуры БАСУ, для

обеспечения эффективности процесса извлечения прецедентов предлагается трехуровневая модель поиска подобных прецедентов.

Характеристики		Значения характеристик	
Условия	X_1	X_{11}	x_{11}
	
		X_{1k}	x_{1k}
	X_2	X_{21}	x_{21}
	
		X_{2m}	x_{2m}
	X_3	X_{31}	x_{31}
	
		X_{3j}	x_{3j}
Настройка	W		w
Дополнительная информация	ZN_T	ZN_{T1}	zn_{T1}
	
		ZN_{Tj}	zn_{Tj}
	I		i
	G		g
	T_{Π}		t_{Π}
	$F_{\text{дп}}$		$f_{\text{дп}}$
	$F_{\text{мп}}$		$f_{\text{мп}}$
	Z_{Π}		z_{Π}
	P_o		p_o
	P_{Π}		p_{Π}
	Y_T		y_T
	Y_B		y_B
	$Y_{\text{нп}}$		$y_{\text{нп}}$
Возможное решение	D		d

Рисунок 3.10 - Табличная модель прецедента

При диагнозе малой глубины (1-й уровень глубины поиска) в качестве параметров используются значения тестовых проверок. При диагнозе большой глубины (3-й уровень) – значения параметров. При диагнозе средней глубины (2-ой уровень) используется некоторая

часть значений параметров совместно с группами параметров, объединяющих другую их часть. Состав параметров 2-го уровня определяется экспертами, на основании их знаний. Например, в БАСУ имеется четыре рулевых агрегата, которые функционируют и контролируются по одинаковому принципу. Исходя из этого, параметр «смещение нуля РА 1», характеризующий работу первого рулевого агрегата, объединяется в единую группу с подобными параметрами других рулевых агрегатов. Иерархическая модель поиска прецедентов представлена на рисунке 3.11 в виде ориентированного ациклического графа, в котором узлы выделяются по уровням глубины поиска в процессе извлечения прецедентов.

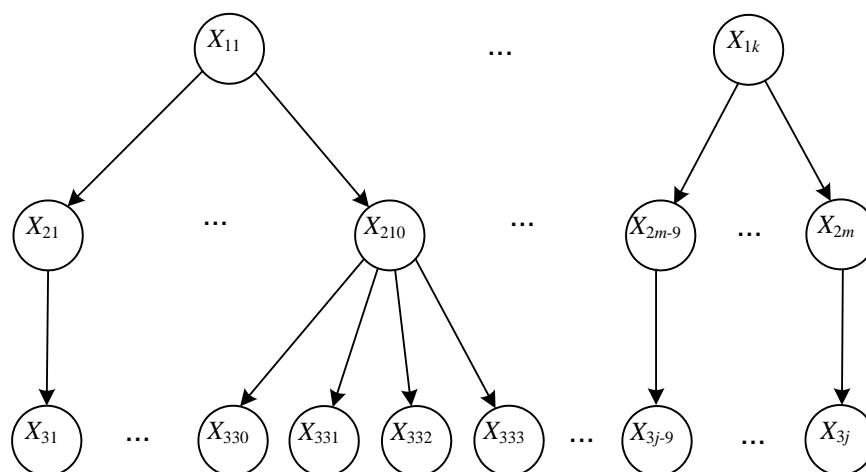


Рисунок 3.11 - Графовая модель поиска прецедентов

Библиотеку прецедентов можно представить в виде совокупности следующих характеристик:

$$\text{Library Of Cases} = (\text{Cases}, Z_{\text{бп}}, F_{\text{дбп}}, F_{\text{мбп}}, ZN_{\text{дн}}, ZN_{\text{дв}}, T_{\text{бп}}, V, O, WX),$$

где Cases – набор прецедентов; $Z_{\text{бп}}$ – название и заводской номер КПА; $F_{\text{дбп}}$ – дата формирования библиотеки прецедентов; $F_{\text{мбп}}$ – место формирования библиотеки прецедентов; $ZN_{\text{дн}}, ZN_{\text{дв}}$ – множества числовых значений, характеризующих нижнюю и верхнюю границу допустимых значений параметров, соответствующих 3-му уровню глубины поиска; $T_{\text{бп}}$ – дополнительная текстовая информация в виде рекомендаций эксперта и инженера по знаниям.

Табличная модель библиотеки прецедентов представлена на рисунке 3.12. Настройки в структуре библиотеки прецедентов предназначены для ее поддержки в актуальном состоянии (адаптации) и используются в решающих правилах правдоподобного вывода. Порог V применяется на этапе выбора подходящих прецедентов. Расстояние между ними и текущей ситуацией, рассчитанное методом ближайшего соседа, должно быть не больше порогового значения. Значение порога определяется для каждого уровня глубины поиска на основании правил продукционного типа. Например, для 1-го уровня набор продукционных правил выглядит следующим образом:

Правило 1: Если « $k \leq 20$ », То « $V=1$ », Иначе «Выполнить Правило 2»,

Правило 2: Если « $k > 20$ », То « $V=0$ »,

где k - количество прецедентов 1-го уровня сравнивается с числом, которое задается экспертом.

Характеристики		Значения характеристик		
Cases	Case 1	$(i^1, x_1^1, x_2^1, x_3^1, d^1, g^1, t_{\Pi}^1, f_{\text{дп}}^1, f_{\text{мп}}^1, z_{\Pi}^1, p_o^1, p_{\Pi}^1, w^1, y_{\Gamma}^1, y_{\text{в}}^1, y_{\text{нп}}^1)$		
		
	Case h	$(i^h, x_1^h, x_2^h, x_3^h, d^h, g^h, t_{\Pi}^h, f_{\text{дп}}^h, f_{\text{мп}}^h, z_{\Pi}^h, p_o^h, p_{\Pi}^h, w^h, y_{\Gamma}^h, y_{\text{в}}^h, y_{\text{нп}}^h)$		
Настройки	V	V_1	v_1	
		V_2	v_2	
		V_3	v_3	
	O		o	
	WX	WX_1	wx_{11}	
		
WX_{3j}		wx_{3j}		
Дополнительная информация	$Z_{\text{бп}}$		$z_{\text{бп}}$	
	$F_{\text{дбп}}$		$f_{\text{дбп}}$	
	$F_{\text{мбп}}$		$f_{\text{мбп}}$	
	$ZN_{\text{дн}}$	$ZN_{\text{дн}}$ 1	$zn_{\text{дн}1}$	
		
		$ZN_{\text{дн}}$ j	$zn_{\text{дн}j}$	
	$ZN_{\text{дв}}$	$ZN_{\text{дв}}$ 1	$zn_{\text{дв}1}$	
		
		$ZN_{\text{дв}j}$	$zn_{\text{дв}j}$	
	$T_{\text{бп}}$		$t_{\text{бп}}$	

Рисунок 3.12 - Табличная модель библиотеки прецедентов

Ограничитель O , заданный экспертом, используется на этапе формирования окончательного состава предлагаемого решения. Числовое значение O уменьшает количество рассматриваемых прецедентов, которые ранжированы по возрастанию метрических расстояний и с учетом веса W каждого прецедента.

Множество весовых коэффициентов WX позволяет учитывать относительную ценность каждого параметра, входящего в X_1, X_2, X_3 , при извлечении прецедентов из библиотеки прецедентов. Значение весового коэффициента измеряется в интервале от 0 до 1 и назначается экспертом. По умолчанию оно считается равным 1.

Таким образом, модель библиотеки прецедентов представляет собой комбинацию моделей, в которой интегрируются различные способы (табличный, продукционный и графовый) представления знаний в проблемной области.

Как видно из рисунков 3.11 и 3.12, предложенные модели ориентированы для решения как прикладных, так и исследовательских задач, непосредственно связанных с процессами контроля и диагностирования. Дополнительно можно отметить, что эффективность адаптации прецедента и библиотеки прецедентов существенно повышается при применении CALS-технологии интеграции данных аналогичных ИСППР.

Итак, предложенная методика формирования моделей прецедента и библиотеки прецедентов позволяет создать основу для разработки методики оптимизации процедуры диагностирования БАСУ на основе прецедентного подхода.

3.3.3 Методика оптимизации процедуры диагностирования при неполном обнаружении неисправностей на основе прецедентного подхода

Постановка задачи диагностирования при прецедентном подходе выглядит следующим образом:

1. Имеется изделие, которое находится в неработоспособном состоянии.
2. Известна совокупность прецедентов в библиотеке прецедентов.
3. Требуется построить решающее правило, позволяющее, на основе, реализованной у диагностируемого объекта, совокупности признаков в виде оценок значений параметров и результатов тестовых проверок, вычислить метрическое расстояние между инцидентом и каждым прецедентом из библиотеки прецедентов в пространстве диагностических признаков и ранжировать прецеденты по возрастанию значений метрических расстояний.

Предлагаемая методика оптимизации процедуры диагностирования составных частей БАСУ конкретизирует отдельные положения технологии логического вывода, основанного на прецедентах [53], интерпретирует их в терминах рассматриваемой проблемной области и

распространяет его на новый класс технических систем – приборной аппаратуры с ограниченным ресурсом.

На рисунке 3.13 показана предлагаемая модель процесса диагностирования БАСУ, где выполняемые операции можно разделить на следующие уровни:

- получение и преобразование информации, формирование и сохранение описания инцидента в БД ИСППР;
- поиск, формирование и вывод решения в виде ранжированного списка прецедентов;
- применение, пересмотр условий поиска, адаптация прецедента, обучение библиотеки прецедентов и сохранение изменений в БЗ.



Рисунок 3.13 - Модель процесса диагностирования БАСУ

Рассмотрим содержание операций на выделенных уровнях.

1. Уровень получения и преобразования информации, формирования и сохранения описания инцидента в БД ИСППР.

Данные измерений, характеризующие неработоспособное состояние БАСУ, поступают из КПА. Они представляют собой упорядоченные конечные последовательности числовых значений параметров, лингвистических оценок параметров и результатов проверок. Для обеспечения возможности машинной обработки, качественные оценки результатов тестовых проверок и значений параметров перекодируются в булевские переменные: «в норме» - 0, «не в

норме» - 1, «годен» - 0, «не годен» - 1. Вся поступившая информация по текущему отказу системы помещается в БД и хранится там. После завершения процесса диагностирования составной части БАСУ на специализированном стенде в БД также вносятся значения дополнительных характеристик отказа. Когда прецедент будет окончательно сформирован в БД, он записывается в библиотеку прецедентов и сохраняется в БЗ. После внесения соответствующих изменений в БЗ прецедент удаляется из БД.

2. Уровень поиска, формирования и вывода решения в виде ранжированного списка прецедентов.

Поиск решения состоит в извлечении прецедентов, наиболее близких к текущему инциденту. Для эффективного проведения указанных операций необходимо обеспечить корректное извлечение прецедентов из библиотеки прецедентов. К наиболее распространенным методам извлечения прецедентов относятся:

- метод ближайшего соседа;
- метод извлечения прецедентов на основе их применимости;
- метод извлечения на основе деревьев решений;
- метод извлечения прецедентов на основе знаний.

В основе этих методов лежит способ измерения расстояния (интегральной меры сходства, близости) между прецедентом и инцидентом. Разработка метода и алгоритма извлечения прецедентов напрямую связана со структурой прецедента и библиотеки прецедентов, которые представлены в приложении И. Учитывая специфику предметной области, для определения расстояния между такими объектами предлагается использовать комбинацию нескольких методов. Поскольку исходная информация представлена упорядоченными последовательностями значений параметров инцидента и прецедента, предлагается в качестве основы использовать метод ближайшего соседа. Он базируется на нахождении требуемых прецедентов путем определения расстояния между точками метрического пространства, соответствующими прецедентам, и точкой, соответствующей инциденту. Точка метрического пространства представляет собой последовательность значений параметров, используемых для описания инцидента или прецедента и их извлечения. Для определения расстояния между двумя точками используют следующие основные метрики (функции для вычисления того или иного конкретного расстояния): евклидово расстояние, квадрат евклидова расстояния, расстояние Чебышева, мера сходства Журавлева, обобщенное степенное расстояние Минковского, расстояние Хэмминга.

В рассматриваемой предметной области из поступивших исходных данных, в процессе сравнения будут участвовать только двоичные последовательности в виде оценок параметров и результатов тестовых проверок. Для определения метрического расстояния на множестве

параметров инцидента и прецедента, предлагается использовать метрику Хэмминга (3.29), модифицировав ее. Расстояние Хэмминга [5, с.13], также называемое манхэттенским, «сити-блок» расстоянием или расстоянием городских кварталов, соответствует числу позиций, в которых различны две двоичные последовательности чисел.

$$d_1(X, X_t) = \sum_{i=1}^k |x_i - x_{ti}|, \quad (3.29)$$

где X – множество параметров БАСУ, описывающее данный прецедент в булевском формате, X_t – множество параметров, характеризующих инцидент.

Исходя из выявленных закономерностей, позволяющих высококвалифицированным специалистам определять этапы в процессе поиска неисправностей, содержание этих этапов, а также учитывая особенности функционирования существующей тестовой системы контроля, структуры БАСУ, проведена иерархическая организация этих знаний. Предлагается использовать трехуровневую модель поиска похожих прецедентов. Классификация параметров позволяет объединить их в подмножества, соответствующие заданной глубине поиска. Иерархическая модель поиска прецедентов входит в состав библиотеки прецедентов. Граф-схема (рисунок 3.11) имеет иерархическую структуру и задает алгоритмическую модель вычислений, базирующуюся на ветвлениях по значениям параметров. Таким образом, повышается точность и производительность поиска решения.

Настройки в структуре прецедента и библиотеки прецедентов, рассмотренные в подразделе 3.3.2, предназначены для их поддержки в актуальном состоянии и используются в решающих правилах правдоподобного вывода.

Модифицированные формулы Хэмминга для вычисления метрического расстояния на каждом иерархическом уровне поиска выглядят следующим образом:

$$d_1(X_1, X_{1t}) = \sum_{i=1}^k w_{x_{1i}} |x_{1i} - x_{1ti}|, \quad (3.30)$$

$$d_2(X_2, X_{2t}) = \sum_{i=1}^m w_{x_{2i}} |x_{2i} - x_{2ti}|, \quad (3.31)$$

$$d_3(X_3, X_{3t}) = \sum_{i=1}^j w_{x_{3i}} |x_{3i} - x_{3ti}|, \quad (3.32)$$

где X_1 (X_2 , X_3) – множество параметров БАСУ, описывающее данный прецедент в булевском формате, соответствующее 1-му (2-му, 3-му) уровню глубины поиска, X_{1t} , X_{2t} , X_{3t} – множество параметров БАСУ, характеризующих инцидент, т.е. текущее состояние отказа.

Поясним на простом примере механизм поиска, формирования и вывода решения в виде ранжированного списка прецедентов.

Текущие результаты девяти тестовых проверок X_{1t} и соответствующие значения параметров $X_1^1, X_1^2, X_1^3, X_1^4$, сохраненных прецедентов, представлены в таблице 3.6.

Пусть $WX_{11}=0,9$, а остальные весовые коэффициенты определены по умолчанию и равны единице. $V_1=1$.

Рассчитаем соответствующие метрические расстояния по формуле (3.30).

$$d_1^1(X_1^1, X_{1t}) = 0, d_1^2(X_1^2, X_{1t}) = 2, d_1^3(X_1^3, X_{1t}) = 1, d_1^4(X_1^4, X_{1t}) = 0,9.$$

Выбор подходящих прецедентов 1-го уровня поиска происходит с использованием продукционного правила из базы знаний:

Правило: Если « $d_1 \leq V_1$ », То «Продолжить поиск», Иначе «Прекратить поиск».

В нашем случае этому условию удовлетворяют d_1^1, d_1^3, d_1^4 . Это означает, что дальнейший поиск будет осуществляться на основании характеристик отказа X_1^1, X_1^3, X_1^4 . Далее, по таблице 3.6, определяются такие параметры X_1 , значения которых равны единице хотя бы в одной из X_1^1, X_1^3, X_1^4 . В данном примере ими являются X_{11}, X_{12}, X_{13} .

Таблица 3.6 - Значения параметров 1-го уровня глубины поиска

Характеристика отказа	Значения параметров 1-го уровня глубины поиска								
	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	X_{17}	X_{18}	X_{19}
X_{1t}	1	1	1	0	0	0	0	0	0
X_1^1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
X_1^2	1	1	0	1	0	0	0	0	0
X_1^3	1	1	0	0	0	0	0	0	0
X_1^4	0	1	1	0	0	0	0	0	0

Поиск на втором уровне происходит по таким X_2 , которые связаны с X_{11}, X_{12}, X_{13} дугами в ациклическом графе (рисунок 3.11), задающем иерархию параметров сравнения. Дальнейшее извлечение происходит аналогично рассмотренному выше алгоритму. В результате 3-х уровневых поиска формируется набор похожих прецедентов. Они упорядочиваются по возрастанию значений метрических расстояний, рассчитанных по формуле (3.32). В случае равенства этих значений ранжирование осуществляется на основании веса W каждого прецедента. Окончательный состав предлагаемого решения получается в результате ограничения количества рассматриваемых прецедентов числовым значением O .

3. Уровень применения, пересмотра условий поиска, адаптации прецедента, обучения библиотеки прецедентов и сохранение изменений в БЗ.

По окончании процесса ранжирования пользователь получает решение в виде набора упорядоченных прецедентов. На основе предложенных ИСПП рекомендаций принимается решение о том, какую составную часть демонтировать из изделия для проведения контроля и

диагностирования на специальном стенде. При проведении указанных операций учитывается характеристика прецедента T_n , представляющая собой текстовое описание характера инцидента, выявленного дефекта, рекомендаций ЛПП, реализованных мероприятий, перечня выполненных операций, а также мероприятий по предупреждению повторяемости инцидента. В случае необходимости осуществляется адаптация прецедента, т.е. получение, на базе применяемого прецедента, решения для текущего инцидента с модификацией некоторых его характеристик путем диагностирования составной части БАСУ на основе экспертных знаний, технологического регламента и ремонтно-эксплуатационной документации. Если в процессе поиска неисправностей была проведена адаптация прецедента, то создается новый прецедент, в соответствии с предложенной структурой (приложение И).

Если результатом процесса поиска прецедентов в библиотеке прецедентов является отсутствие ранжированного набора прецедентов, то осуществляется повторное извлечение прецедентов на основе пересмотра условий поиска. В этом случае, в режиме диалога с ИСППР, пересматриваются условия поиска в сторону уменьшения точности. Это достигается временным изменением значений настроек $V1$, $V2$, $V3$ в алгоритме поиска. При повторном отсутствии результата поиска, диагностирование БАСУ проводится на основе экспертных знаний, технологического регламента и ремонтно-эксплуатационной документации, т.е. без анализа прецедентов. Такая ситуация типична в самом начале эксплуатации ИСППР, когда происходит накопление знаний и в библиотеке содержится мало прецедентов. Следует добавить, что новый прецедент создается также по результатам диагностирования в случае отсутствия прецедентов.

Обучение динамической БЗ происходит как в ручном, так и в автоматическом режиме. Инженер по знаниям на основе данных, подготовленных ЛПП и экспертами, вносит в нее соответствующие изменения: новые прецеденты, уточненные значения весовых коэффициентов параметров WX , ограничителя O , новые или модифицированные решающие правила, формулы, алгоритмы, модели. В автоматическом режиме происходит обновление значения веса каждого прецедента W и порогов $V1$, $V2$, $V3$. Обратная связь, возникающая при сохранении изменений в БЗ, означает, что ИСППР способна к адаптации, благодаря чему рабочие характеристики библиотеки прецедентов с течением времени и накоплением опыта непрерывно улучшаются. Таким образом, совершенствование БЗ происходит по мере накопления в ней информации. Предлагаемые механизмы обучения позволяют поддерживать ее в актуальном состоянии. Чем больше прецедентов содержится в библиотеке, тем выше вероятность найти наиболее подходящий из них, соответственно, выше качество принимаемого решения.

На основе прецедентного подхода к диагностированию БАСУ предлагается алгоритм оптимизации процедуры диагностирования, состоящий из следующей последовательности шагов:

Шаг 1. Получение информации от КПА о результатах тестовых проверок БАСУ: соответствующих значений диагностических признаков в виде оценок значений параметров и результатов тестовых проверок.

Шаг 2. Преобразование информации в бинарный вид, формирование и сохранение описания инцидента в БД ИСППР.

Шаг 3. Поиск и извлечение наиболее соответствующих прецедентов для текущего инцидента из библиотеки прецедентов на основе модифицированной метрики Хэмминга и иерархической модели поиска с использованием настроек порога V из библиотеки прецедентов для каждого уровня иерархического поиска.

Шаг 4. ЕСЛИ «прецеденты отсутствуют», ТО «перейти к шагу 7», ИНАЧЕ «перейти к шагу 5».

Шаг 5. Ранжирование прецедентов по значению метрических расстояний между инцидентом и каждым прецедентом из библиотеки прецедентов в направлении увеличения их значений с использованием настройки ограничителя O из библиотеки прецедентов и настроек весов W (оценок применимости), входящих в структуру каждого прецедента.

Шаг 6. Вывод ранжированного списка прецедентов на экран монитора ИСППР.

Шаг 7. Использование ранжированного списка прецедентов для принятия решения о том, какую составную часть БАСУ демонтировать из изделия для проведения контроля и диагностирования на специализированном стенде. При необходимости пересмотреть условия поиска путем временного изменения значений настроек $V1$, $V2$, $V3$ в алгоритме поиска и перейти к шагу 3, или отменить поиск и перейти к шагу 13.

Шаг 8. Контроль на специализированном стенде.

Шаг 9. ЕСЛИ «состояние составной части БАСУ неработоспособное», ТО «перейти к шагу 10», ИНАЧЕ «перейти к шагу 7».

Шаг 10. Применение прецедента. Диагностирование с использованием характеристики прецедента T_p .

Шаг 11. Если «дефект выявлен», То «перейти к шагу 14», Иначе «перейти к шагу 12».

Шаг 12. Адаптация прецедента: диагностирование составной части БАСУ на основе характеристики прецедента T_p , экспертных знаний, технологического регламента и ремонтно-эксплуатационной документации. По окончании адаптации прецедента перейти к шагу 14.

Шаг 13. Диагностирование БАСУ на основе экспертных знаний, технологического регламента и ремонтно-эксплуатационной документации. По окончании диагностирования перейти к шагу 14.

