

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

В. А. Прилепский, А. Н. Коптев

**Контроль состояния и диагностирование неисправностей
авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов**

Электронное учебное пособие

САМАРА
2011

УДК 681.2: 629.13(075.8)

ББК 68.53

П 76

Авторы: **Прилепский Василий Андреевич,**

Коптев Анатолий Никитович

Рецензенты: Заместитель Генерального конструктора УФКБ им. Туполева д-р. техн. наук, Г. И. Коротнев; заведующий кафедрой электротехники д-р техн. наук, профессор В. М. Гречишников

Компьютерная верстка В. А. Прилепский

Доверстка В. А. Прилепский

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

Содержательная часть пособия включает инновационные методы, принципы и средства контроля, моделирования и диагностирование авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов (АЭС и ПНК), задачи контроля и диагностирования технического состояния авиационного оборудования, аппаратно-программное обеспечение, требования, предъявляемые к контрольно-поверочной аппаратуре, методы автоматизированного поиска отказов, организационные вопросы и контроль качества технического обслуживания.

Учебное пособие предназначено для магистров высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 162500.68 "Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов" и изучающих дисциплину "Теория и практика контроля и диагностики систем авиационной техники" во 2-м семестре.

Подготовлено на кафедре эксплуатации авиационной техники факультета ИВТ СГАУ.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2011

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАДАЧИ КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ.....	6
2. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПИЛОТАЖНО- НАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ	13
ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ	13
2.1 Формальное представление пилотажно-навигационных комплексов летательных аппаратов.....	13
2.2 Разработка модели пилотажно-навигационного комплекса	19
2.2.4 Заход на посадку в автоматическом режиме по сигналам VOR.....	30
3. МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ И НЕИСПРАВНОСТЕЙ	38
4 ТАБЛИЦА ФУНКЦИЙ НЕИСПРАВНОСТЕЙ И ТАБЛИЦА НЕИСПРАВНОСТЕЙ....	45
5 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ И НЕИСПРАВНОСТЕЙ	48
6 РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ И СТРУКТУР ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ...	59
6.1 Концепция диагностической системы управления состоянием	59
6.2 Формальные основы представления диагностических процессов управления состоянием объектов контроля и диагностики.....	60
6.3 Основные понятия и определения метода пространства состояний.....	60
6.4 Модель движения агрегатов и систем пилотажно-навигационного комплекса в пространстве состояний.....	62
6.5 Модель процесса оценки технического состояния агрегатов и систем пилотажно- навигационного комплекса.....	63
6.6 Модель корректирующего воздействия	67
7 ЯЗЫК ПРОГРАММИРОВАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ АВИОНИКИ.....	76
7.1 Назначение.....	76
7.2 Семантика алфавита	76
7.3 Знаки алфавита	77
7.4 Общие сведения о программе контроля.....	77
7.5 Структура, типы и форматы кадров контроля (проверок).....	77
7.5.1 Структура ПК.....	77
7.5.2 (Не)Зависимость кадров.....	78
7.5.3 Типы признаков кадров.....	78

7.5.4	Признаки (не)зависимости ('s','z').....	79
7.5.5	Типы и признаки строк.....	79
7.5.6	Признаки строк – типы точки.....	79
7.5.7	Признаки строк – типы действия.....	80
7.5.8	Монтажные кадры.....	80
7.5.9	Особенности употребления пробелов разделителей.....	81
7.5.10	Монтажный кадр с контролем ручной операции.....	82
7.5.11	Монтажный кадр с визуальным контролем.....	82
7.5.12	Монтажный кадр с реле времени.....	83
7.5.13	Кадр контроля корпусной цепи 'к'.....	83
7.5.14	Кадр проверки диода 'd'.....	84
7.5.15	Измерительные кадры.....	84
7.5.16	Контрольно-испытательные кадры.....	85
8.	ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ	86
8.1	Основные критерии оценки.....	86
8.2	Полнота контроля.....	86
8.3	Глубина поиска неисправностей.....	87
8.4	Достоверность контроля.....	89
	СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	91
	ПРИЛОЖЕНИЕ А	92
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б	94

ВВЕДЕНИЕ

При современном уровне развития авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов знание современных методов контроля и основ технической диагностики становится