Шаг 14. Формирование нового прецедента путем внесения в БД характеристик инцидента.

Шаг 15. Обучение библиотеки прецедентов путем внесения в нее нового прецедента. При необходимости обучение БЗ путем внесения соответствующих изменений: уточненных значений весовых коэффициентов параметров WX , ограничителя O , новых или модифицированных решающих правил, формул, алгоритмов, моделей.

Сохранение внесенных изменений.

Шаг 15. Удаление прецедента из БД.

Таким образом, разработана методика оптимизации процедуры диагностирования составных частей БАСУ, основанная на прецедентном подходе, обеспеченном моделями прецедента и библиотеки прецедентов, базирующаяся на модифицированной метрике Хэмминга и иерархической модели поиска прецедентов и позволяющая минимизировать расходование ресурса изделия при поиске неисправностей.

3.3.4 Комбинированная методика оптимизации процедуры диагностирования

В целях повышения эффективности процедуры поиска неисправностей, нацеленной на минимизацию расходования ресурса изделия, предлагается комбинированная методика, интегрирующая предложенные выше методики оптимизации процедуры диагностирования, основанные на байесовском и прецедентном подходах. Синергетическая комбинация результатов, полученных на основе двух методик оптимизации процедуры диагностирования, представляющих разные концепции обработки знаний, позволяет эффективно использовать их преимущества и, в то же время, преодолевать некоторые недостатки [107]. Использование методики на основе БСД всегда обеспечивает ЛПР ранжированным набором альтернативных вариантов решения, в отличие от методики на основе прецедентного подхода (в условиях отсутствия похожих прецедентов в БЗ ИСППР). Зато применение прецедентного подхода дает возможность повысить точность диагностирования и производить поиск неисправностей БАСУ с глубиной диагностирования до одного комплектующего элемента при наличии мощной библиотеки прецедентов или полном совпадении характеристик инцидента и прецедента даже при наличии одного прецедента в библиотеке.

Блок-схема предлагаемой комбинированной методики оптимизации процедуры диагностирования БАСУ на рисунке 3.14. На блок-схеме показано, что результаты обработки результатов контроля двумя параллельно работающими моделями представлены

последовательностями вариантов предлагаемых решений, ранжированных по разным критериям. Для сопоставления таких упорядоченных наборов необходимо оценить предлагаемые альтернативы по единому признаку и сформировать на основе такого оценивания окончательную последовательность вариантов решений в виде числовых значений этого признака.

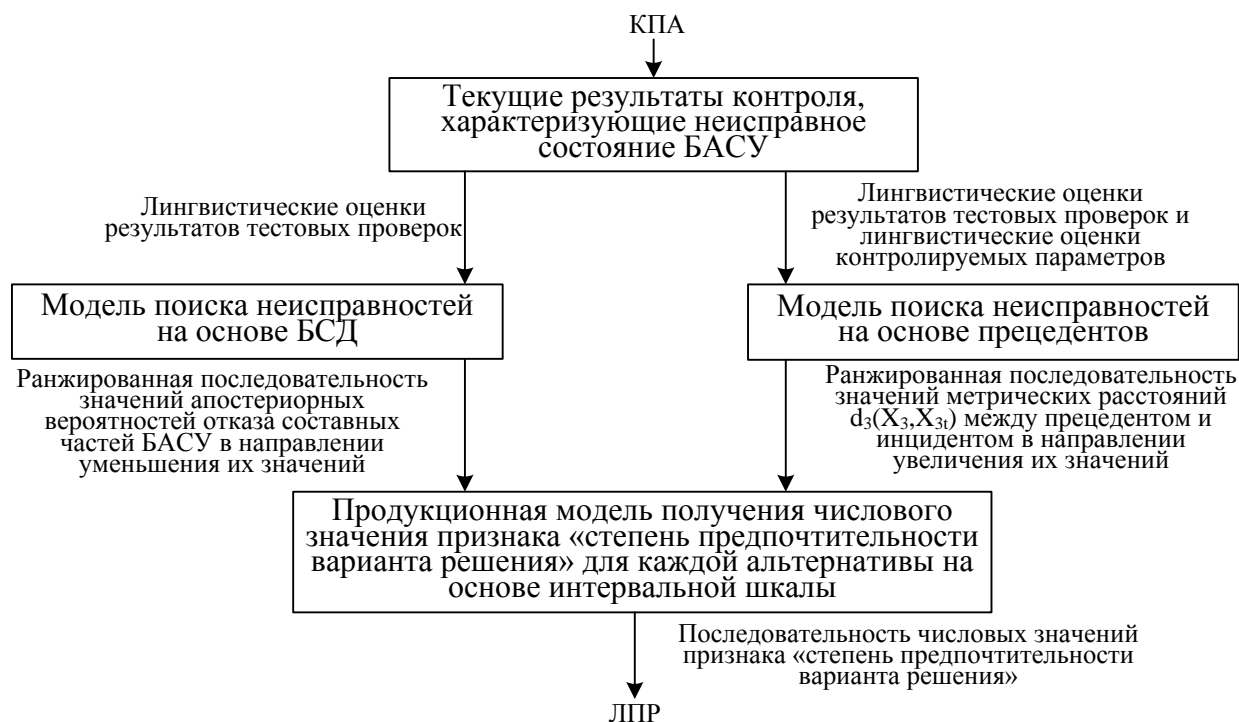


Рисунок 3.14 - Блок-схема комбинированной методики оптимизации процедуры диагностирования БАСУ

В качестве такого признака предлагается использовать признак «степень предпочтительности варианта решения», а для определения числового значения признака для каждой альтернативы – интервальную шкалу. Интервальная шкала, классифицирующая по принципу «больше на определенное количество единиц – меньше на определенное количество единиц», позволяет определить количественное изменение признака. На рисунке 3.15 показана структура интервальной шкалы для определения числового значения признака «степень предпочтительности варианта решения». Параметры интервальной шкалы определяются экспертами на основании опыта и имеющихся экспериментальных данных. На рисунке введены следующие обозначения: f – количество делений шкалы, O – числовое значение признака «степень предпочтительности варианта решения», $P_{дон.}$ – допустимое значение для апостериорной вероятности отказа i -ой составной части БАСУ P_i , $d_{3 доп.}$ – допустимое значение для метрического расстояния между j -ым прецедентом и инцидентом d_{3j} . Следует отметить, что более предпочтительному варианту решения соответствует большее значение признака. В качестве технологии получения экспертных оценок параметров для интервальной шкалы

предлагается использовать метод Дельфи, представляющий собой итеративную процедуру анкетного опроса. Подробное описание метода Дельфи можно найти в [62].

Интервалы значений апостериорных вероятностей	Интервалы значений метрических расстояний	Числовое значение признака «степень предпочтительности варианта решения»
$P_i < P_{дон.1}$	$d_{3j} > d_{3дон.1}$	O_1
$P_{дон.1} \leq P_i < P_{дон.2}$	$d_{3дон.1} \geq d_{3j} > d_{3дон.2}$	O_2
• • •	• • •	• • •
$P_i \geq P_{дон.f}$	$d_{3j} \leq d_{3дон.f}$	O_f

Рисунок 3.15 – Интервальная шкала для определения числового значения признака «степень предпочтительности варианта решения»

Алгоритм заключительной оптимизации процедуры диагностирования составных частей БАСУ представляет собой следующую последовательность шагов:

Шаг 1. Получение результатов по методике оптимизации процедуры диагностирования при неполном обнаружении неисправностей на основе байесовских сетей доверия.

Шаг 2. Получение результатов по методике оптимизации процедуры диагностирования при неполном обнаружении неисправностей на основе прецедентного подхода.

Шаг 3. Присвоение каждому альтернативному решению, входящему в любую из двух ранжированных последовательностей, числового значения признака «степень предпочтительности варианта решения» с использованием продукционной модели, представляющей собой следующий набор правил:

Для вариантов решений, полученных по методике оптимизации процедуры диагностирования при неполном обнаружении неисправностей на основе БСД:

Правило 1: ЕСЛИ « $P_i < P_{дон.1}$ », ТО « $O=O_1$ », ИНАЧЕ «выполнить Правило 2»,

• • •

Правило f : ЕСЛИ « $P_i \geq P_{дон.f}$ », ТО « $O=O_f$ ».

Для вариантов решений, полученных по методике оптимизации процедуры диагностирования при неполном обнаружении неисправностей на основе прецедентного подхода:

Правило 1: ЕСЛИ « $d_{3j} > d_{3дон.1}$ », ТО « $O=O_1$ », ИНАЧЕ «выполнить Правило 2»,

• • •

Правило f : ЕСЛИ « $d_{3j} \leq d_{3дон.f}$ », ТО « $O=O_f$ ».

Шаг. 4. Ранжирование полученных для каждого альтернативного решения числовых значений признака «степень предпочтительности варианта решения» в направлении убывания их значений, что и является оптимальным решением.

Шаг 5. Выполнение тестовых проверок на специализированном стенде, начиная с той составной части БАСУ, которая имеет большее числовое значение признака «степень предпочтительности варианта решения». При равенстве значений признака у вариантов решений выбирается вариант решения, полученный по методике оптимизации процедуры диагностирования при неполном обнаружении неисправностей на основе прецедентного подхода.

Таким образом, предложена новая комбинированная методика оптимизации процедуры диагностирования на основе байесовской и прецедентной модели представления знаний, позволяющая проводить автоматизированный анализ несоответствий в результатах контроля и устранение их причин, обеспечивая при этом минимизацию расходования ресурса изделия.

3.4 Выводы по разделу 3

При разработке научно-методического и информационно-аналитического обеспечения поддержки принятия решений на основе методов теории искусственного интеллекта получены следующие основные результаты:

1. Сформированы основные требования, разработана оригинальная концептуальная модель и принципы построения ИСППР, которая характеризуется целевыми интеллектуальными компонентами БЗ и обеспечивает возможность решения трудноформализуемых задач приемочного контроля.
2. Предложен классификатор и принципы классификации контролируемых параметров, предназначенные для проведения многокритериальной идентификации технического состояния объекта контроля и позволяющие повысить точность оценок результатов параметрического контроля.
3. Разработана методика оценки критических параметров по критерию близости к границам полей допусков, основанная на формализации экспертных знаний с использованием математического аппарата теории нечетких множеств и продукционных правил логического вывода, позволяющая оперативно обнаруживать и качественно оценивать недостаточный запас работоспособности критических параметров.
4. Разработана методика оценки критических параметров по критерию аномальности поведения в пределах границ полей допусков, основанная на формализации экспертных знаний с

использованием продукционных правил логического вывода, позволяющая своевременно выявлять и качественно оценивать опасные изменения критических параметров.

5. Разработана методика многокритериальной идентификации технического состояния объекта контроля, основанная на качественной оценке значений критических параметров с помощью математического аппарата нечетких множеств и продукционной системы логического вывода, позволяющая получить достоверную оценку технического состояния изделия.

6. Построена байесовская сетевая модель диагностирования БАСУ и на ее основе разработана методика оптимизации процедуры диагностирования при неполном обнаружении неисправностей путем ранжирования апостериорных вероятностей отказа составных частей изделия, позволяющая в автоматическом режиме проводить анализ и поиск неисправностей и минимизировать расходование ресурса изделия.

7. Предложена методика формирования моделей прецедента и библиотеки прецедентов и разработаны модели прецедента и библиотеки прецедентов, отличающиеся от известных совокупностью характеристик, использованием комбинации табличного, продукционного, математического и графового представления моделей, наличием оригинальных настроек, используемых для адаптации моделей и в решающих правилах правдоподобного вывода.

8. Разработана методика оптимизации процедуры диагностирования составных частей БАСУ, основанная на прецедентном подходе, базирующаяся на модифицированной метрике Хэмминга и иерархической модели поиска прецедентов и позволяющая минимизировать расходование ресурса изделия при поиске неисправностей.

9. Разработана комбинированная методика оптимизации процедуры диагностирования на основе байесовской и прецедентной модели представления знаний, позволяющая проводить автоматизированный анализ несоответствий в результатах контроля и устранение их причин, обеспечивая при этом минимизацию расходования ресурса изделия.

РАЗДЕЛ 4 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТСПК СЛОЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ ТИПА БАСУ

4.1 Постановка задачи оценки эффективности ТСПК

Эффективность приемочного контроля рассматривается в тех случаях, когда решаются задачи анализа мероприятий по повышению качества производимых изделий или сравнительной оценки вариантов модернизации существующей системы контроля [116]. Целью анализа эффективности приемочного контроля БАСУ является разработка методического обеспечения исследования эффективности ТСПК на основе применения широкого методологического и методического инструментария, комплексного подхода с позиций разных наук. Достижение поставленной цели анализа включает в себя оценку современного состояния проблемы по рассматриваемой теме и предполагает решение следующих задач:

- выявить характерные особенности решения задачи оценки эффективности ТСПК;
- сформулировать принципы решения проблемы оценки эффективности технологических систем применительно к созданию моделей оценивания основных показателей эффективности ТСПК БАСУ;
- провести оценку качественных изменений в процессе приемочного контроля БАСУ, представляющих собой потенциальный источник положительного эффекта;
- разработать методику оценки эффективности ТСПК.

За последние десятилетия исследованиям методов анализа эффективности систем технического контроля посвящено значительное число работ как у нас в стране, так и за рубежом. Большой вклад в исследования эффективности операций в технике сделали Барзилович Е.Ю. [77], Гнеденко Б.В. [77], Охотников Г.Н. [78], Торбин В.У., Пархоменко П.П. [79], Согомоян Е.С. [79], Мозгалеvский А.В. [76], Харитонов В.Н.[78], Лихтциндер Б.Я. [66], Синдеев И.М. [77] и другие ученые. Исследования перечисленных авторов внесли большой вклад в теорию и методологию оценки эффективности функционирования аппаратуры и систем контроля и диагностирования сложных объектов.

Несмотря на динамичное развитие теории оценки эффективности технологических систем расчет их эффективности остается недостаточно изученной областью. Большинство разработок не содержат методических и практических рекомендаций, позволяющих эффективно применять известный математический аппарат к конкретной проблемной области. Известные методы [16, 50, 58, 76] не учитывают специфики приемочного контроля БАСУ, факторы и источники образования возможных положительных эффектов при функционировании, зачастую построены на принципиально разных подходах, имеют слабую обоснованность предлагаемых систем оценки.

Оценка эффективности ТСПК заключается в выработке оценочного суждения относительно приспособленности данной системы к решению задач приемочного контроля. Определение эффективности рассматриваемой системы связано с определенными сложностями:

- отсутствием унифицированного подхода, строгих методик, нормативно определяющих или рекомендуемых содержание и порядок оценки эффективности такого рода систем. Все существующие подходы следует рассматривать с известной степенью приближения, так как ни один из них не дает полной картины;
- невозможностью сравнения показателей эффективности существующих технологических систем, отсутствием ориентиров при прогнозировании и оценке эффективности на стадии их разработки. Эти обстоятельства связаны с уникальностью отдельно взятой ТСПК и многообразием показателей, с помощью которых оценивается ее эффективность;
- опосредованным влиянием информационных технологий на эффективность результатов функционирования ТСПК и невозможностью учета всех позитивных эффектов, количественных и качественных улучшений;
- необходимостью учета дополнительной информации и коррекции показателей в течение ЖЦ изделия, связанной с возможностями адаптации базы знаний и базы знаний ИСППР, накоплением и получением необходимого объема экспериментальных и статистических данных с различных этапов ЖЦ изделия;
- необходимостью оценить потенциальные возможности ТСПК на стадии проектирования;
- необходимостью использования приближенных значений исходных данных и экспертных оценок из-за нечеткости и неполноты исходной информации, что непосредственно влияет на точность расчетов показателей эффективности;
- необходимостью унификации измерений всевозможных объектов (ситуации, цели, предпочтения, события, предметы, явления и т.д.) с использованием числовой системы, позволяющей создать общую формальную схему как объективных, так и субъективных измерений;
- отсутствием взаимоувязанных процедур объективных и субъективных измерений показателей, характеризующих разнообразные по своей природе факторы, подлежащие учету при исследовании эффективности реальных операций.

При разработке методического обеспечения исследования эффективности ТСПК были сформулированы применительно к ТСПК БАСУ и использовались следующие основные принципы системного анализа, как наиболее разработанного и апробированного на практике:

- иерархии, означающего целесообразность рассмотрения эффективности ТСПК с позиций разных уровней системной иерархии;

- приоритета целого над частями сложной системы, подчеркивающего целесообразность развития аппарата, позволяющего оценивать влияние изменений в подсистемах ТСПК на показатели эффективности с позиций разных уровней системной иерархии;
- сочетания детерминизма и неопределенности, предопределяющего использование вероятностного (при достаточной статистике) и нечеткого (на основе экспертной информации) подходов к выбору математического аппарата исследования;
- декомпозиции и композиции элементов проблемной области, позволяющий снизить уровень сложности исследования и обратить внимание на архитектурно значимые точки;
- единства, поскольку все элементы ТСПК находятся во взаимосвязи и взаимозависимости и для достижения общей цели они должны содействовать друг другу;
- связности, так как все элементы ТСПК связаны не только между собой, но и с внешними системами и необходимо выявлять все последствия и взаимосвязи каждого частного решения основной задачи;
- функциональности, означающего совместное рассмотрение структуры и функций ТСПК с приоритетом функции над структурой;
- учета гносеологической и структурной сложности человеческого фактора, включающего предпочтение всех участников обоснования оценки эффективности ТСПК с позиций динамики ее качественных изменений;
- адаптивности, предполагающего прогнозирование возможных условий и способов на основе не только априорной (статической) информации, но также текущей динамической и прогнозной информации.

Для выполнения расчетов по оценке эффективности ТСПК на начальном этапе необходимо провести качественный анализ эффективности, который позволит установить:

- инструменты, алгоритмы и элементы ТСПК, за счет которых образуется полезный эффект, подразумевающий адекватность ее функциональных характеристик конкретным целям и задачам приемочного контроля;
- факторы, как движущие силы, причины или технико-экономические условия, под влиянием которых изменяются показатели эффективности ТСПК;
- направления действия этих факторов;
- источники, представляющие собой совокупность существующих резервов, ресурсов (неиспользованных возможностей), за счет экономии которых может быть получен положительный эффект;
- качественные оценки предполагаемых эффектов.

Таким образом, проведен анализ современного состояния проблемы оценки эффективности сложных систем, выявлены характерные особенности и сформулированы принципы решения

задачи оценки эффективности ТСПК, что позволяет далее выполнить качественный анализ и оценку эффективности ТСПК.

4.2 Факторы, определяющие эффективность ТСПК, и критерии качественной оценки потенциального положительного эффекта

Перед выбором показателей, позволяющих полно и всесторонне количественно оценить эффективность ТСПК, необходимо отметить и проанализировать внесенные изменения в технологию приемочного контроля, которые представляют собой потенциальный источник выгоды. Реализацией эффективного рассмотрения этих изменений является общая формальная схема, объединяющая функциональные особенности новой технологии, факторы, существенно влияющие на эффективность ТСПК, источники, используемые для реализации тех или иных факторов, и критерии качественной оценки возможного положительного эффекта изменений.

Большое значение имеет классификация факторов и источников повышения эффективности, которые целесообразно классифицировать по ограниченному количеству групповых признаков, что способствует более точному определению показателей, направлений и путей повышения эффективности ТСПК [114]. На рисунке 4.1 такая формальная схема представлена в виде взаимосвязанной системы. Она включает в себя следующие факторы и источники:

фактор 1.1 - внедрение средств автоматизации, обеспечивающих сбор, обработку, систематизацию, конвертирование, хранение и накопление информации;

фактор 1.2 - внедрение средств автоматизации, обеспечивающих процесс анализа проблем и синтеза решений для оптимального поиска неисправностей и своевременного выявления технического состояния изделия, приводящего к отказам;

фактор 1.3 - внедрение средств автоматизации, обеспечивающих визуализацию процессов, решений, данных и знаний;

фактор 1.4 - внедрение средств автоматизации, обеспечивающих взаимный обмен и объединение информации среди участников ЖЦ цикла изделия;

фактор 2.1 - обеспечение интегрированной и согласованной информацией из различных источников;

фактор 2.2 - использование прогрессивных методов, моделей и алгоритмов обработки информации при принятии решений;

фактор 2.3 - тиражирование экспертных знаний и результативной информации;

фактор 2.4 - обеспечение адаптации базы данных и базы знаний;

фактор 2.5 - обеспечение визуализации процессов, решений, данных и знаний;

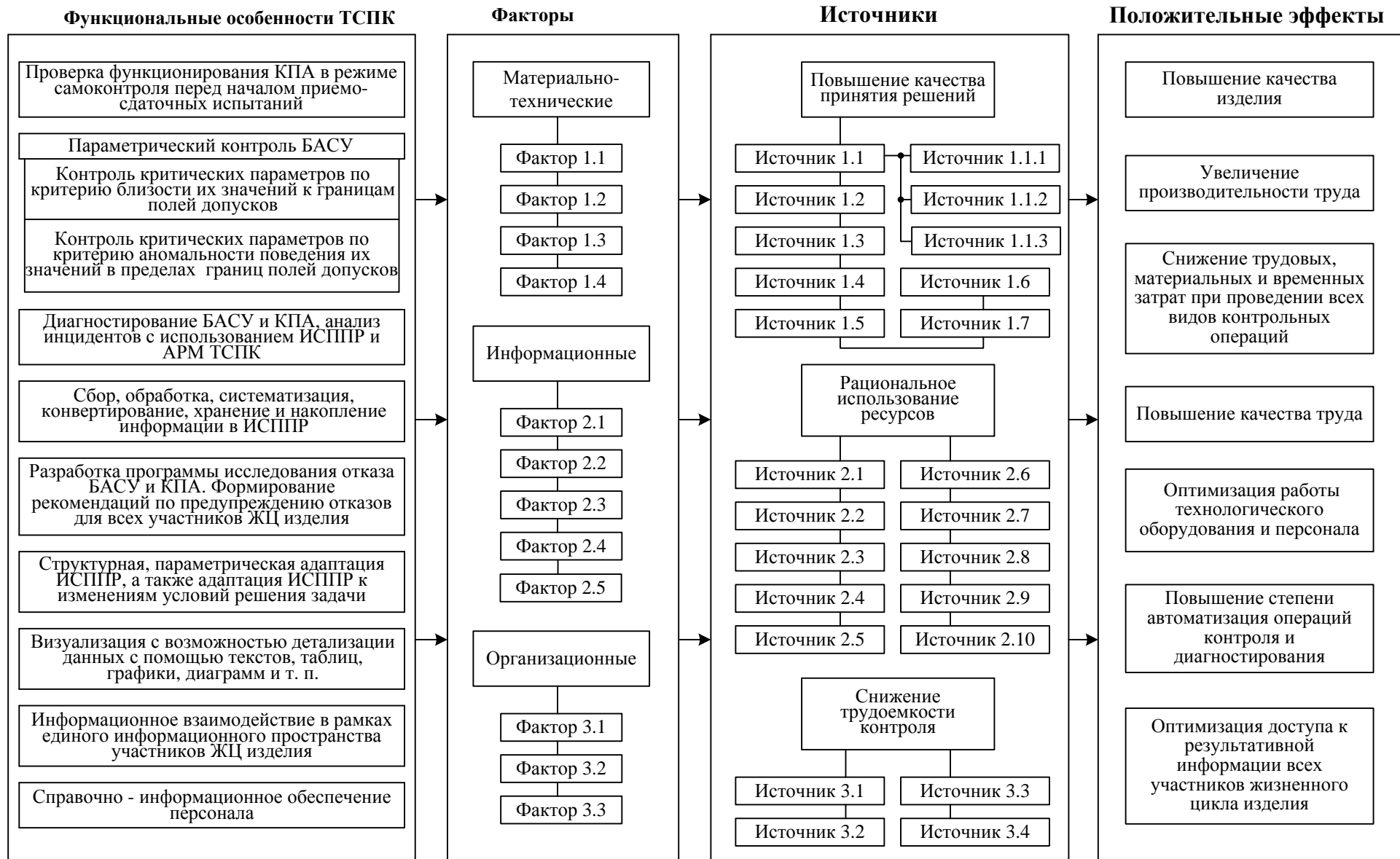


Рисунок 4.1 – Диаграмма составляющих эффективности ТСПК

фактор 3.1 - организация системы приемочного контроля: совершенствование структуры ТСПК, организация мероприятий, обеспечивающих экономию в расходовании ресурса изделия и оборудования;

фактор 3.2 - организация труда: развитие кооперации (организация единой информационной среды сотрудничества); распространение передовых приемов и методов труда (организация объединения информации в единый банк данных и знаний на основе общей формы ее представления); совершенствование эргономического обеспечения (организация углубленного взаимодействия персонала и вычислительной техники на основе диалоговых методов и средств);

фактор 3.3 - организация управления: рационализация документооборота (организация перевода информации из бумажного вида в электронный вид), рациональная технология взаимодействия с участниками ЖЦ изделия и аналогичными ТСПК, автоматизация подготовки принятия управленческого решения.

источник 1.1 - повышение уровня информационного обеспечения;

источник 1.1.1 - повышение глубины и оперативности аналитических расчетов;

источник 1.1.2 - увеличение состава, полноты, детальности и видов используемой информации;

источник 1.1.3 - повышение оперативности, своевременности, актуальности и достоверности (за счет сопоставления данных из различных источников) получаемой информации;

источник 1.2 - снижение влияния человеческого фактора на принятие решений;

источник 1.3 - повышение обоснованности, полноты, четкости и понятности решений;

источник 1.4 - снижение риска ошибочных решений;

источник 1.5 - снижение риска выполнения задания в срок из-за своевременного доступа к информации;

источник 1.6 - рост профессиональных навыков за счет лучшего понимания задач, расширения знаний и информированности сотрудников;

источник 1.7 - повышение качества визуализации процессов, решений, данных и знаний;

источник 2.1 - расширение функциональных возможностей ТСПК;

источник 2.2 - расширение организационных рамок применения ТСПК;

источник 2.3 - уменьшение расхода технического ресурса изделия и технологического оборудования в процессе диагностирования;

источник 2.4 - сокращение затрат, связанных с взаимодействием между поставщиками информации;

источник 2.5 - сокращение затрат на электроэнергию, сжатый воздух, цеховые перевозки, амортизацию и текущий ремонт оборудования;

источник 2.6 - уменьшение расходов на гарантийное обслуживание, ремонт, выплату неустойки за несвоевременность поставки и возмещение убытков потребителю;

источник 2.7 - устранение дублирования усилий в получении результативной информации;

источник 2.8 - сокращение длительности обучения персонала;

источник 2.9 - снижение нагрузки на персонал и требований к его квалификации;

источник 2.10 - устранение рутинных и автоматизация сложных операций;

источник 3.1 - сокращение затрат на сбор, обработку, поиск и передачу информации;

источник 3.2 - сокращение затрат на анализ проблем и синтез решений;

источник 3.3 - сокращение выработки ресурса объекта при проведении контроля и диагностирования в процессе изготовления, путем минимизации времени нахождения изделия во включенном состоянии;

источник 3.4 - ускорение документооборота за счет использования вычислительной техники.

Таким образом, выявлены основные факторы и источники повышения эффективности ТСПК. Построена диаграмма составляющих эффективности ТСПК, позволяющая провести качественную оценку потенциального положительного эффекта и более точно определить количественные показатели, направления и пути повышения эффективности ТСПК. Проведенные исследования являются основой для дальнейшего формирования системы комплексных показателей эффективности ТСПК.

4.3 Классификация вида эффективности и выходного эффекта ТСПК для различных уровней иерархии производственной системы

Особенностями БАСУ как объектов контроля являются принадлежность к категории критических по последствиям отказов и требование высокого уровня безотказности при ограниченном ресурсе. Такие системы классифицируются как системы кратковременного действия и полностью характеризуются совокупностью состояний элементов в момент выполнения задачи. Следовательно, БАСУ, как объект контроля должна иметь после прохождения приемочного контроля начальное безотказное состояние с вероятностью, близкой к единице и сохранять это состояние в течение расчетной средней наработки на отказ.

Таким образом, для рассматриваемого класса объектов контроля эффективность ТСПК должна рассматриваться как задача обеспечения приёмки БАСУ с высокой вероятностью безотказности в течение расчетной средней наработки на отказ при минимальном расходовании ресурса изделия в процессе контроля, диагностирования и ремонта [118]. Примем это условие как выходной эффект системы, который по ГОСТ 27.002-89 [29] выражается заданным коэффициентом эффективности $K_{эф}$, представляющим собой обобщенное наименование

группы показателей, применяемых в различных отраслях техники и имеющих собственные наименования, обозначения и определения.

Для решения задач системного анализа ТСПК, определяемых целью исследования, используем сочетание системно-структурного и системно-функционального подходов. Это означает, что наряду с выделением наиболее общих принципов структурной организации ТСПК как системы, определяются важнейшие функциональные свойства элементов системы, подсистем и всей системы.

Эффективность ТСПК, в зависимости от задачи анализа, может быть рассмотрена с позиции разных уровней системной иерархии. В таблице 4.1 приведена классификация вида эффективности и выходного эффекта в зависимости от качественного функционирования ТСПК для различных уровней иерархии производственной системы.

Таблица 4.1 - Классификация вида эффективности и выходного эффекта

Уровни производственной системы	Вид эффективности	Рекомендуемый вид представления $K_{эф}$
Производственная система	Эффективность системы качества	Вероятность выпуска изделий заданного уровня качества - P_{nc}
Технологическая система приемочного контроля БАСУ	Качество функционирования ТСПК	Вероятность безошибочного и своевременного выполнения приемочного контроля - P_{bc}
Технологическая система принятия решений (ТСПР)	Качество решений	Коэффициент результативности ИСППР и АРМ ТСПК - $K_{рез}$

Таким образом, проведенная классификация вида эффективности и выходного эффекта ТСПК позволяет, в зависимости от задачи анализа, рассматривать эффективность ТСПК с позиции разных уровней системной иерархии, что является основой для дальнейшей разработки методики оценки эффективности ТСПК.

4.4 Методика оценки эффективности ТСПК

Для оценки эффективности ТСПК предлагается следующая методика.

На уровне производственной системы эффективность ТСПК определяется совокупностью оценок экономической эффективности и технической эффективности:

$$P_{nc} = F(E^{эк}, E^{тех}). \quad (4.1)$$

Экономическая эффективность как комплексный показатель используется при решении типичных задач определения эффективности внедрения нового автоматизированного

оборудования. При расчетах учитывают расходы на проектирование, разработку программного обеспечения, наладку, обучение операторов и т.д. Функционирование современных систем автоматизации производственных процессов поддерживается автоматизированной информационной системой, управление процессами, в том числе и процессом приемосдаточных испытаний, осуществляется программно-техническими системами, поэтому при экономических расчетах необходимо учитывать затраты на разработку и внедрение автоматизированных информационных технологий. Для сравнительной оценки эффективности существующей и новой технологии приемочного контроля необходимо также учитывать затраты, связанные с процессами контроля, диагностирования и ремонта в рамках всего производственного цикла. Таким образом, экономическую эффективность можно выразить следующей функциональной зависимостью:

$$E^{\text{ЭК}} = f^{\text{ЭК}}(E_T, E_{II}, E_B, E_{TP}), \quad (4.2)$$

где E_T – суммарные затраты на проектирование и внедрение технических средств нового автоматизированного оборудования, E_{II} – суммарные затраты на разработку и внедрение необходимого информационного обеспечения новой техники, E_B – показатель относительных затрат времени на контроль, диагностирование и ремонт, E_{TP} – показатель относительной трудоемкости выполнения контроля, диагностирования и ремонта.

$$E_B = \frac{\sum_{i=1}^n T_{\text{в.}i}}{T_{\text{в.}min}}, \quad (4.3)$$

$$E_{TP} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{\text{мп.}i}}{T_{\text{мп.}min}}, \quad (4.4)$$

где $T_{\text{в.}i}$ – затраты времени на контроль, диагностирование и ремонт при проведении i -го приемочного контроля; $T_{\text{в.}min}$ – минимальное время на проведение контроля, диагностирования и ремонта, определенное заказчиком и экспертами; $T_{\text{мп.}i}$ – трудоемкость выполнения контроля, диагностирования и ремонта при проведении i -го приемочного контроля; $T_{\text{мп.}min}$ – минимальная трудоемкость при проведении контроля, диагностирования и ремонта, определенное заказчиком и экспертами; n – общее количество проведенных процессов приемочного контроля за исследуемый отрезок времени.

В рассматриваемом случае мы имеем дело с таким объектом контроля, у которого ущерб от невыполнения задачи при его использовании может многократно превысить расходы на

достижение экономически оправданного варианта ТСПК. В связи с этим обстоятельством при анализе и оценке эффективности целесообразно основное внимание сосредоточить на технической эффективности E^{mex} , характеризующей качество функционирования ТСПК и зависящей от факторов, определяющих и обеспечивающих качество функционирования. В общем виде E^{mex} , являющаяся оценкой достижения поставленной цели, можно выразить следующей функциональной зависимостью:

$$E^{mex} = f^{mex}(H(x), G(y), R), \quad (4.5)$$

где $H(x)$ – характеристики безотказности ТСПК, $G(y)$ – вероятностные характеристики достоверного оценивания контролируемых параметров и принятия решений по результатам контроля; R – показатель относительного расхода ресурса изделия при контроле, диагностировании и ремонте. R определяется как отношение математического ожидания времени нахождения изделия во включенном состоянии при контроле, диагностировании, ремонте к минимальному, определенному заказчиком и экспертами.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n T_{вкл.i}}{T_{вкл.min}}. \quad (4.6)$$

В качестве целевого показателя, позволяющего оценивать качество функционирования ТСПК на уровне непосредственного выполнения приемочного контроля, предлагается использовать $P_{\delta c}$ – вероятность безошибочного и своевременного выполнения приемочного контроля. Термин «своевременность» введен в связи с ограничением на время проведения контрольных операций. Своевременным будем считать выполнение всей программы приемочного контроля за время, не превышающее допустимое. Временные затраты на любые повторные проверки или повторное выполнение всей программы контроля будем считать нежелательным дополнением к заданному допустимому значению.

Реализация требуемого уровня $H(x)$ не представляет особой проблемы в связи с известными методами и средствами обеспечения безотказности ТСПК как системы кратковременного действия. В то же время, вероятность обнаружения отказа в БАСУ и принятие достоверного решения при оценке результатов каждой проверки параметров и режимов по программе контроля, связано со значительным числом случайных факторов и наличием неопределенностей. Включение в структуру ТСПК ИСППР позволяет совместить программу приемочного контроля с диагностированием в случае отказа или появления неопределенности в результатах отдельных проверок по программе и повысить достоверность оценки результатов приемочного контроля. Таким образом, и качество функционирования ТСПК, определяемое в основном характеристиками $G(y)$, и показатель $P_{\delta c}$, связаны с принятием правильных решений

по информации, полученной в результате контроля. Следовательно, для определения показателя P_{oc} выходного эффекта, как качественной характеристики эффективности ТСПК, необходимо детально проанализировать процесс оценки информации, получаемой в результате проведения приемочного контроля.

Разработка методики оценки эффективности ТСПК с позиции уровня ТСПР связана с решением следующих задач:

- обосновать выбор показателя эффективности ТСПК, позволяющего напрямую оценивать способность ИСППР и АРМ ТСПК выполнять их основные функции – обеспечивать информацией ЛПР;
- предложить адекватный модельно-методический аппарат для прогнозирования и оценки эффективности ИСППР и АРМ ТСПК, позволяющий проводить анализ на различных стадиях ЖЦ, учитывающую динамику изменения качества системы и индивидуальные предпочтения (интуитивные суждения эвристического характера) всех заинтересованных лиц, прогнозировать на отдаленную перспективу.

В ТСПК БАСУ последовательно решаются задачи сбора, обработки, анализа информации об объекте контроля для определения его технического состояния и получения с большей достоверностью оценки качества. В процессе принятия решений по результатам контроля часто приходится учитывать неопределенность полученной информации, имеющей различные источники происхождения, степень и характер.

Таким образом, возникает неопределенность при выборе одного соответствующего ситуации варианта из числа возможных альтернатив. Эти обстоятельства оказывают влияние на качество принимаемых решений и, соответственно на эффективность приемочного контроля, которая в настоящее время определяется высокой квалификацией и опытом ЛПР.

Информационная энтропия, характеризующая количество неопределенности в информации, является мерой ее хаотичности или мерой внутренней неупорядоченности информационной системы приемочного контроля, которая представляет собой совокупность механизмов, обеспечивающих прием или создание информации, ее хранение, передачу и использование. Уменьшение энтропии или неопределенности до минимально возможной величины, согласно теории информации, можно достичь за счет углубленного изучения имеющейся информации и поступления недостающей информации, изменяющей степень неосведомленности ЛПР о состоянии системы. Применение ИСППР и АРМ ТСПК позволяет повысить надежность технологического процесса приемочного контроля и является существенным фактором перевода ТСПК в детерминированное состояние, при котором у ЛПР складывается полное представление о процессе и тем самым управленческое решение принимается в условиях полной определенности.

Поскольку выходным продуктом ИСППР и АРМ ТСПК является информация или, в более общей трактовке, знания о проблемной области, то для прогнозирования и оценки эффективности ИСППР и АРМ ТСПК целесообразно выбрать показатель, оценивающий произведенную дополнительную информацию и эффективность ее использования, имеющий ясный физический смысл и доступный для ручной и машинной обработки. Он должен быть максимально универсальным и отвечать потребности осуществления наиболее полной объективной оценки эффективности.

В числе имеющихся информационных технологий предусмотрены методологии определения меры информации: синтаксической, семантической и прагматической. Традиционно информация оценивается ее количеством, и этого в большинстве задач анализа технических каналов связи является достаточно. Однако для ЛПР, его возможности решать возникающие задачи большое значение имеет не только и не столько количество информации, сколько ее ценность. Прагматический подход к определению меры информации отражает отношение информации и ЛПР, соответствие информации цели приемочного контроля, которая на ее основе реализуется. Проявляются прагматические свойства информации только при наличии единства информации, ЛПР и цели контроля. Прагматический подход связан с рассмотрением ценности, полезности использования информации при выработке ЛПР решений для достижения цели и зависит от качества принятых решений и мер. Целевым показателем, характеризующим качество выполнения приемочного контроля, является $P_{\text{бс}}$ - вероятность безошибочного и своевременного выполнения приемочного контроля [113].

Ценность информации, которой ИСППР и АРМ ТСПК обеспечивают ЛПР, обуславливается комплексом основных потребительских показателей ее качества. Самая ценная информация, учитывающая особенности ее использования в ТСПК, должна быть:

- достоверной, т.е. неискаженной, соответствующей истинному техническому состоянию системы;
- полной, т.е. достаточной для принятия правильного решения или для создания новой информации на основе имеющейся;
- доступной, т.е. дающей возможность беспрепятственного доступа к информации пользователям, имеющим соответствующие права;
- своевременной, т.е. поступающей не позже заранее назначенного времени, согласованного со временем решения поставленной задачи;
- репрезентативной, т.е. правильно отображенной и сформированной в целях адекватного отражения свойств объекта, процесса явления и т.п.;

- актуальной, т.е. сохраняющей свою ценность в момент принятия решений и зависящей от динамики изменения ее характеристик и от интервала времени, прошедшего с момента возникновения данной информации;

- понятной (ясной), т.е. представленной в удобном для восприятия виде.

Отечественные ученые А. А. Харкевич, М. М. Бонгард, Д. С. Чернавский и В. И. Корогодина в своих исследованиях отмечали связь ценности информации с поставленной целью. Для вычисления количественного показателя ценности информации может быть применен способ В. И. Корогодина [59], в рамках которого ценность информации определяется приращением вероятности достижения той цели, для чего данная информация используется.

В качестве показателя выходного эффекта ТСПР использован коэффициент результативности ИСППР и АРМ ТСПК $K_{рез.}$. Он определяется как математическое ожидание $M(C)$ и равен среднему арифметическому всех принимаемых значений C при числе рассматриваемых вариантов проведения приемочного контроля:

$$K_{рез.} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i, \quad (4.7)$$

где C является количественным показателем ценности информации, интегральным измерителем результативности приемочного контроля и вычисляется по формуле В. И. Корогодина:

$$C = \frac{P_{\delta c1} - P_{\delta c0}}{1 - P_{\delta c0}}, \quad (4.8)$$

где $P_{\delta c1}$ - вероятность безошибочного и своевременного выполнения приемочного контроля с использованием ИСППР и АРМ ТСПК, $P_{\delta c0}$ - вероятность безошибочного и своевременного выполнения приемочного контроля без использования ИСППР и АРМ ТСПК.

Критерием эффективности, позволяющим сопоставлять различные варианты $u \in U$ построения ИСППР и АРМ ТСПК, является:

$$W(u^*) = \max_{u \in U} W(u), \quad (4.9)$$

где u^* - оптимальный вариант, обеспечивающий максимальную эффективность в приемочном контроле, u - варианты, удовлетворяющие условию $K_{рез.} \geq K_{рез.}^{mp}$, $K_{рез.}^{mp}$ - требуемое значение $K_{рез.}$.

Вычисление показателя $P_{\delta c}$ предлагается выполнять на основе применения инструмента БСД. Как правило, байесовский подход реализуют при построении моделей системы, являющейся комплексом взаимосвязанных объектов различного типа. БСД позволяют рассматривать все множество наиболее значимых факторов процесса в их взаимосвязи и эффективно описывать динамику изменения вероятностей нахождения процесса в различных состояниях в зависимости от состояний факторов [97, 130]. Применительно к процессу приемочного контроля БАСУ байесовский подход позволяет проводить информационный

анализ ТСПК, элементы которой вносят различный вклад в информацию о состоянии БАСУ и технологического процесса, и получать оценку целевого параметра сети, характеризующего качество выполнения приемочного контроля.

Предлагаемый подход рассматривает задачу оценки P_{oc} как задачу классификации, т.е. принадлежности к одной из двух непересекающихся областей: приемочный контроль выполнен безошибочно, своевременно и приемочный контроль не выполнен безошибочно, своевременно. На рисунке 4.2 показана топология байесовской сети для процесса приемочного контроля, где родительский узел (результат выполнения приемочного контроля) представляет собой гипотезу, дочерние узлы (наиболее существенные факторы, влияющие на состояние родительского узла) - свидетельства.



Рисунок 4.2 - Топология байесовской сети для процесса приемочного контроля БАСУ

Узлы БСД представляют собой дискретные случайные величины с конечным количеством состояний и приведены в таблице 4.2. Для количественного описания БСД используются таблицы безусловных вероятностей для гипотезы и условных вероятностей для свидетельств. В случае дискретного узла такая таблица содержит распределение вероятностей между всеми возможными состояниями этого узла. Численные значения параметров таблиц формируются экспертами на основании имеющейся на данный момент времени информации. Например, для переменной B_7 (готовность КПА) значения условных вероятностей представлены в таблице 4.3.

На этапе разработки ИСППР и АРМ ТСПК такой информацией является: экспериментальные и статистические данные, характеризующие работу, функционирующей в настоящее время, ТСПК без ИСППР и АРМ ТСПК; теоретические представления и субъективные оценки вероятностей экспертов, результаты предварительных экспериментов.

Таблица 4.2 - Узлы БСД и их дискретные состояния

Узел	Значения переменных в узлах БСД	Пояснение
Результат приемочного контроля	A=1. Приемочный контроль выполнен безошибочно и своевременно A=2. Приемочный контроль не выполнен безошибочно и своевременно	Вычисление вероятности безошибочного и своевременного выполнения приемочного контроля
Готовность БАСУ	$V_1=1$. Отсутствие неисправностей и предотказных состояний $V_1=2$. Наличие неисправностей или предотказных состояний	Оценка технического состояния изделия
Достоверность визуального и органолептического контроля	$V_2=1$. Наличие признаков неисправностей $V_2=2$. Отсутствие признаков неисправностей	Выявление косвенных диагностических признаков: световые и звуковые сигналы, изменение температуры, показания измерительных приборов, повреждения элементов, изоляции и др.
Достоверность результатов тестовых проверок	$V_3=1$. Наличие неопределенностей в результатах тестирования $V_3=2$. Отсутствие неопределенностей в результатах тестирования	Оценка неисправностей на их различимость, обеспечивающую глубину поиска до составной части после тестирования. Оценка запаса работоспособности параметров контроля
Квалификация обслуживающего персонала	$V_4=1$. Средний уровень $V_4=2$. Высокий уровень	Оценка уровня профессиональной подготовки обслуживающего персонала
Технический уровень АРМ ТСПК	$V_5=1$. Низкий уровень $V_5=2$. Средний уровень $V_5=3$. Высокий уровень	Оценка совершенства технических и программных средств, операционной системы, сетевых и коммуникационных устройств, информационного обеспечения и т.д.
Интеллектуальный уровень ИСППР	$V_6=1$. Низкий уровень состояния БЗ и БД $V_6=2$. Средний уровень состояния БД и БЗ $V_6=3$. Высокий уровень состояния БД и БЗ	Оценка совершенства БЗ и БД
Готовность КПА	$V_7=1$. Наличие неисправностей $V_7=2$. Отсутствие неисправностей	Оценка технического состояния контрольно-проверочной аппаратуры

Таблица 4.3 - Значения условных вероятностей $P(B_7|A)$

B_7	$P(B_7 A=1)$	$P(B_7 A=2)$
1	0,2	0,15
2	0,8	0,85

По мере поступления дополнительных сведений эти значения подвергаются уточнению и, при наличии достаточного количества статистических данных, вероятностные суждения могут быть представлены с помощью частотной интерпретации вероятности.

Раскрытие неопределенности при расчете показателя эффективности приемочного контроля осуществляется в БСД путем вычисления вероятности состояния целевого элемента моделируемой системы. Суть рассуждений в байесовской сети: в систему поступает информация (свидетельства) о том, что события, соответствующие тем или иным ее узлам, произошли, и нашей задачей становится – оценить, как изменились вероятность состояния целевого узла (гипотезы). Можно сказать, что информация, приходящая в наблюдаемые переменные (дочерние узлы), распространяется внутри байесовской сети и изменяет вероятностное распределение ненаблюдаемой переменной (родительского узла).

Для примера выведем формулы для расчета P_{6c1} и P_{6c0} , при условии, что установлены следующие значения переменных: $B_1=1, B_2=1, B_3=1, B_4=1, B_5=1, B_6=1, B_7=1$. Сначала получим формулу для расчета $P_{6c1} = P(A=1 | B_1=1, B_2=1, B_3=1, B_4=1, B_5=1, B_6=1, B_7=1)$. Совместная вероятность наступления $A, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7$, определяемая формулой полной вероятности и цепным правилом, имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} P(A, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7) &= P(A) \cdot P(B_1 | A) \cdot P(B_2 | A, B_1) \cdot P(B_3 | A, B_1, B_2) \times \\ &\times P(B_4 | A, B_1, B_2, B_3) \cdot P(B_5 | A, B_1, B_2, B_3, B_4) \cdot P(B_6 | A, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5) \times \\ &\times P(B_7 | A, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6) = P(A) \cdot P(B_1 | A) \cdot P(B_2 | A) \cdot P(B_3 | A) \cdot P(B_4 | A) \times \\ &\times P(B_5 | A) \cdot P(B_6 | A) \cdot P(B_7 | A). \end{aligned} \quad (4.10)$$

Из формулы Байеса получаем следующее уравнение для вычисления апостериорной вероятности гипотезы:

$$\begin{aligned} P_{6c1} &= P(A=1 | B_1=1, B_2=1, B_3=1, B_4=1, B_5=1, B_6=1, B_7=1) = \\ &= \frac{P(A=1) \cdot P(B_1=1, B_2=1, B_3=1, B_4=1, B_5=1, B_6=1, B_7=1 | A=1)}{P(B_1=1, B_2=1, B_3=1, B_4=1, B_5=1, B_6=1, B_7=1)} = \\ &= \frac{P(A=1, B_1=1, B_2=1, B_3=1, B_4=1, B_5=1, B_6=1, B_7=1)}{P(B_1=1, B_2=1, B_3=1, B_4=1, B_5=1, B_6=1, B_7=1)} = \\ &= \frac{P(A=1) \cdot \prod_{k=1}^7 P(B_k=1 | A=1)}{\sum_{n=1}^2 P(A_n) \cdot P(B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7 | A_n)} = \\ &= \frac{P(A=1) \cdot \prod_{k=1}^7 P(B_k=1 | A=1)}{\sum_{n=1}^2 P(A_n) \cdot P(B_1 | A_n) \cdot P(B_2 | A_n) \cdot P(B_3 | A_n) \cdot P(B_4 | A_n) \cdot P(B_5 | A_n) \cdot P(B_6 | A_n) \cdot P(B_7 | A_n)}, \end{aligned} \quad (4.11)$$

где

$$\begin{aligned}
& \sum_{n=1}^2 P(A_n) \cdot P(B_1 | A_n) \cdot P(B_2 | A_n) \cdot P(B_3 | A_n) \cdot P(B_4 | A_n) \cdot P(B_5 | A_n) \cdot P(B_6 | A_n) \cdot P(B_7 | A_n) = \\
& = P(A=1) \cdot P(B_1=1 | A=1) \cdot P(B_2=1 | A=1) \cdot P(B_3=1 | A=1) \cdot P(B_4=1 | A=1) \times \\
& \times P(B_5=1 | A=1) \cdot P(B_6=1 | A=1) \cdot P(B_7=1 | A=1) + P(A=2) \cdot P(B_1=1 | A=2) \times \\
& \times P(B_2=1 | A=2) \cdot P(B_3=1 | A=2) \cdot P(B_4=1 | A=2) \cdot P(B_5=1 | A=2) \cdot P(B_6=1 | A=2) \times \\
& \times P(B_7=1 | A=2).
\end{aligned} \tag{4.12}$$

Далее выведем формулу для расчета $P_{\text{с}0} = P(A=1 | B_1=1, B_2=1, B_3=1, B_4=1, B_7=1)$.

Совместная вероятность наступления $A, B_1, B_2, B_3, B_4, B_7$ имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
P(A, B_1, B_2, B_3, B_4, B_7) &= P(A) \cdot P(B_1 | A) \cdot P(B_2 | A, B_1) \cdot P(B_3 | A, B_1, B_2) \times \\
& \times P(B_4 | A, B_1, B_2, B_3) \cdot P(B_7 | A, B_1, B_2, B_3, B_4) = P(A) \cdot P(B_1 | A) \cdot P(B_2 | A) \times \\
& \times P(B_3 | A) \cdot P(B_4 | A) \cdot P(B_7 | A).
\end{aligned} \tag{4.13}$$

Апостериорная вероятность гипотезы может быть рассчитана по формуле:

$$\begin{aligned}
P_{\text{с}0} &= P(A=1 | B_1=1, B_2=1, B_3=1, B_4=1, B_7=1) = \\
& = \frac{P(A=1) \cdot P(B_1=1, B_2=1, B_3=1, B_4=1, B_7=1 | A=1)}{P(B_1=1, B_2=1, B_3=1, B_4=1, B_7=1)} = \\
& = \frac{P(A=1, B_1=1, B_2=1, B_3=1, B_4=1, B_7=1)}{P(B_1=1, B_2=1, B_3=1, B_4=1, B_7=1)} = \frac{P(A=1) \cdot \prod_{k=1,2,3,4,7} P(B_k=1 | A=1)}{\sum_{n=1}^2 P(A_n) \cdot P(B_1, B_2, B_3, B_4, B_7 | A_n)} = \\
& = \frac{P(A=1) \cdot \prod_{k=1,2,3,4,7} P(B_k=1 | A=1)}{\sum_{n=1}^2 P(A_n) \cdot P(B_1 | A_n) \cdot P(B_2 | A_n) \cdot P(B_3 | A_n) \cdot P(B_4 | A_n) \cdot P(B_7 | A_n)}
\end{aligned} \tag{4.14}$$

где

$$\begin{aligned}
& \sum_{n=1}^2 P(A_n) \cdot P(B_1 | A_n) \cdot P(B_2 | A_n) \cdot P(B_3 | A_n) \cdot P(B_4 | A_n) \cdot P(B_7 | A_n) = \\
& = P(A=1) \cdot P(B_1=1 | A=1) \cdot P(B_2=1 | A=1) \cdot P(B_3=1 | A=1) \cdot P(B_4=1 | A=1) \times \\
& \times P(B_7=1 | A=1) + P(A=2) \cdot P(B_1=1 | A=2) \cdot P(B_2=1 | A=2) \cdot P(B_3=1 | A=2) \times \\
& \times P(B_4=1 | A=2) \cdot P(B_7=1 | A=2).
\end{aligned} \tag{4.15}$$

Таким образом, мы получили формулы для вычисления $P_{\text{с}1}$ и $P_{\text{с}0}$.

В результате моделирования, максимально учитывающего специфику приемочного контроля БАСУ, синтезируется новая информация, которую невозможно получить другими способами, особенно на ранних стадиях ЖЦ изделия. Дальнейшее улучшение качества прогнозирования и оценки эффективности процесса приемочного контроля может быть достигнуто путем обучения БСД на имеющихся экспериментальных данных. Обучение можно разделить на два направления: выбор эффективной топологии сети с возможным добавлением новых узлов, коррекцией количества состояний узлов и настройка параметров условных и безусловных

распределений для значений переменных в узлах. Наибольшая точность расчетов достигается в том случае, если значения переменных в процессе вероятностного вывода соответствуют реальным статистическим данным.

Численные значения условных вероятностей, которые используются для прогнозной оценки $P_{\bar{oc}}$, могут быть получены на основании экспертной обработки результатов приближенных аналитических расчетов.

Вероятность безошибочного и своевременного выполнения приемочного контроля вычисляется по следующей формуле:

$$P_{\bar{oc}} = P_{\bar{o}} \cdot P_c, \quad (4.16)$$

где $P_{\bar{o}}$ - вероятность безошибочного выполнения приемочного контроля, P_c - вероятность своевременного его выполнения.

Выполнение расчета реальной, а не ожидаемой, вероятности безошибочного выполнения приемочного контроля, возможно, только после некоторого периода эксплуатации, по мере накопления определенного статистического материала. С точки зрения математической статистики единичные выборки не являются представительными и, соответственно, оценки, построенные на таком исходном материале далеки от истины.

Пусть в результате проведения приемочного контроля N изделий были признаны исправными N_1 и неисправными – N_0 изделий. Среди N_1 исправных изделий находятся N_{11} изделий, по которым было принято правильное решение, и N_{01} изделий, по которым принято ошибочное решение об их состоянии. Аналогично среди N_0 неисправных изделий есть N_{00} изделий, по которым принято правильное решение, и N_{10} изделий, по которым принято ошибочное решение. Первые индексы показывают действительное техническое состояние изделия, а вторые индексы – принятые решения о его состоянии: 1 – изделие исправно, 0 – изделие неисправно. Сумма безусловных вероятностей этих событий равна 1.

$$P(A_{11}) + P(A_{00}) + P(A_{10}) + P(A_{01}) = 1. \quad (4.17)$$

Вероятность безошибочного выполнения приемочного контроля – это степень соответствия результата контроля действительному техническому состоянию изделия и выражается через такой показатель качества приемочного контроля, как достоверность результатов контроля. Она определяется по следующей формуле:

$$P_{\bar{o}} = P(A_{11}) + P(A_{00}) = 1 - (P(A_{10}) + P(A_{01})). \quad (4.18)$$

Безусловные вероятности правильных решений $P(A_{11})$ и $P(A_{00})$ можно определить по формулам:

$$P(A_{11}) = \frac{N_{11}}{N}; \quad (4.19)$$

$$P(A_{00}) = \frac{N_{00}}{N}. \quad (4.20)$$

Безусловные вероятности ошибочно принятых решений $P(A_{01})$ и $P(A_{10})$ определяются по формулам:

$$P(A_{01}) = \frac{N_{01}}{N}; \quad (4.21)$$

$$P(A_{10}) = \frac{N_{10}}{N}. \quad (4.22)$$

Своевременность решения задач контроля оценивается вероятностью того, что стоящие перед ТСПК задачи будут решены за время, не превышающее допустимое:

$$P_c = P(T_{нк}^{cp} \leq T_{дон}) = \int_0^{T_{дон}} \varphi(T) \cdot dT, \quad (4.23)$$

где $T_{нк}^{cp}$ - средняя продолжительность приемочного контроля, $T_{дон}$ - допустимое время проведения приемочного контроля, $\varphi(T)$ - функция плотности времени проведения приемочного контроля. Эта вероятность по статистическим данным об отказах может оцениваться выражением:

$$\bar{P}_c = 1 - \frac{N_{нс}}{N_o}, \quad (4.24)$$

где $N_{нс}$ - число случаев несвоевременно проведенного контроля, N_o - общее количество проведенных процессов приемочного контроля за календарный отрезок времени, \bar{P}_c - статистическая оценка вероятности своевременного проведения приемочного контроля.

При большом числе N_o статистическая оценка \bar{P}_c практически совпадает с вероятностью своевременного проведения приемочного контроля P_c .

$$T_{нк}^{cp} = \frac{\sum_{i=1}^m T_{нкi}}{m}, \quad (4.25)$$

где $T_{нк}$ - количество времени, которое проходится на выполнение i -го приемочного контроля, m - общее количество проведенных процессов приемочного контроля.

$$T_{нк} = T_1 + T_2, \quad (4.26)$$

где T_1 - время проверки качества БАСУ на соответствие требованиям ТУ, T_2 - дополнительное время на мероприятия по устранению несоответствия БАСУ какому-либо требованию ТУ.

Предложенная методика оценки эффективности ТСПК позволяет рассматривать эффективность ТСПК с позиции разных уровней системной иерархии, оценивать

произведенную дополнительную информацию и эффективность ее использования для решения задач приемочного контроля БАСУ.

4.5 Выводы по разделу 4

В результате рассмотрения методологических и методических аспектов оценки эффективности ТСПК сложных изделий типа БАСУ, получены следующие основные результаты:

1. Таким образом, проведен анализ современного состояния проблемы оценки эффективности сложных систем, выявлены характерные особенности и сформулированы принципы решения задачи оценки эффективности ТСПК, позволяющие выполнить качественный анализ и оценку эффективности ТСПК.
2. Определены основные факторы и источники повышения эффективности ТСПК. Предложены критерии качественной оценки возможного положительного эффекта изменений. Построена диаграмма составляющих эффективности ТСПК, позволяющая провести качественную оценку потенциального положительного эффекта и более точно определить количественные показатели, направления и пути повышения эффективности ТСПК.
3. Разработана система классификации вида эффективности и выходного эффекта ТСПК, позволяющая, в зависимости от задачи анализа, рассматривать эффективность ТСПК с позиции разных уровней системной иерархии.
4. Разработана новая методика оценки эффективности ТСПК БАСУ на основе БСД и прагматического подхода к определению меры информации, позволяющая выявлять выходной эффект на различных уровнях системного рассмотрения и проводить анализ на разных стадиях ЖЦ изделия.
5. Произведена оценка эффективности новой технологии приемочного контроля БАСУ. Проведены частные организационно-технологические мероприятия, позволившие рассмотреть и сравнить оценочные показатели эффективности существующей и новой технологии. На основании экспертной обработки результатов и приближенных аналитических расчетов получена следующая прогнозирующая оценка эффективности ТСПК:
 - уменьшение на 10 - 15% значения частного показателя относительного расхода ресурса изделия при контроле, диагностировании и ремонте;
 - уменьшение на 25 - 30% значения частного показателя относительных затрат времени на контроль, диагностирование и ремонт;
 - уменьшение на 20 - 25% значения частного показателя относительной трудоемкости выполнения контроля, диагностирования и ремонта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Теоретико-методологические и инструментальные результаты диссертации имеют существенное значение для развития теории и практики технологического проектирования приемочного контроля на предприятиях военно-промышленного комплекса. Отличительная особенность полученных результатов состоит в том, что впервые разработана технология, основанная на системном подходе к применению современных информационных систем и методов теории искусственного интеллекта, обеспечивающая достоверную оценку состояния объекта контроля в условиях неопределенности в результатах контроля с максимальным сохранением технического ресурса изделия. В ходе выполнения диссертационной работы получены следующие основные результаты:

1. Проведен анализ современного состояния, тенденций и перспектив развития приемочного контроля БАСУ. Выявлены дестабилизирующие факторы и источники неисправностей, недостатки используемых методов контроля, технических средств, алгоритмического и информационного обеспечения, недостаточная разработанность проблемы технологии приемочного контроля в соответствии с современными требованиями.
2. Обоснована необходимость совершенствования существующей технологии приемочного контроля путем дополнения круга решаемых ею задач и целесообразность применения в качестве методологической основы проектирования технологического процесса и технического обеспечения приемочного контроля системных принципов, технологий интеллектуальной поддержки принятия решений и информационного сопровождения и поддержки ЖЦ продукции.
3. Предложен новый технологический процесс и новая организация проведения приёмочного контроля БАСУ, отличающиеся интеллектуализацией процесса принятия решений по результатам контроля и информационной поддержкой с использованием принципов CALS-технологий, что позволяет обеспечить достоверную оценку состояния объекта контроля и сохранить ресурс БАСУ, улучшить показатели трудоемкости и временных затрат при приемке и восстановлении изделия.
4. Впервые разработана ТСПК сложных ответственных изделий, реализующая предложенную технологию и отличающаяся от известных наличием интеллектуального структурного элемента и целостным представлением на структурном, функциональном, алгоритмическом, информационном и методическом уровнях.
5. Разработана структура информационной поддержки проектирования и функционирования ТСПК, позволяющая своевременно актуализировать базу данных и базу знаний ИСППР, предоставлять имеющуюся информацию другим участникам ЖЦ изделия, оперативно

обмениваться информацией в рамках предприятия-изготовителя посредством АРМ ТСПК, проводить качественный мониторинг в ходе отработки технологии приемочного контроля.

6. Сформированы основные требования, разработана оригинальная концептуальная модель и принципы построения ИСППР, которая характеризуется целевыми интеллектуальными компонентами БЗ и обеспечивает возможность решения трудноформализуемых задач приемочного контроля.

7. Разработана методика многокритериальной идентификации технического состояния объекта контроля, основанная на качественной оценке значений критических параметров с помощью классификатора, реализованного на базе математического аппарата нечетких множеств с использованием функций принадлежности и системы продукционных правил, позволяющая получить достоверную оценку технического состояния.

8. Разработана комбинированная методика оптимизации процедуры диагностирования на основе байесовской и прецедентной модели представления знаний, обеспеченная байесовской сетевой моделью диагностирования, моделями прецедента и библиотеки прецедентов, позволяющая проводить автоматизированный анализ несоответствий в результатах контроля и устранение их причин, обеспечивая при этом минимизацию расходования ресурса изделия.

9. Разработана методика оценки эффективности ТСПК на основе БСД и прагматического подхода к определению меры информации с использованием сочетания системно-структурного и системно-функционального подходов, отличающаяся от известных тем, что дает возможность выявлять выходной эффект на различных уровнях системного рассмотрения, учитывая различный вклад ее элементов.

10. Произведена оценка эффективности новой технологии приемочного контроля БАСУ. Проведены частные организационно-технологические мероприятия, позволившие рассмотреть и сравнить оценочные показатели эффективности существующей и новой технологии. На основании экспертной обработки результатов и приближенных аналитических расчетов получена следующая прогнозирующая оценка эффективности ТСПК:

- уменьшение на 10 - 15% значения частного показателя относительного расхода ресурса изделия при контроле, диагностировании и ремонте;
- уменьшение на 25 - 30% значения частного показателя относительных затрат времени на контроль, диагностирование и ремонт;
- уменьшение на 20 - 25% значения частного показателя относительной трудоемкости выполнения контроля, диагностирования и ремонта.

11. Полученные теоретические результаты послужили основой для разработки изобретения «Способ технического контроля и диагностирования бортовых систем беспилотного летательного аппарата с поддержкой принятия решений и комплекс контрольно-проверочной

аппаратуры с интеллектуальной системой поддержки принятия решений для его осуществления» (Патент №2557771 от 29.06.15 г.).

12. Разработанные в диссертационной работе теоретические решения и практические рекомендации использованы в ОАО «Концерн «Гранит-Электрон» и ЗАО «НПЦ «Аквамарин» при разработке и реализации проектов совершенствования технологических процессов контроля сложных объектов, о чем имеется соответствующий акт.

14. Научные аспекты исследований нашли отражение в практических учебно-методических материалах и используются в учебном процессе на кафедре конструирования и технологии электронных и лазерных средств Санкт-Петербургского университета аэрокосмического приборостроения при проведении занятий по дисциплинам «Технология контроля электронных средств», «Технология производственного контроля приборов», «Интеллектуальные системы технологического проектирования», о чем имеется соответствующий акт.

15. Обозначено направление дальнейших исследований, связанное с разработкой методического обеспечения для прогнозирования технического состояния изделия, что создает предпосылки для перехода от традиционной технологии календарно-планового обслуживания и связанных с ней регламентных работ к новой, более эффективной технологии обслуживания изделия по его фактическому состоянию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф., Силов В.Б., Тарасов В.Б. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1986. - 312 с.
2. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: Монография. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2000. - 352 с.
3. Бидюк П.И. Терентьев А.Н., Гасанов А.С. Построение и методы обучения байесовских сетей // Кибернетика и системный анализ. – 2005. №4. - С.133-147.
4. Биргер И.А. Техническая диагностика. М.: «Машиностроение»,1978. - 240 с.
5. Буреева Н.Н. Многомерный статистический анализ с использованием ППП “STATISTICA” // Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Применение программных средств в научных исследованиях и преподавании математики и механики». Нижний Новгород, 2007, - 112 с.
6. Вагин В.Н., Еремеев А.П. Некоторые базовые принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Известия РАН. Теория и системы управления. 2001. № 6. - С. 114-123.
7. Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А., Фомина М.В. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных систем / Под ред. Вагина В.Н., Д.А. Пospelова. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 704 с.
8. Вагин В.Н., Еремеев А.П. Некоторые базовые принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Известия РАН. Теория и системы управления. 2001. № 6. - С. 114-123.
9. Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Поиск решения на основе структурной аналогии для интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Известия РАН. Теория и системы управления. — № 1. — 2005. - С. 97—109.
10. Варшавский П.Р. Метод рассуждения на основе прецедентов для интеллектуальных систем поддержки принятия решений // НАУЧНАЯ СЕССИЯ МИФИ-2005. Сборник научных трудов. В 15 томах. Т.3. Интеллектуальные системы и технологии. М.: МИФИ, 2005, - С. 154 -155.
11. Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Реализация методов поиска решения на основе аналогий и прецедентов в системах поддержки принятия решений // Вестник МЭИ. - 2006. - № 2. - С. 77-87.

12. Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Методы правдоподобных рассуждений на основе аналогий и прецедентов для интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Новости искусственного интеллекта. – 2006. – №3. – С. 39-62.
13. Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. №2. - С. 47-48.
14. Варшавский П.Р., Пчелина С.М. Разработка модели представления знаний для интеллектуальной системы на основе прецедентов // Вычислительные сети. Теория и практика. 2011, №2 (19): 13.2.
15. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: «Наука», 1969. - 576 с.
16. Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов (теория и практика). – М.: Дело, 2001.– 832 с.
17. Вятчинин Д.А. Нечеткие методы автоматической классификации. – Минск.: УП Технопринт, 2004. – 219 с.
18. Гаскаров Д.В., Голинкевич Т.А., Мозгалевский А.В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры. М.: Сов. радио, 1974. - 224 с.
19. Гаскаров Д.В., Попеначенко В.И., Попов С.А., Шаповалов В.И. Выбор информативных параметров при контроле качества изделий электронной техники. ЛДНТП.- Л.: Общество Знание, 1979. - 32с.
20. Геловани В.А., Башлыков А.А., Бритков В.Б., Вязилов Е.Д. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды. // М.: Эдитореал УРСС, 2001. - 304 с.
21. Гнедов Г.М., Россенбаули О.Б., Шумов Ю.А. Проектирование систем контроля ракет. М.: Машиностроение, 1975. - 224 с.
22. Годин Э.М. CALS-технологии в технологической подготовке производства авиакосмической техники: учебное пособие. М. : МАИ, 2005. - 550 с.
23. Грекул В.И., Денищенко Г.Н., Коровкина Н.Л. Проектирование информационных систем Интернет-университет информационных технологий -2-е изд. – М.: Бином. Лаборатория знаний Интуит Серия: Основы информационных технологий, 2008. – 300 с.
24. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартинформ, 2006. - 48 с.
25. ГОСТ 12.1.006-84. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению работ. – М.: Издательство стандартов, 1984. - 5 с.

26. ГОСТ 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандартинформ, 2010. - 32 с.
27. ГОСТ 12.3.019-80. Система стандартов безопасности труда. Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности. – М.: Издательство стандартов, 1980. - 8 с.
28. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электропитания. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Издательство стандартов, 1998. - 35 с.
29. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1989. - 30 с.
30. ГОСТ 27.004-85. Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1985. - 13 с.
31. ГОСТ 27.202-83. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции. – М.: Издательство стандартов, 1983. - 40 с.
32. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. М.: Издательство стандартов, 1995. - 13 с.
33. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. . М.: Издательство стандартов, 1989. - 9 с.
34. ГОСТ Р 50779.30-95. Статистические методы. Приемочный контроль качества. Общие требования. М.: Издательство стандартов, 1995. - 30 с.
35. ГОСТ Р 50-110-89. Рекомендации. Приемочный контроль качества продукции. Основные положения. М.: Издательство стандартов, 1989. - 14 с.
36. ГОСТ Р 51814.2 – 2001. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. - 19 с.
37. ГОСТ Р 8.568-97. Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения. М.: Издательство стандартов, 1998. - 11 с.
38. Гулап В.М., Крупский М.А. Байесовская процедура распознавания как метод диагностики технических систем // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2005. №3. – С. 56-61.
39. Диагностирование и прогнозирование технического состояния авиационного оборудования: Учеб. Пособие для вузов гражд. Авиации / В.Г. Воробьев, В.В. Глухов и др.; Под ред. И.М. Синдеева. М.: Транспорт, 1984. - 191 с.

40. Дилигенский Н.В., Дымова Л.Г., Севастьянов П.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология М.: «Издательство Машиностроение – 1». 2004. - 397 с.
41. Димов Э.М., Диязитдинова А.Р., Качков Д.А. Проектирование информационных систем: Учебное пособие. – Самара: ПГАТИ, 2003. – 78 с.
42. Дюбуа Д. Теория возможностей. Приложение к представлению знаний в информатике. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
43. Евланов Л.Г. Контроль динамических систем. М.: Наука, ГРФМЛ, 1979. - 432 с.
44. Еремеев А.П., Варшавский П.Р., Куриленко И.Е. Моделирование временных зависимостей в интеллектуальных системах поддержки принятия решений на основе прецедентов // Information Technologies & Knowledge. 2012. Т. 6, №3. С. 227-239.
45. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. - 165 с.
46. Иваненко В.И., Лабковский В.А. Проблема неопределенности в задачах принятия решений. Киев: Наукова думка, 1990. - 136 с.
47. Интеграция информации: проблема или решение? / Компания «ГЕТНЕТ Консалтинг» Эл. ресурс.: Режим доступа: http://www.storagenews.ru/24/IBM_Hetnet_IntegrInform_24.pdf
48. Иоффин А.И. Системы поддержки принятия решений // Мир ПК 1993, N5. - С. 47-57.
49. Искусственный интеллект.- В 3-х кн. Кн. 2. Модели и методы: Справочник / Под ред. Д.А. Поспелова - М.: Радио и связь, 1990. - 304 с.
50. Калявин В.П., Мозгалевский А.В. Технические средства диагностирования. Л.: Судостроение, 1984. - 208 с.
51. Карелин В.П. Интеллектуальные информационные технологии и системы для поддержки принятия решений // Вестник ТИУиЭ. 2011. № 2(14).
52. Карибский В.В., Пархоменко П.П., Согомонян Е.С. Техническая диагностика объектов контроля. – М.: Энергия, 1967. - 78 с.
53. . Карпов Л.Е., Юдин В.Н. Методы добычи данных при построении локальной метрики в системах вывода по прецедентам. М., ИСП РАН, препринт №18, 2006.
54. Клевцов С.И., Клевцова А.Б. Модель качественной экспресс-оценки управляемого объекта // Материалы Всероссийской НТК «Компьютерные технологии в инженерной и управленческой деятельности» с международным участием (сборник трудов). – Таганрог: ТРТУ, 2000. – с. 406-422.
55. Клевцова А.Б., Клевцов Г.С. Модели параметрической экспресс-оценки состояния технического объекта // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2008. – Т. 88, №11. – С. 15-18.

56. Клевцов С.И. Предварительная оценка состояния совокупности параметров технического объекта с использованием интеллектуального микропроцессорного модуля // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2010. – Т. 106, №5. - С. 43-47.
57. Клевцова А.Б. Параметрическая зонная оценка состояния технического объекта с использованием режимной карты // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2010. – Т. 106, №5. – С. 107-111.
58. Ковалев В.В. Методы оценки инвестиционных проектов. - М.: Финансы и статистика, 1998. – 144 с.
59. Корогодина В.И., Корогодина В.Л. Информация как основа жизни. – Дубна: Издательский центр "Феникс", 2000. - С. 38.
60. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1982. - 432 с.
61. Кузнецов П.И., Пчелинцев Л.А., Гайденов В.С. Контроль и поиск неисправностей в сложных системах. – М.: Сов. радио, 1969. – 240 с.
62. Кукушкина С.Н. Метод Дельфи // Форсайт. 2007. №1(1). - С. 68 – 72.
63. Лазарсон Э.В. Формализация знаний и интеллектуальная поддержка принятия решений в задачах выбора // Интеллектуальные системы в производстве,- Ижевск: Издательство ИжГТУ, 2006. №2(8). - С.4.
64. Ларин В.П. Проблемы обеспечения надежности аппаратуры гиперзвуковых летательных аппаратов // Науч. сессия ГУАП: сб. докл. – Ч. I: Технические науки. – СПб.: СПб ГУАП, 2010. - С. 28–30.
65. Ларин В.П., Шелест Д.К. Формирование информационного обеспечения надежности бортовой аппаратуры на стадии проектирования // Информационно-управляющие системы. - 2012. - № 4(59). - С. 93-97.
66. Лихтциндер Б.Я. Внутрисхемное диагностирование узлов радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Техника, 1988. – 168 с.
67. Люгер Д.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем, Пер. с англ. 4-е изд. — М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. - 864 с.
68. Малышко С.А. Технология принятия решений на основе СППР "Альтернатива" // Управляющие системы и машины. 1996, №3. - С. 81 - 87.
69. Матюшин М. М., Саркисян Х.В. Построение оценочной функции для поддержки принятия оперативных решений при контроле параметров состояния космического аппарата // Электронное научно-техническое издание "Наука и образование". – Эл. № ФС 77, 2011. - С. 1-15.
70. Мартыненко О.Н., Сердаков А. С. Некоторые возможности оптимизации глубины контроля в радиоэлектронной аппаратуре / Автоматика и телемеханика. -1981. №8. - С. 17 -19.

71. Медведев А.М. Сборка и монтаж электронных устройств. – М.: Техносфера, 2007. – 256 с.
72. Милов В.Г., Баранов И.В., Шалашов И.В., Левичев Е.М. Применение байесовских сетей для поддержки принятия решений и управления техническим состоянием сложных систем // Системы обработки информации и управления: труды НГТУ / НГТУ. – 2007. – Т. 65. Вып. 14. – С. 13.
73. Мозгалевский А.В., Гаскаров Д.В. Техническая диагностика. – М.: Высшая школа, 1975. – 206 с.
74. Мозгалевский А.В., Калявин В.П. Системы диагностирования судового оборудования. -Л.: Судостроение, 1982. - 139 с.
75. Мозгалевский А.В., Калявин В.П., Костанди Г.Г. Диагностирование электронных систем. Д.: Судостроение, 1984. - 224 с.
76. Мозгалевский А.В., Койда А.Н., Вопросы проектирования систем диагностирования. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1985. - 112 с.
77. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т. / Ред.совет: В. Авдуевский (пред.) и др. / Т. 1: Методология. Организация. Терминология / Под ред. А.И. Рембеза. М.: Машиностроение, 1986. - 220 с.
78. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т. / Ред.совет: В. Авдуевский (пред.) и др. / Т. 3: Эффективность технических систем / Под ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. М.: Машиностроение, 1988. - 327 с.
79. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т. / Ред.совет: В. Авдуевский (пред.) и др. / Т. 9: Техническая диагностика / Под ред. В.В. Ключева, П.П. Пархоменко. М.: Машиностроение, 1987. - 350 с.
80. Назаров Н. Г., Архангельская Е. А. Современные методы и алгоритмы обработки измерений и контроля качества продукции. М.: ИПК «Изд-во стандартов», 2000. - 164 с.
81. Недосекин А.О. Нечетко-множественный анализ риска фондовых инвестиций. СПб.: Типография «Сезам», 2002. – 181 с.
82. Нечаев Ю.И., Дегтярев А.Б., Сиек Ю.Л. Принятие решений в интеллектуальных системах реального времени с использованием концепции мягких вычислений //Искусственный интеллект. 2000. № 3. - С. 525-533.
83. Николайчук О.А. Юрин А.Ю. Прототип интеллектуальной системы для исследования технического состояния механических систем // Искусственный интеллект. - Донецк: Наука І освіта, 2006. №4, - с. 459-468.
84. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Наука, 1981. - 208 с.

85. Осипов Г.С. Приобретение знаний интеллектуальными системами: Основы теории и технологии. — М.: Наука. Физматлит, 1997. - 112 с.
86. Основы технической диагностики. В 2 т. Т. 1. Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза / под ред. П.П. Пархоменко. М.: Энергия, 1967. - 464 с.
87. Основы технической диагностики. В 2 т. Т. 2. Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства / под ред. П.П. Пархоменко. М.: Энергия, 1981. - 320 с.
88. Патент на изобретение №2557771 от 29.06.15 г. Способ технического контроля и диагностирования бортовых систем беспилотного летательного аппарата с поддержкой принятия решений и комплекс контрольно-проверочной аппаратуры с интеллектуальной системой поддержки принятия решений для его осуществления / М.З. Левин, В.А. Смирнов, М.В. Уланов, А.Г. Давидчук, Д.И. Буравлев, С.Н. Зимин (РФ).
89. Портнягин Н.Н., Пюкке Г.А. Теория и методы диагностики судовых электрических средств автоматизации / КамчатГТУ. – Петропавловск-Камчатский, 2003. - 112 с.
90. Поспелов Г.С., Поспелов Д.А. Искусственный интеллект и прикладные системы. М.: Знание, 1985. - 43 с.
91. Поспелов Г.С. Искусственный интеллект основа новой информационной технологии. - М.: Наука, 1988.- 279 с.
92. Поспелов Д.А. Моделирование рассуждений. М.: Радио и связь, 1989. – 186 с.
93. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И. Д. Рудинского.- М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
94. Смирнов В.А. Анализ процесса контроля, наладки и диагностирования сложной радиоэлектронной аппаратуры / В.А. Смирнов, Д.В. Смирнов // Высокие технологии, экономика, промышленность. Т. 2, Часть 2: Сборник статей 13-й международной научно-практической конференции "Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике". СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. - С. 143-147.
95. Смирнов В.А. Конструкторско-технологические меры обеспечения электромагнитной совместимости при проектировании радиоэлектронной аппаратуры / В.А. Смирнов, Д.В. Смирнов // Высокие технологии, экономика, промышленность. Т. 2, Часть 2: Сборник статей 13-й международной научно-практической конференции "Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике". СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. - С. 130-137.

96. Смирнов В.А. Методика построения комбинированных схем для локализации неисправностей при диагностировании сложных технических систем // Завалишинские чтения: сб. докл. / СПбГУАП. СПб, 2012. - С. 198-200.
97. Смирнов В.А. Поиск неисправностей в бортовых системах управления в процессе приемочного контроля // Информационно-управляющие системы. 2013. №2. - С.24-28.
98. Смирнов В.А. Информационные проблемы в принятии решений при контроле и диагностировании сложных технических систем // Материалы XIV Международного форума «Формирование современного информационного общества. Проблемы, перспективы, инновационные подходы», СПб: ГУАП, 2013. Т.2, - С. 145-147.
99. Смирнов В.А. Диагностирование бортовой системы управления на основе байесовских сетей доверия // Труды LXVIII научно-технической конференции СПбНТОРЭС, посвященной Дню радио, СПб, 2013. - С. 51-52.
100. Смирнов В.А. Качественная оценка контролируемых параметров на основе теории нечетких множеств // Труды LXVIII научно-технической конференции СПбНТОРЭС, посвященной Дню радио, СПб, 2013. - С. 52-54.
101. Смирнов В.А. Модель контролируемого параметра в бортовых системах управления // Сб. докл. научн. сессии ГУАП. СПбГУАП. СПб, 2013. Часть 2, - С. 74-77.
102. Смирнов В.А. Современный подход к совершенствованию технологических систем контроля и диагностирования сложных технических объектов // Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции «Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения». СПб: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2013. Часть II. - С. 216-220.
103. Смирнов В.А. Методика формирования моделей прецедента и библиотеки прецедентов для принятия решений в системе приемочного контроля сложных технических объектов / В.П. Ларин, В.А. Смирнов // Известия ГУАП. Аэрокосмическое приборостроение: научный журнал. Выпуск 4. СПб: ГУАП, 2013. - С. 34-40.
104. Смирнов В.А. Совершенствование аппаратуры контроля и диагностирования бортовых систем управления // Арсенал. Военно-промышленное обозрение. 2013. №6. - С. 46-47.
105. Смирнов В.А. Прецедентный подход к построению моделей процесса поиска неисправностей при диагностировании сложных технических систем // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. №6. - С. 73-78.
106. Смирнов В.А. Интеллектуализация технологии приемочного контроля сложных технических объектов / В.П. Ларин, В.А. Смирнов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2014. №1. - С.191-196.

107. Смирнов В.А. Комбинированный метод диагностирования бортовых систем управления в технологии приемочного контроля / Ю.Ф. Подоплекин, В.А. Смирнов // Морской вестник. 2014. №1. - С. 79-82.
108. Смирнов В.А. Информационная поддержка процессов контроля сложной высоконадежной аппаратуры / В.П. Ларин, В.А. Смирнов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. Часть 1. 2014. №01. - С. 49-51.
109. Смирнов В.А. Технология прогнозирующего контроля бортовых систем управления / Ю.Ф. Подоплекин, В.А. Смирнов // Морской вестник. 2014. №3. - С. 49-52.
110. Смирнов В.А. Информационная поддержка принятия решений в процессах контроля сложных технических объектов / Ларин В.П., Смирнов В.А., Шелест Д.К. // Приоритетные направления развития науки и технологий: докл. XIV Всерос. научн.-техн. конф. / Под общ. ред. В.М. Панарина. Тула: Изд-во «Инновационные технологии». 2014. - С. 68-71.
111. Смирнов В.А. Применение технологии предупреждения потенциальных отказов в приемочном контроле сложных технических объектов / В.А. Смирнов, И.А. Пономарев // Высокие технологии, фундаментальные исследования, инновации: сборник статей 17-й международной научно-практической конференции "Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике". СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. - С. 69-71.
112. Смирнов В.А. Применение мягких вычислений для оценки работоспособности сложных технических систем / В.А. Смирнов, И.А. Пономарев // Высокие технологии, фундаментальные исследования, инновации: сборник статей 17-й международной научно-практической конференции "Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике". СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. - С. 65-67.
113. Смирнов В.А. Метод оценки эффективности информационной системы приемочного контроля / В.А. Смирнов, И.А. Пономарев // Высокие технологии, фундаментальные исследования, инновации: сборник статей 17-й международной научно-практической конференции "Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике". СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. - С. 67-69.
114. Смирнов В.А. Некоторые аспекты оценки эффективности интеллектуальной системы поддержки процессов контроля сложных объектов // Сб. докл. научной сессии ГУАП. СПб: ГУАП, 2014. Часть 2. - С. 119-126.
115. Смирнов В.А. Методика двухуровневой идентификации технического состояния сложной приборной аппаратуры с ограниченным ресурсом // Теоретические и прикладные

- аспекты современной науки: сборник научных трудов по материалам IV Международной научно-практической конференции: в 3 ч. Белгород: 2014. №4-1. - С. 166-174.
116. Смирнов В.А. Оценка эффективности приемочного контроля высоконадежных изделий / В.П. Ларин, В.А. Смирнов // Сборник трудов V Международной научно-практической конференции «Современные концепции научных исследований». М: 2014. № 5. - С. 68-74.
117. Смирнов В.А. Приемочный контроль бортовых систем управления с использованием средств интеллектуального анализа данных // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8. №11. - С. 99-103.
118. Smirnov V.A. Effectiveness of technological systems of high reliability products output control with limited resource / V.P. Larin, V.A. Smirnov // Materials of the I International scientific and practical conference, "Science and Education", 5-6 September 2014 on Technical sciences. Volume 19. Sheffield. Science and education LTD. V. 42-51. ISBN 978-0-9930712-0-1.
119. Смирнов В.А. Применение интеллектуальных моделей диагностирования при приемочном контроле сложных технических объектов / Ларин В.П., Смирнов В.А., Шелест Д.К. // Датчики и системы. 2015. №2. - С. 5-10.
120. Смирнов В.А. Аспекты организации взаимодействия пользователей единого информационного пространства предприятия-изготовителя бортовых систем управления // Труды LXX научно-технической конференции СПбНТОРЭС, посвященной Дню радио, СПб, 2015. В печати.
121. Смирнов В.А. Структура и принципы функционирования технологической системы приемочного контроля сложной приборной аппаратуры с ограниченным ресурсом // Труды LXX научно-технической конференции СПбНТОРЭС, посвященной Дню радио, СПб, 2015. В печати.
122. Смирнов В.А. Управление информационным сопровождением процессов контроля PDM-системой / В.П. Ларин, В.А. Смирнов // Информационно-управляющие системы. В печати.
123. Согомонян Е.С. Контроль работоспособности и поиск неисправностей в функционально связанных системах // Автоматика и телемеханика, МО.: 1964. – Т.25, №6, - С. 980-990.
124. Терехов С.А. Введение в байесовы сети: лекции по нейроинформатике / МИФИ. – М., 2003. Ч. 1. – 188 с.
125. Тулупьев А.Л., Николенко С.И., Сироткин А.В. Байесовские сети: логико-вероятностный подход. – СПб.: Наука, 2006. – 607 с.
126. Фефелов А.А. Использование байесовских сетей для решения задачи поиска места и типа отказа сложной технической системы // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. 2007. № 2(20). - С. 87-93.

127. Финн В.К. Об интеллектуальном анализе данных // Новости Искусственного Интеллекта. 2004. - №3. - С. 3—18.
128. Шалашов И.В. Повышение эффективности технической диагностики на основе байесовских процедур поддержки принятия решений // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2011. №2. – С. 24-28.
129. Шевцова Ю.В. Байесовы технологии: их реализация в программной среде Hugin и применение в операционном риск-менеджменте: Учеб. пособие / СибГУТИ. Новосибирск, 2010. - 77 с.
130. Шехтер Д.Б. Байесовские методы в задаче оценки релевантности при поиске работы в internet / Д.Б. Шехтер, А.В. Чадюк, А.Л. Червинский-Ивашура // Проблемы программирования. – 2006. №2-3. – С. 519-525.
131. Heckerman D.E., Horvitz E.J. and Nathwani B.N. Toward normative expert systems: Part I The PathFinder Project // Methods of information in medicine. – 1992. – Vol. 31, №2. – P. 90-105.
132. Heckerman D., Geiger D. and Chickering D. Learning Bayesian networks: the combination of knowledge and statistical data / Technical report MSR-TR-94-09, Microsoft Research, March 1994. – 53 p.
133. Horvitz E., Ruokangas C. and Srinivas S. A decision-theoretic approach to the display of information for time-critical decisions: the Vista Project / In Proceedings of annual workshop on Space Operations, Applications and Research (SOAR'92), NASA/Johnson Space Center, Houston, Texas, US, 4-6 August, 1992. – NY.: Elsevier science, 1992. – P. 407-417.
134. Pearl J. Probabilistic reasoning in intelligent systems: networks of plausible inference. – SF.: Morgan Kaufmann, September 1988. – 552 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Дестабилизирующие факторы на этапах изготовления изделия

Таблица А.1 - Дестабилизирующие факторы на этапах изготовления изделия

Группа факторов	Разновидности факторов	Результаты воздействия
Ошибки при входном контроле	<p>- ошибки при идентификации по документации: несоответствие или отсутствие технических описаний продукции; накладных, паспортов, формуляров, этикеток, ярлыков, спецификаций, сертификатов изготовителей;</p> <p>- ошибки при идентификации визуально-инструментальным методом: несоответствие внешнего вида, маркировки, габаритных, установочных и присоединительных размеров, массы, значений электрических параметров, установленных в нормативной документации.</p>	<p>Не обнаружены:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. некачественные материалы, сырье, полуфабрикаты, заготовки, комплектующие изделия и сборочные единицы; 2. трещины корпуса, сколы, царапины, повреждения надписей; 3. наличие остатков лака на контактах разъемов цифровых плат; 4. обрывы проводников, короткие замыкания, отсутствие или смещение компонента, некачественная пайка; 5. попадание внутрь влаги, пыли, посторонних предметов; 6. механические повреждения, ржавчина на металле, коробление гетинакса, окисление контактов и т.п.
Ошибки при хранении и комплектации	<p>- факторы на этапе хранения: влажность, статическое электричество, механические воздействия, свет, температура, пыль;</p> <p>- на этапе комплектования основные ошибки сводятся к следующим:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. несоответствие марки, типа, номинала, размеров, веса, маркировки выдаваемых материалов и комплектующих конструкторской и технологической документации; <p>- выдача материалов и комплектующих, у которых срок службы истек или не соответствует конструкторской и технологической документации;</p> <p>- несоблюдение требований по антистатической защите, по защите от влаги, пыли, загрязнений;</p> <p>- неправильно подобрана тара, лотки, упаковка для межцеховой транспортировки и хранения на производственных участках;</p> <p>- механические повреждения в виде царапин, сколов, вмятин.</p>	<p>- выход из строя комплектующих элементов (микросхем полупроводниковых приборов и т.п.);</p> <p>- появление изначально незаметных дефектов, приводящих к сокращению срока их эксплуатации, снижению надежности и деградации механических, электрических, магнитных и других параметров;</p> <p>- ускорение коррозии материалов, изменение электрических характеристик диэлектриков;</p> <p>- начало процесса теплового распада материалов, гидролиза, роста плесени, разрушения изоляции проводов и кабелей и т.д.;</p> <p>- появление пустот, микротрещин, вздутий, конденсата, расслоения;</p> <p>- разрушение изоляции проводов и кабелей и т.д.</p>

Продолжение таблицы А.1 - Дестабилизирующие факторы на этапах изготовления изделия

Группа факторов	Разновидности факторов	Результаты воздействия
<p>Ошибки при монтаже</p>	<ul style="list-style-type: none"> - некорректные режимы оплавления (не обеспечено надежное затекание припоя между соединяемыми плоскостями проводников); - неправильно определены ряды контактов, место и направление отсчета контактов соединителей, переключателей, реле и т.д.; - не выполнены требования по антистатической защите монтируемых компонентов; - не учтены доработки и изменения из журнала замечаний; - некачественное нанесение паяльной пасты - недостаток или избыток паяльной пасты, расползание пасты; - некачественная металлизация переходных отверстий печатной платы; - случайный сдвиг спаиваемых элементов во время охлаждения пайки; - чрезмерные усилия при формовке выводов элементов или при их креплении, избыточное давление при установке компонента; - не обеспечена активация и смачиваемость поверхностей припоем из-за перегрева, сильного загрязнения спаиваемых поверхностей или недостаточной активности флюса; - некачественная обвязка жгутов и изоляция соединений, неравномерность наложения слоев изоляции друг на друга; - с лепестков монтажных колодок, заземлителей, со штырей и гнезд соединителей тщательно не удалены окислы, органические загрязнения, ржавчина, лакокрасочные покрытия; - некачественная подвязка, крепление круглых соединителей типа MiniDIN, DIN и соединителей под плоские кабели типа IDC, которые не имеют фиксирующих элементов; 	<ul style="list-style-type: none"> - пробой статическим зарядом микросхем, транзисторов, диодов и т.п.; - тепловой удар на корпусе микросхемы и печатной плате; - теплэлектрический пробой электронного компонента; - образование мостиков припоя в зазорах между контактными площадками; - не обеспечена гарантированная изоляция соединений; - не обеспечена надежность контакта круглых соединителей типа MiniDIN, DIN и соединителей под плоские кабели типа IDC, которые не имеют фиксирующих элементов; - "холодные" пайки с неустойчивым контактом; - перепутаны контакты при распайке соединителей и электронных компонентов; - наличие "лишних" связей, перемычек; - короткие замыкания между выводами компонента или соединителя, замыкание проводов между собой и шасси, замыкания и трещины дорожек на печатных платах; - обрывы цепи, отсутствие паяных соединений; - установка элементов другого типа, с другим номинальным значением; - наличие царапин, сколов, трещин корпуса, повреждений надписей; - неправильная установка элементов (не учтена полярность диодов, электролитических конденсаторов, неправильная распайка выводов микросхем из-за неправильного их формирования и т.д.); - изменение параметров электронных компонентов;

Продолжение таблицы А.1 - Дестабилизирующие факторы на этапах изготовления изделия

Группа факторов	Разновидности факторов	Результаты воздействия
	<ul style="list-style-type: none"> - некачественный монтаж соединителя для плоского кабель (плохое прокалывание изоляции провода, смещение проводов); - плохо обжат контактный наконечник на конце провода; - повреждение проводника, его оплетки; - соединительные провода образуют слишком большие петли или находятся в натянутом состоянии; - не правильно собран разъем; - не правильная укладка, обвязка жгутов, кабелей (жгуты, кабели пережаты стяжками, скобами); - чрезмерный нагрев платы, приводящий к отслаиванию галтели припоя от платы; - некачественная пайка (недопустимое количество пустот в паяном соединении, раковины в припое, отклонения от круглой формы более 25%, наличие пор, трещин, вздутий, наплывов и остатков флюса с блестящей поверхностью); - неправильно выполнен междузловой электрический монтаж, соединения жгутов с разъемами прибора; - отсутствие или смещение компонента, приподнятые выводы компонентов; - перепутана марка, сечение, длина, маркировка монтажных проводов и кабелей; имеются надрезы, изломы жил и проводов в местах паяк, загрязнения, недопустимое качество заделки и повреждение изоляции. Изоляция провода не подходит вплотную к контакту, имеет ожоги; - неправильная раскладка проводов в жгутах (схема раскладки, длина ответвлений и качество вязки жгута, крепление проводов, жгутов, кабелей). 	<ul style="list-style-type: none"> - ошибки в маркировке соединителей, электронных компонентов, печатных плат, электронных узлов; повреждение маркировки компонентов, наклеек; - высокое сопротивление контактов; - значительное увеличение (уменьшение) сопротивления цепи; - местный повышенный нагрев или перегрев элементов; - наводки в цепях питания, заземления и сигнальных цепях, вследствие наличия паразитных емкостных, индуктивных связей, а также связей через общее сопротивление.

Продолжение таблицы А.1 - Дестабилизирующие факторы на этапах изготовления изделия

Группа факторов	Разновидности факторов	Результаты воздействия
<p>Ошибки при отмывке, сушке, влагозащитном покрытии узлов</p>	<ul style="list-style-type: none"> - недостаточное время отмывки; - низкая концентрация моющего раствора; - высокая степень загрязнения промывочной жидкости; - низкая температура отмывки; - длительное время между процессом пайки и отмывки; - не обеспечено эффективное удаление: <ol style="list-style-type: none"> 1. воды из-под корпусов компонентов, переходных отверстий; 2. остатков солей электролитов, травящих растворов, осветлителей, масла, флюсов, активаторов флюсов; 3. жировых отпечатков пальцев и загрязнений поверхностей из атмосферы (пыли, ворсинок, абразивных частиц), шариков припоя; - несоблюдение температурных и временных режимов при сушке; - плохая адгезия покрытия к печатному узлу; - наличие пустот, пузырей, вздутий, ряби, кратеров, загрязнений и посторонних включений, потемнений в покрытии; - недостаток покрытия под компонентами. 	<ul style="list-style-type: none"> - наличие замыканий между соседними контактными площадками или проводящими поверхностями печатного узла; - возникновение коррозии и электрохимической миграции; - возникновение внутренних напряжений в покрытии, отслоение, образование трещин; - размягчение и растворение пластмасс и эластомеров, покрытий спаиваемых элементов;
<p>Ошибки при сборке</p>	<ul style="list-style-type: none"> - неправильно установлены панели, рамы, стойки, соединители, печатные платы, электронные блоки; - плохо выполнены разъемные (винтами, болтами, гайками, шпильками); - плохо выполнены неразъемные соединения (склепыванием, развальцовкой, пластическим деформированием элементов соединяемых деталей, запрессовкой, склеиванием, креплением с помощью компаундов); - не установлены фиксаторы, не выполнен крепеж на краску крепежных элементов для предотвращения их отвинчивания; 	<ul style="list-style-type: none"> - механические повреждения монтажных жгутов, соединителей, контактных колодок, электронных компонентов и блоков при испытаниях; - наличие коротких замыканий проводов между собой и шасси; - наличие дефектов, связанных с электростатическим разрядом; - вследствие неправильного заземления могут быть: изредка появляющиеся сбои в работе систем автоматики, повышенная погрешность измерений, выход из строя чувствительных элементов, появление потока ошибок в каналах обмена, нестабильность

Продолжение таблицы А.1 - Дестабилизирующие факторы на этапах изготовления изделия

Группа факторов	Разновидности факторов	Результаты воздействия
Ошибки при сборке	<ul style="list-style-type: none"> - неправильно выполнено соединение разъемов; - плохо отрегулированы подвижные части узлов; - наличие дефектов в механических узлах изделия; - крепление жгутов на каркасе выполнено металлическими скобами, на которых не установлены изоляционные трубки или прокладки из лакоткани. В местах прокладки жгутов через отверстия в стенках металлических шасси или экранов отсутствуют изоляционные трубки; - не выполнены требования по защите от статического электричества; - не обеспечены надежные контакты в системе заземления; - не учтены доработки и изменения из журнала замечаний. 	<ul style="list-style-type: none"> регулируемых параметров, существенные разности потенциалов между различными заземленными элементами, проявляющиеся в виде искрения, возникновения неприятных ощущений при прикосновении к различным заземленным проводящим частям и т.п.; - наводки в цепях питания, заземления и сигнальных цепях, вследствие наличия паразитных связей.
Ошибки при настройке и регулировке	<ul style="list-style-type: none"> - не учтены доработки и изменения из журнала замечаний; - не выполнены требования по защите от статического электричества; - неправильно выполнен монтаж системы заземления; - не выявлены ошибки монтажа («холодные» пайки с неустойчивым контактом, наличие "лишних" связей); - низкая распознаваемость скрытых дефектов, вызывающих изменение начальных характеристик элементов; - ошибки в распознавании предотказного состояния изделия; - неудовлетворительный осмотр; - неправильная калибровка средств измерений; - повреждение контактных площадок при проверке электрических цепей; - несоблюдение режимов и условий работы элементов (ограничения по току, перенапряжения); - неоптимальное расходование технического ресурса изделий в процессе диагностирования. 	<ul style="list-style-type: none"> - наличие дефектов, связанных с электростатическим разрядом (тепловой вторичный пробой, расплавление металлизации, объемный пробой, пробой диэлектрика, поверхностный пробой и газовый дуговой разряд); - сбои в работе изделия; - нестабильность параметров; - скрытые повреждения полупроводниковых приборов, затрагивающие один из параметров (усиление, утечку и т.п.); - отсутствие запаса работоспособности у критических параметров; - не выявлены опасные тренды параметров во времени при одинаковых условиях параметрического контроля; - снижение значения технического ресурса изделия.

Продолжение таблицы А.1 - Дестабилизирующие факторы на этапах изготовления изделия

Группа факторов	Разновидности факторов	Результаты воздействия
Ошибки при испытаниях	- нарушены условия испытаний (неверно выбраны режимы и параметры воздействий).	- взаимные перемещения деталей и узлов, деформации крепежных, несущих и других элементов конструкции; - изменения свойств и параметров конструкции, электронных блоков; - обрывы и замыкания электрических соединений, отслаивание проводников печатных плат; - повреждения электронных блоков, печатных плат, жгутов при их соударении вследствие нарушения элементов крепления.
Ошибки при приемочном контроле	- ошибки первого рода (ошибочное решение о негодности изделия); - ошибки второго рода (ошибочное решение о годности изделия).	- отказы изделия в процессе эксплуатации; - расходование технического ресурса при контроле и восстановлении изделия.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Классификация типичных отказов БАСУ по основным признакам

Классификационный признак	Вид отказа	Характеристика отказа
Характер проявления	Внезапный	Характеризуется скачкообразным изменением одного или нескольких параметров изделия. Потеря работоспособности происходит внезапно, без предшествующих признаков их приближения, т.е. перед отказом обычно не удается обнаружить количественные изменения характеристик изделия. Основная причина – скрытые дефекты производства, большая интенсивность процесса старения
	Постепенный	Возникает в результате постепенного изменения одного или нескольких параметров изделия. Постепенному отказу предшествуют различные прямые и косвенные признаки, позволяющие его прогнозировать. Основная причина - процесс естественного старения
	Самоустраняющийся (сбой)	Имеет кратковременный характер и самоустраняющийся произвольно, без принятия специальных мер для его устранения. Основная причина – обратимые случайные изменения режимов работы и параметров изделия
	Перебегающий	Неработоспособность одного и того же характера возникает и самоустраняется многократно
Сложность обнаружения и устранения дефектов	Простой	Дефект очевиден и легко устраним
	Несложный	Дефект легко обнаруживается, однако устранение ее затруднено
	Сложный	Дефект трудно обнаружить, но легко устранить. Например, «холодные» пайки нарушают целостность цепи при изменении температуры
	Очень сложный	Дефект трудно обнаружить и устранить. Например, межкабельные наводки - нежелательные электромагнитные сигналы от проложенных в жгутах смежных кабелей
Взаимосвязь отказов	Зависимый	Отказ элемента изделия обусловлен повреждениями или отказами других элементов изделия
	Независимый	Отказ элемента изделия не обусловлен повреждениями или отказами других элементов изделия
Наличие внешних проявлений отказа	Явный	Обнаруживается визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования
	Скрытый	Не обнаруживается визуально и выявляется специальными методами диагностирования
Причина возникновения	Отказ комплектующих изделий	Отказ электронных компонентов при их работе в режимах, предусмотренных в технических условиях
	Схемный	Возникает из-за ошибок разработчиков схемной документации (ошибки в схемных решениях, неправильный выбор режимов работы электронных компонентов и т.д.)
	Конструкционный	Возникает в результате нарушения установленных правил и (или) норм конструирования (неправильный выбор материалов, допусков, теплового режима, неправильное размещение и сопряжение узлов и деталей, ошибки в конструкторской документации и т.д.)
	Производственный	Возникает в результате несовершенства или нарушения установленного процесса изготовления, доработки или ремонта изделия
	Эксплуатационный	Возникает в результате нарушения установленных правил и (или) условий эксплуатации изделия (нарушение климатических условий, несоблюдение требований по защите от электростатического электричества и т.д.)
Степень влияния на качество функционирования изделия	Критический	Его наличие исключает возможность использования изделия по назначению
	Значительный	Его наличие существенно влияет на качество функционирования изделия
	Малозначительный	Его наличие существенно влияет на качество функционирования изделия

Рисунок Б.1 - Классификация типичных отказов БАСУ по основным признакам

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Объекты, методы и средства проведения приемочного контроля БАСУ

Таблица В.1 - Объекты, методы и средства проведения приемочного контроля БАСУ

Содержание контроля	Методы и средства контроля
1. Перечень и формы представления сопроводительных документов, предъявленных представителем ОКК на приемку изделия	Производится сличение с перечнем документов и формами их представления, установленными настоящими ТУ и СТО. Перечень включает следующие документы: 1. извещение о предъявлении изделия на приемку; 2. договор (контракт) на поставку; 2. формуляр на изделие; 3. протокол предъявительских испытаний изделия; 4. форма, содержащая таблицу учета наработки изделия при изготовлении; 5. протокол технологического прогона изделия; 6. документы, подтверждающие приемку составных частей изделия; 7. протоколы исследования отказов изделия, выявленных на этапах регулировки, технологического прогона и предъявительских испытаний.
2. Обеспечение информационной безопасности	Проверяется выполнение установленных мероприятий в соответствии с требованиями "Руководства по противодействию иностранным техническим разведкам и защите информации от утечки по техническим каналам" и "Инструкции по противодействию иностранным техническим разведкам" для данного типа изделия: 1. по защите от несанкционированного доступа к документации и аппаратуре; 2. к экранировке помещения и т.д.
3. Производственное помещение, рабочие места, обеспечение безопасности труда, охраны окружающей среды и соблюдение санитарно-гигиенических норм и правил	Проверяется выполнение мероприятий в соответствии с требованиями ТУ, ГОСТ 12.1.019-2009, ГОСТ 12.3.019-80, ГОСТ 12.1.006-84, ГОСТ 12.1.005-88, ГОСТ 13109-97, ГОСТ РВ 20.39.309-98, инструкции ЛЛО.045.054. внешним осмотром и с использованием средств измерений температуры и относительной влажности воздуха, атмосферного давления, аппаратуры контроля содержащейся в воздухе пыли и т.д. Все проверки изделия должны проводиться в нормальных климатических условиях.

Продолжение таблицы В.1 - Объекты, методы и средства проведения приемочного контроля БАСУ

Содержание контроля	Методы и средства контроля
4. Метрологическое обеспечение	<p>Проверяется выполнение мероприятий в соответствии с требованиями ТУ, ГОСТ РВ 8.570-98 и ГОСТ Р 8.568-97:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. соответствие перечня оборудования, применяемого при контроле, перечню, приведенному в приложении ТУ; 2. наличие и целостность пломб ОКК и ПЗ предприятий-изготовителей или метрологической службы предприятия-поставщика на средствах испытания, измерения и контроля, формуляров, отметок о поверке с указанием срока очередной поверки; 3. правильность применения средств испытаний, контроля и измерений; 4. правильность применения стандартизованных методик выполнения измерений или вновь разработанных методик выполнения измерений в процессе контроля.
5. Параметры охлаждающего воздуха, подаваемого в изделие	<p>Выполняется с помощью аппаратуры и средств контроля системы охлаждения. Проверяются следующие параметры:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) давление воздуха на входе; 2) температура воздуха и температура точки росы; 3) содержание механических примесей, отсутствие масел, паров и капель жидкостей, вызывающих коррозию.
6. Составные части изделия	<p>Выполняется внешний осмотр составных частей изделия. Проверяется сохранность пломб на составных частях, маркировка в соответствии со сборочными чертежами на них, целостность лакокрасочных покрытий, отсутствие механических повреждений и деформаций, следов коррозии.</p>
7. Обеспечение защиты изделия и средств контроля от статического электричества	<p>Проверяется выполнение мероприятий по обеспечению защиты от статического электричества в соответствии с требованиями приложения руководства по эксплуатации:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) рабочие места должны быть заземлены и защищены от воздействия статического электричества; оборудованы антистатическим браслетом или кольцами, подключаемыми к заземленной шине через сопротивление (1,0+/-0,2 Мом). Рабочие столы должны иметь покрытия антистатического материала химически нейтрального и не выделяющего веществ, образующих соединений с металлами; 2) запрещается пользоваться рабочей одеждой из синтетических материалов, создающих электростатический заряд.

Продолжение таблицы В.1 - Объекты, методы и средства проведения приемочного контроля БАСУ

Содержание контроля	Методы и средства контроля
<p>Обеспечение защиты изделия и средств контроля от статического электричества</p>	<p>Типовой комплект технологической одежды должен включать в свой состав: брюки и куртку или халат, изготовленных из льна с лавсаном или хлопка с лавсаном; шапочку или косынку, изготовленные из батиста; тапочки с верхней частью из хрома и кожаными подошвой и стелькой;</p> <p>3) вся измерительная аппаратура и стенды должны быть заземлены;</p> <p>4) транспортирование составных частей должно производиться в штатной таре с установленными защитными крышками, обеспечивающими защиту от статического электричества;</p> <p>5) запрещается прикасаться к контактам и электрорадиоэлементам одеждой, руками и инструментом. Специалисты во время работ должны иметь специальный антистатический браслет на запястье левой руки выше кистевого сустава. Браслет для снятия электростатического заряда с тела и одежды должен быть соединен с шиной заземления производственного помещения. Металлическое основание корпуса браслета должно плотно прилегать к руке;</p> <p>6) перед подключением разъемов приборов снимать статическое электричество путем легкого касания контактов разъемов токоємником, присоединенным к ближайшему контакту «корпус» и т.д.</p>
<p>8. Сборка изделия</p>	<p>Проверяется правильность сборки и подключения в соответствии со сборочным чертежом и схемой электрической соединений, надежность крепления составных частей, разъемов, кабелей и жгутов; чистота контактов разъемов. Контакты разъемов должны быть промыты спиртом с помощью кисти филеночной.</p>
<p>9. Соединение изделия со стендом</p>	<p>Проверяется правильность подключения изделия к стенду в соответствии со схемой рабочего места проверки изделия, приведенной в приложении ТУ, по согласованной ОКК и ПЗ методике. Контролируется точность ориентации изделия в плоскости горизонта и измерение положения строительной оси изделия относительно плоскости меридиана. Перед подключением проверяется чистота контактов разъемов жгутов, отсутствие механических повреждений. Контакты разъемов должны быть промыты спиртом с помощью кисти филеночной.</p>

Продолжение таблицы В.1 - Объекты, методы и средства проведения приемочного контроля БАСУ

Содержание контроля	Методы и средства контроля
10. Правильность применения составных частей, комплектность системы	Правильность применения составных частей системы проверяется по наличию пломб (клейм) представителя заказчика на изделиях и отметках в формуляре, по документам о прохождении составными частями системы входного контроля, по дате изготовления и по оставшемуся ресурсу и сроку службы. Комплектность изделия проверяется по ее соответствию таблице в ТУ, комплектность составных частей – по соответствию формулярам на составные части. Заводские номера изделия и его составных частей должны соответствовать заводским номерам, указанным в формулярах и предъявительском извещении на изделие.
11. Масса	Проверяется суммированием значений масс составных частей изделия, приведенных в соответствующих формулярах.
12. Сопротивление цепей заземления	Проверяется измерителем сопротивления по методике, приведенной в ТУ.
13. Сопротивление изоляции электрических цепей питания	Проверяется тераомметром по методике, приведенной в ТУ.
14. Потребляемый ток	Проверяется по амперметру, входящему в ККПА, при пониженном и повышенном напряжении источника питания по методике, приведенной в ТУ.
15. Работоспособность	Производится оценка соответствия характеристик и параметров изделия требованиям, установленным в ТУ.
16. Изменение напряжения питания	Контролируются показания вольтметра переходного устройства и работоспособность изделия при изменении напряжения источника питания по методике, приведенной в ТУ.
17. Показатели надежности	Проверяется качество изделия на соответствие требованиям надежности, установленным в ТУ: 1. средняя наработка на отказ изделия оценивается по результатам всех видов испытаний и эксплуатации; 2. оценка соответствия изделия требованиям безотказности производится предприятием-разработчиком расчетно-экспериментальным методом по статистическим данным предприятия-изготовителя и эксплуатирующих предприятий; 3. назначенный ресурс изделия обеспечивается применением комплектующих изделий с назначенным ресурсом, превышающим назначенный ресурс изделия;

Продолжение таблицы В.1 - Объекты, методы и средства проведения приемочного контроля БАСУ

Содержание контроля	Методы и средства контроля
Показатели надежности	<p>4. назначенный срок службы изделия обеспечивается применением составных частей с назначенным сроком службы, большим назначенного срока службы изделия;</p> <p>5. срок сохраняемости изделия обеспечивается применением составных частей со сроками сохраняемости не менее, чем заданные на изделие в требуемых условиях хранения.</p>
18. Консервация и упаковка	<p>Контролируется правильность и своевременность консервации, упаковки в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации и сборочных чертежей на упаковку и опломбирование:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. соответствие помещения требования по чистоте и климатическим условиям; 2. наличие чистых халатов, хлопчатобумажных или резиновых перчаток, заземляющего браслета на руке исполнителя; 3. отсутствие механических повреждений и вмятин на коробках; 4. обдувка внутренних поверхностей коробок и входящих деталей сжатым воздухом, нагретым до температуры 60° С и не содержащим твердых частиц, примесей масла, паров и капель жидкости, вызывающих коррозию, или протирку сухой салфеткой, на имеющей ворса; 5. заполнение влагопоглотителя, расположенного на крышке коробки, сухим силикагель-индикатором; 6. нанесение смазки на уплотнительные кольца и на поверхности без покрытия; 7. испытание коробки с прибором на герметичность; 8. наличие и правильность установки пломб; <p>наличие и правильность маркировки на коробке кода и заводского номера прибора.</p>

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Схема механизма сокращения технического ресурса БАСУ в процессе приемочного контроля



Рисунок Г.1 - Схема механизма сокращения технического ресурса БАСУ в процессе приемочного контроля

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Структура информации об изделии, процессах и ресурсах в существующем информационном обмене в рамках ЖЦ изделия

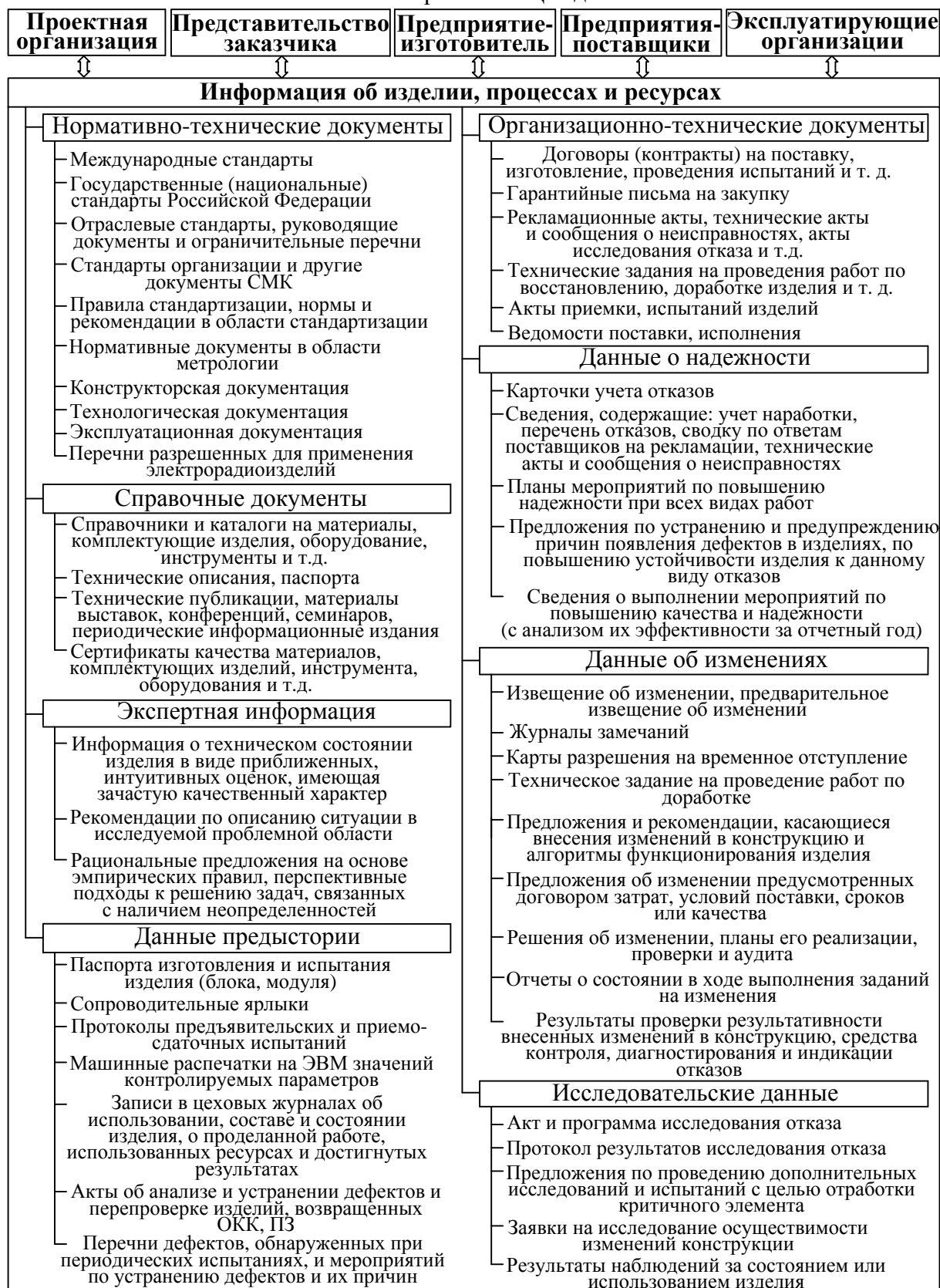


Рисунок Д.1 - Структура информации об изделии, процессах и ресурсах в существующем информационном обмене в рамках ЖЦ изделия

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Блок-схема алгоритма проведения приемочного контроля БАСУ

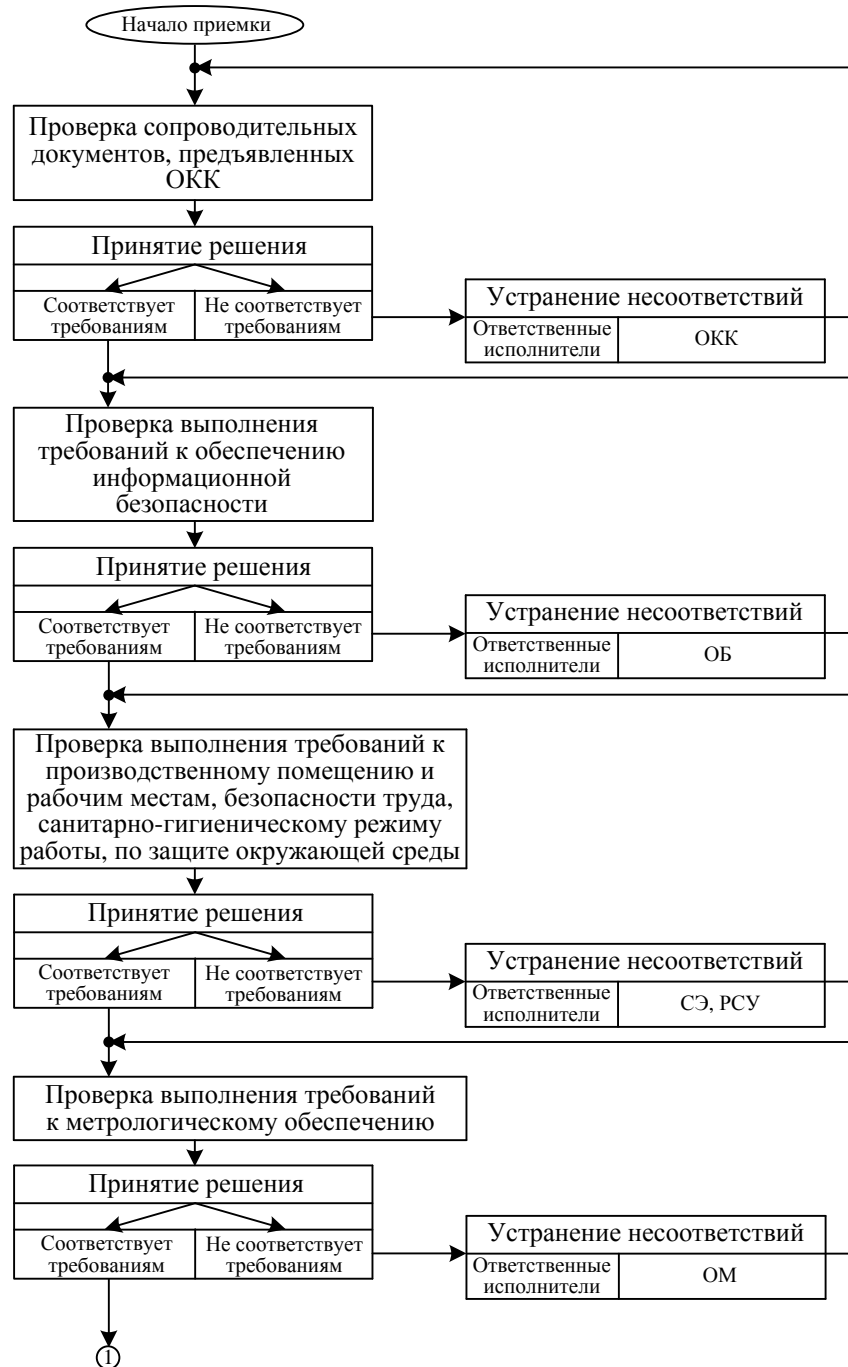
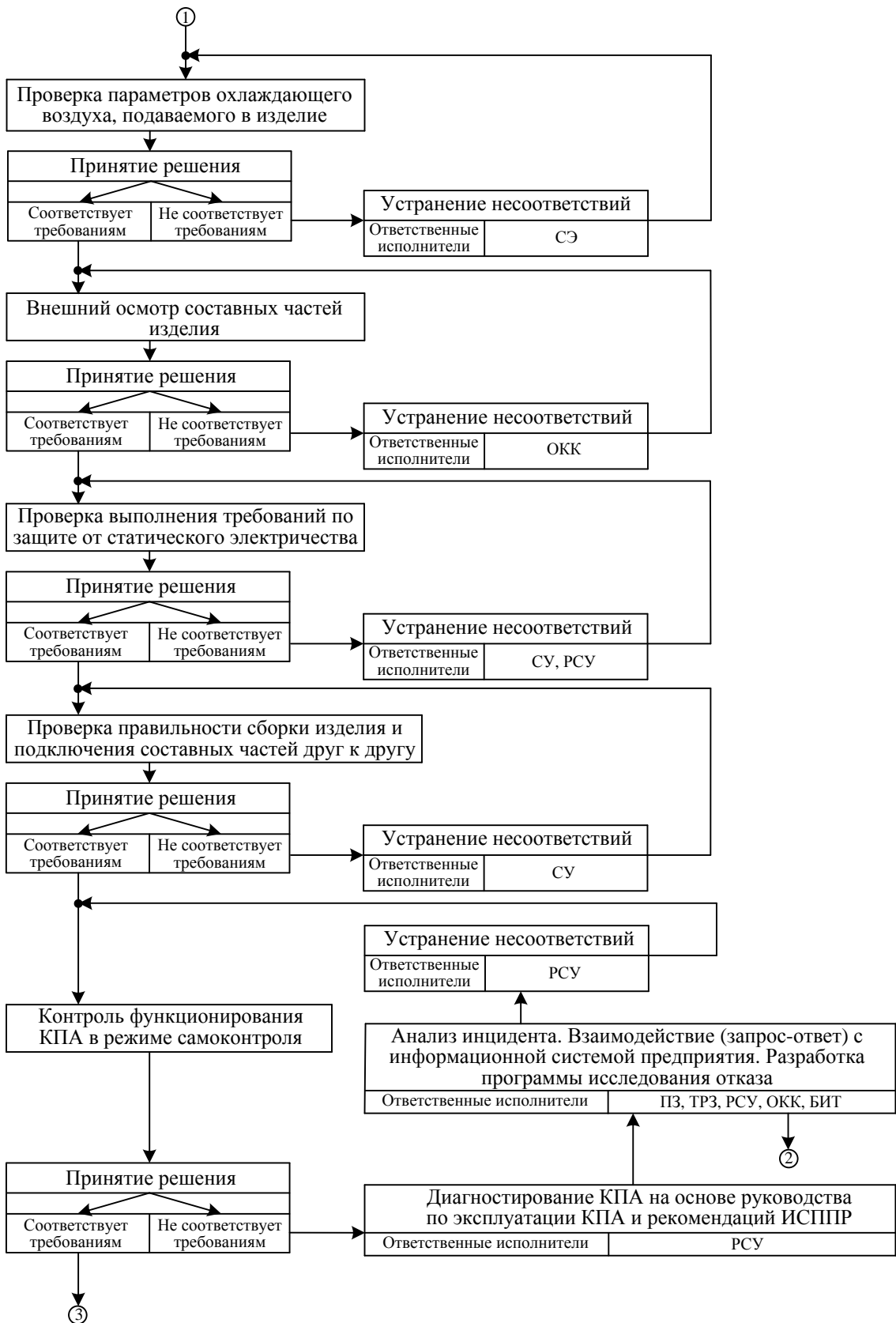
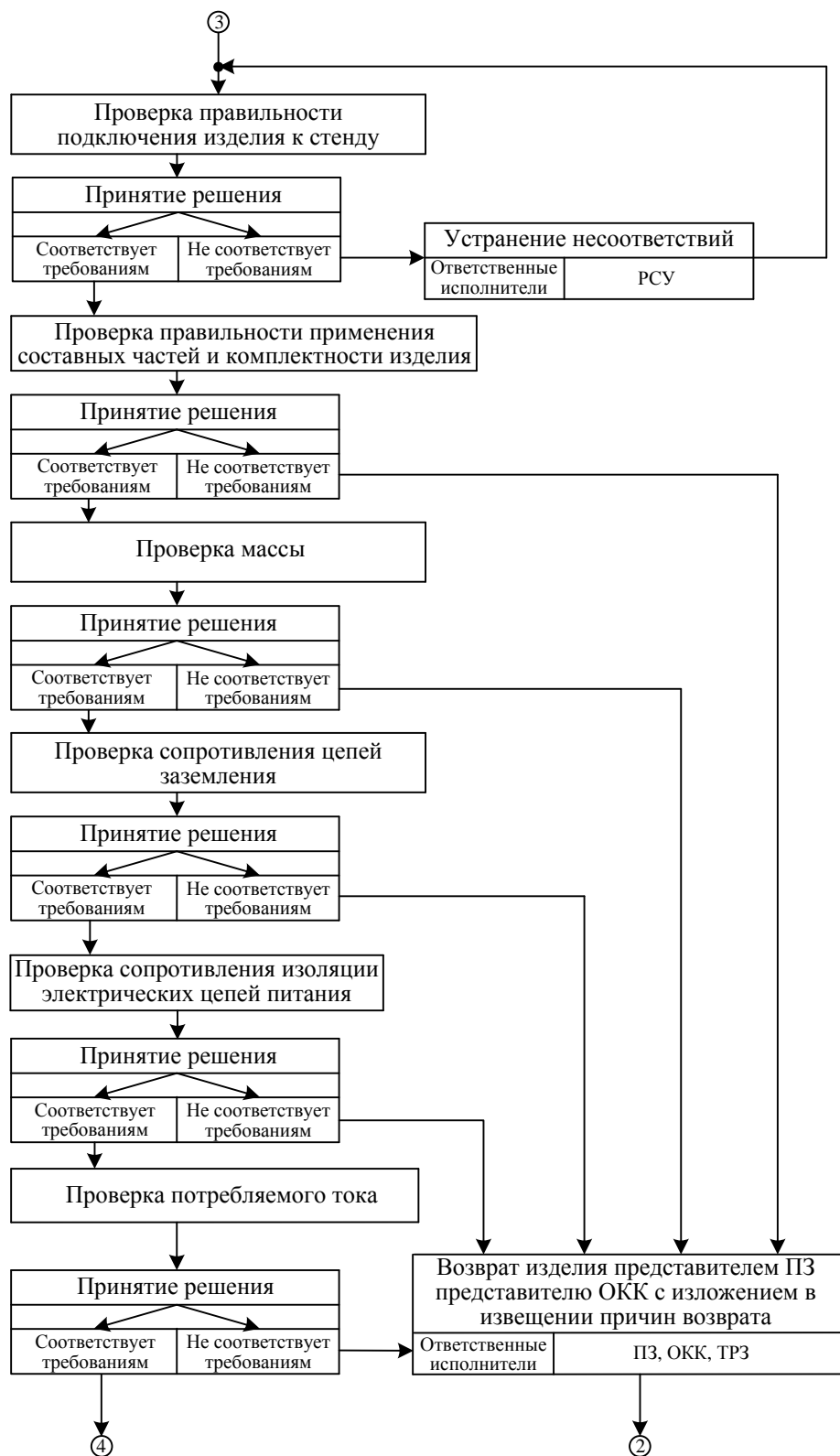


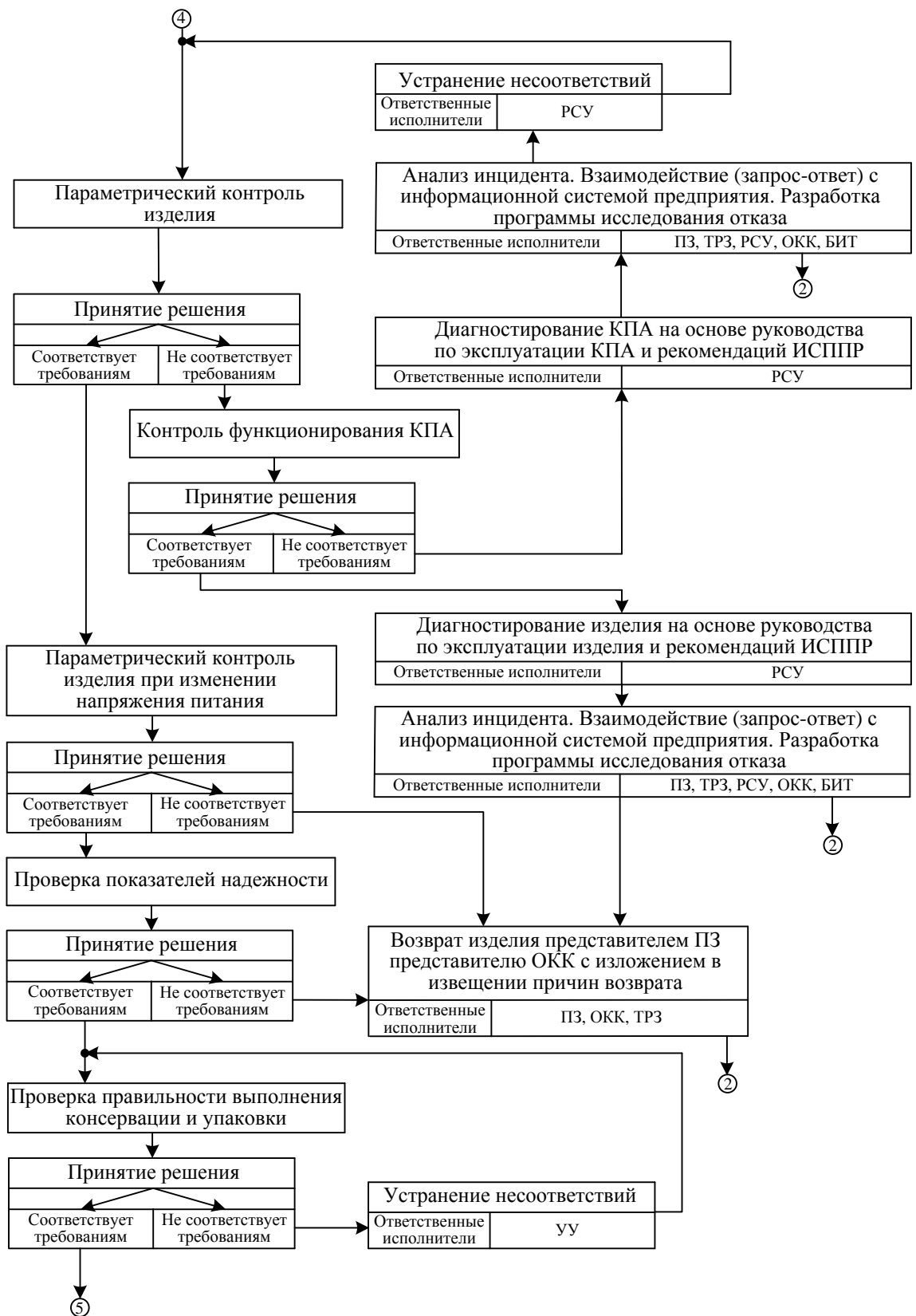
Рисунок Е.1 - Блок-схема алгоритма проведения приемочного контроля БАСУ



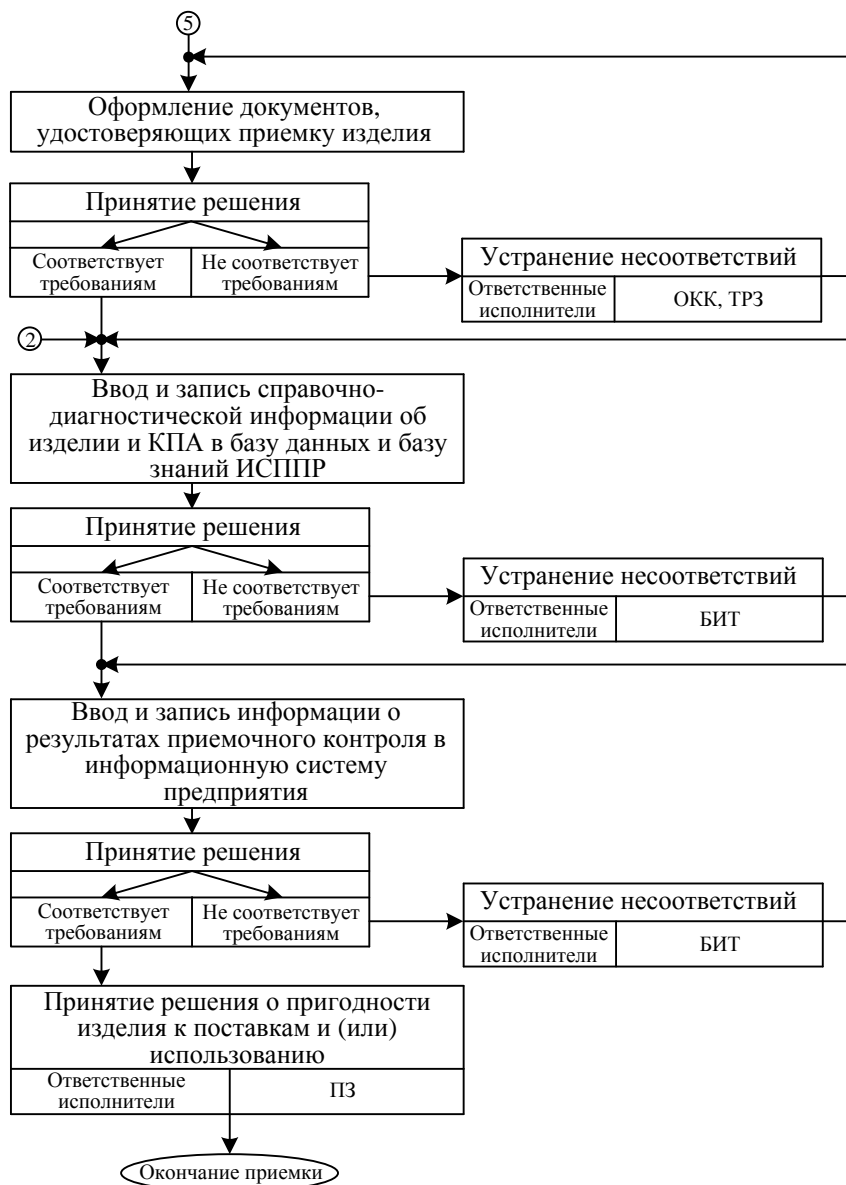
Продолжение рисунка Е.1 - Блок-схема алгоритма проведения приемочного контроля БАСУ



Продолжение рисунка Е.1 - Блок-схема алгоритма проведения приемочного контроля БАСУ



Продолжение рисунка Е.1 - Блок-схема алгоритма проведения приемочного контроля БАСУ



Окончание рисунка Е.1 - Блок-схема алгоритма проведения приемочного контроля БАСУ

Приложение Ж

Фрагменты функциональной модели разработки технологической документации приемочного контроля БАСУ в формате функционального моделирования IDEF0

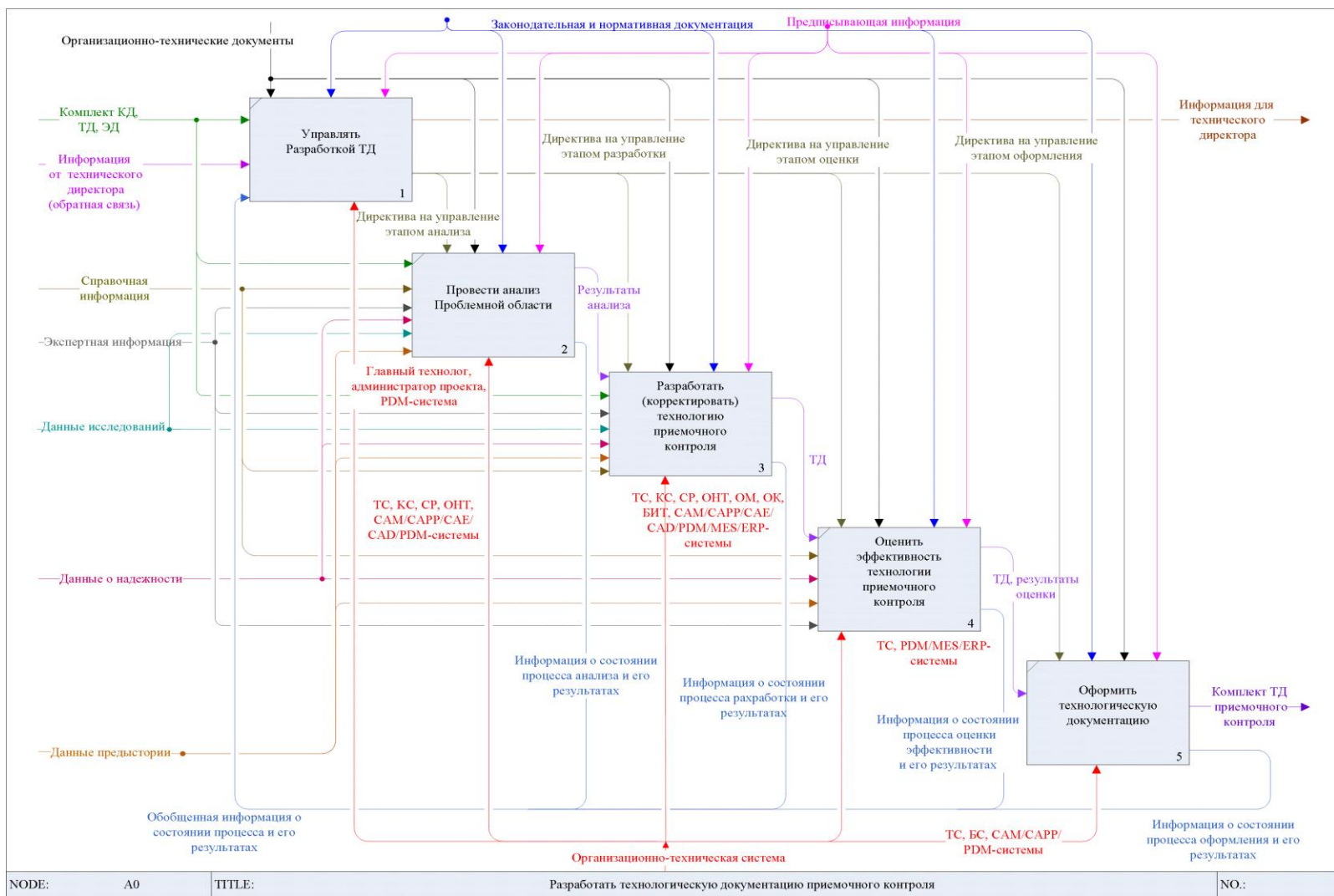


Рисунок Ж.1 – Диаграмма А0: Разработать технологическую документацию приемочного контроля

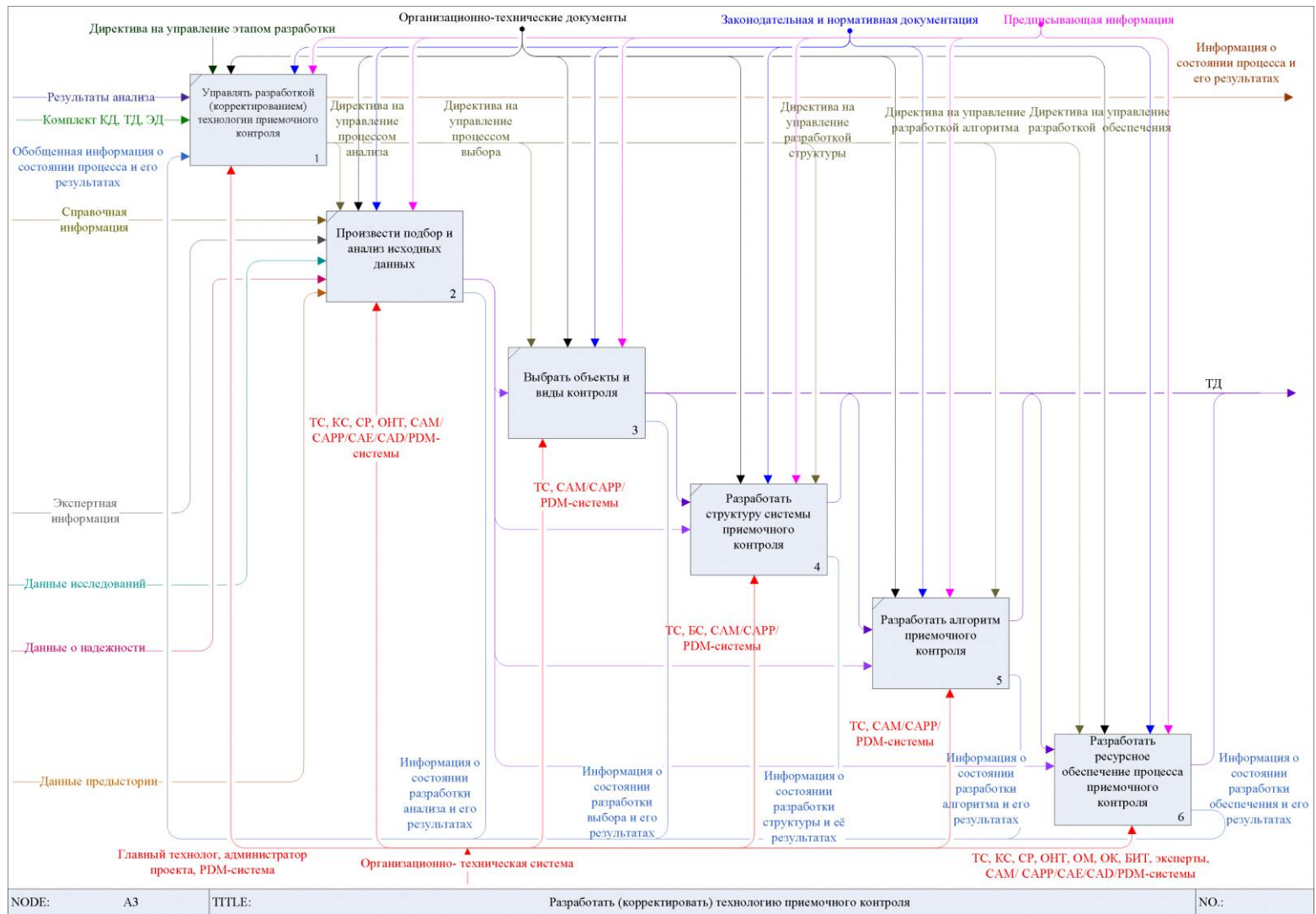


Рисунок Ж.2 – Диаграмма А3: Разработать (корректировать) технологию приемочного контроля

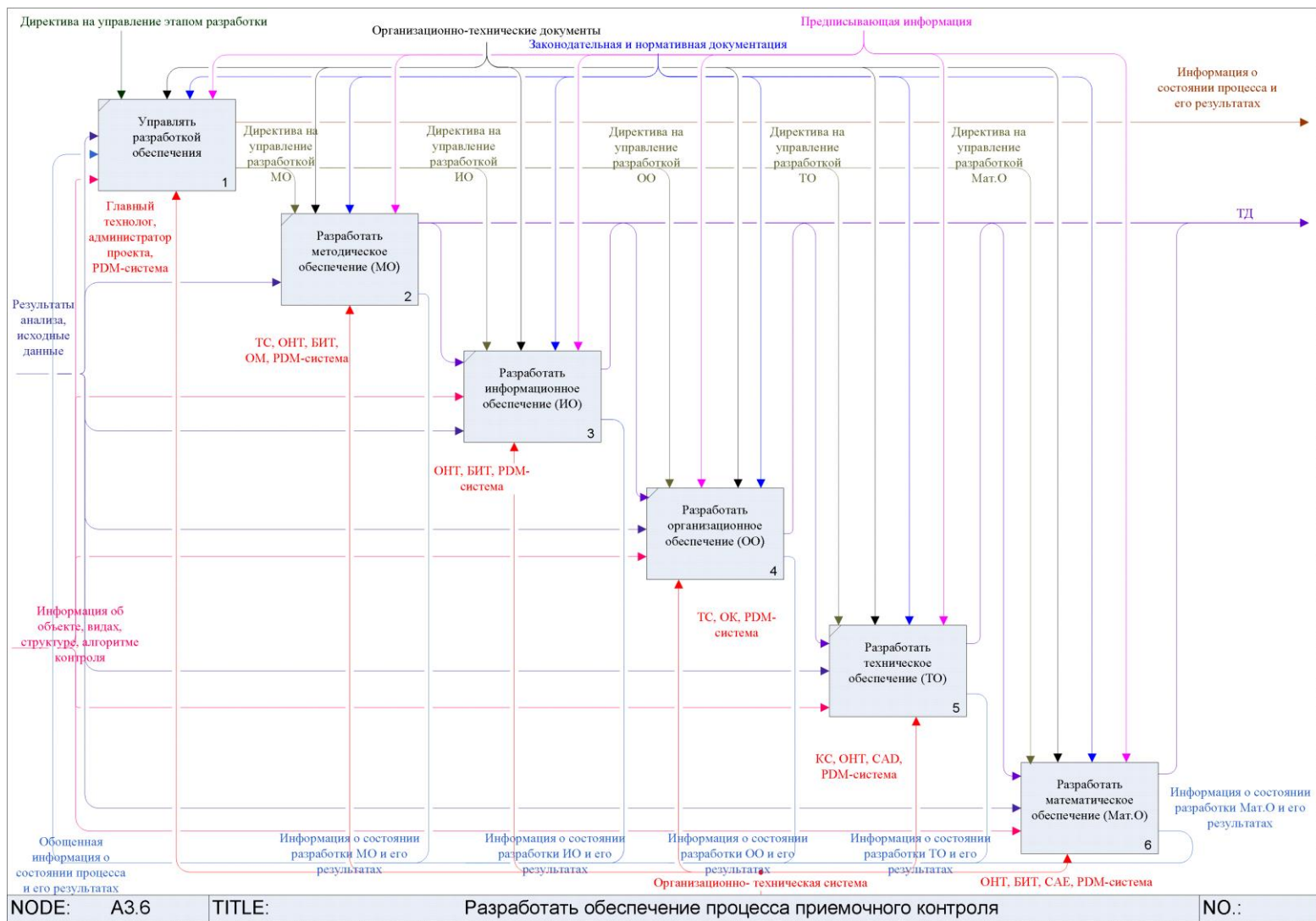


Рисунок Ж.3 – Диаграмма А3.6: Разработать обеспечение процесса приемочного контроля

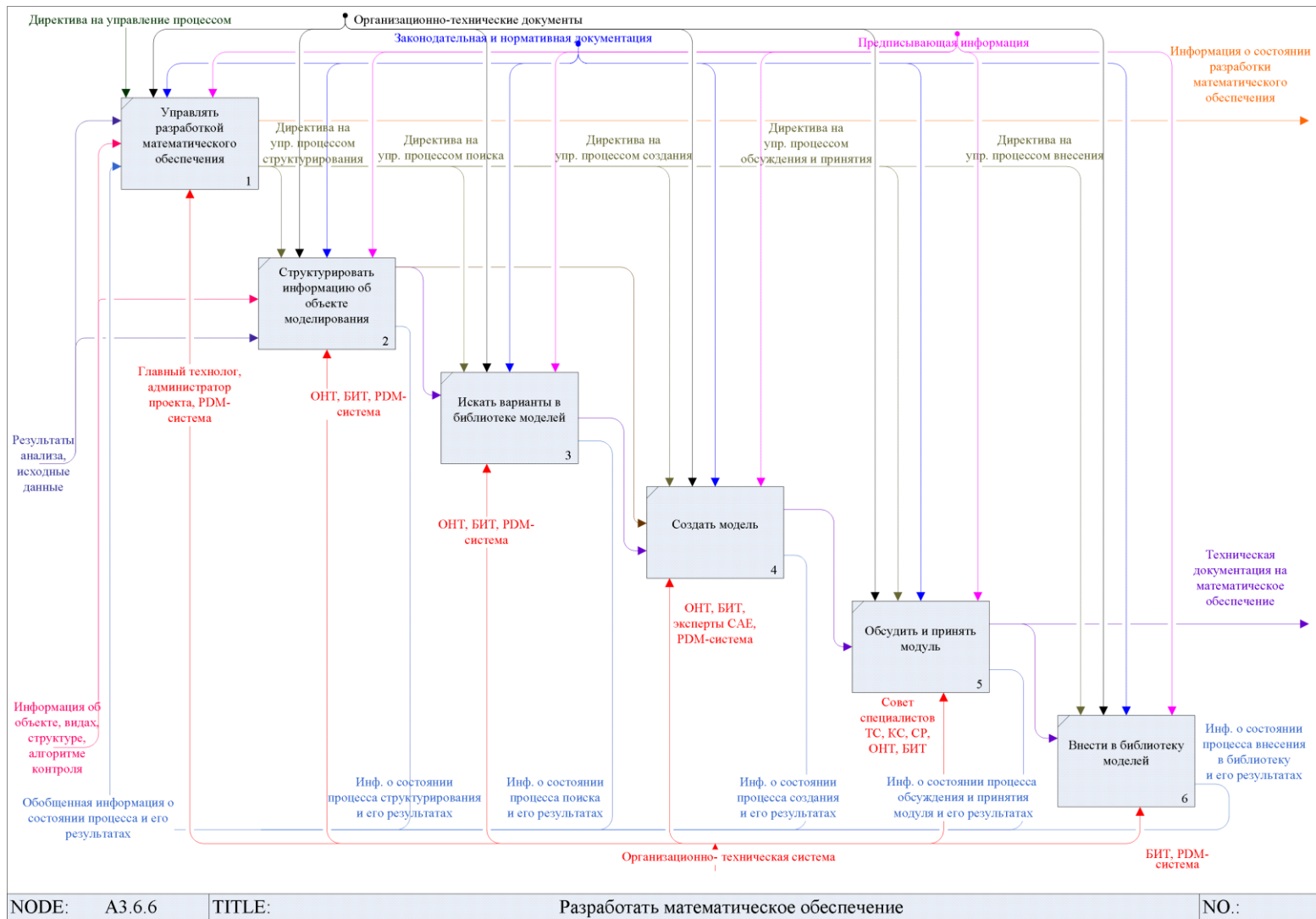


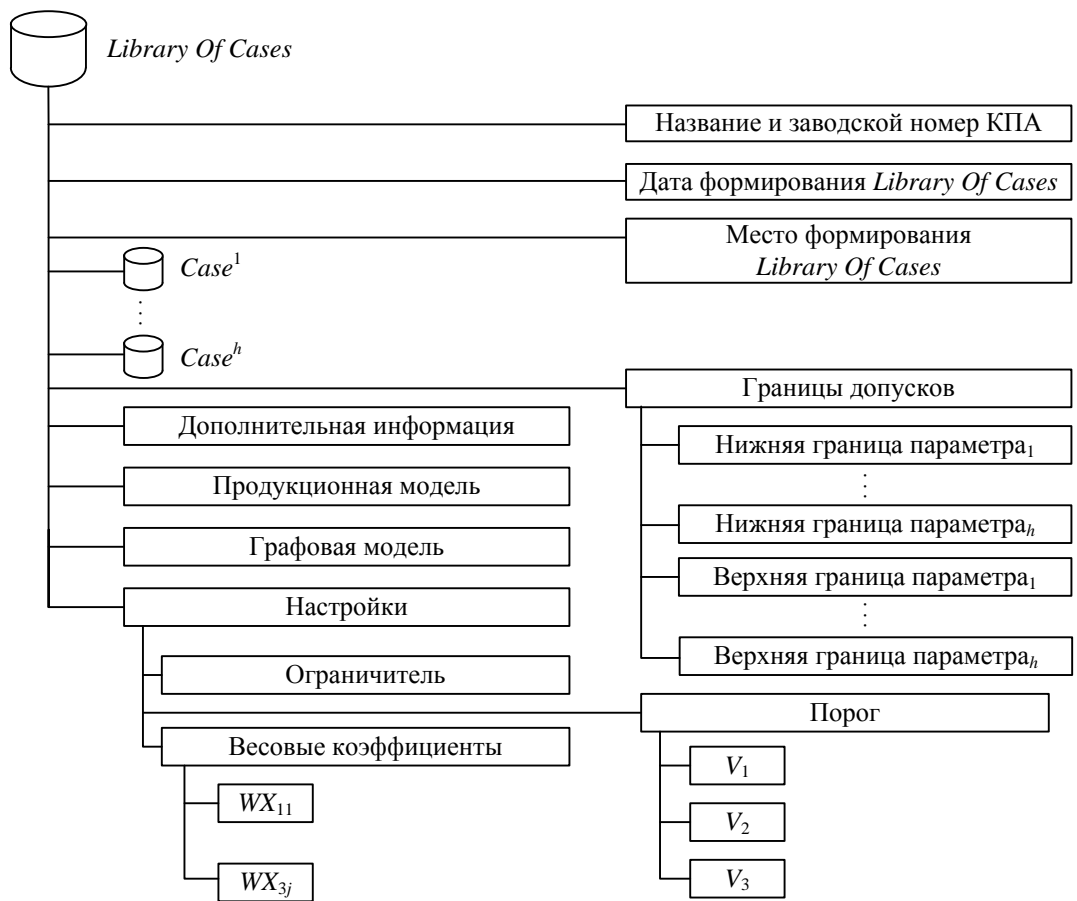
Рисунок Ж.4 – Диаграмма А3.6.6: Разработать математическое обеспечение

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Структура прецедента и библиотеки прецедентов



Рисунок И.1 - Структура прецедента



Окончание рисунка И.2 - Структура библиотеки прецедентов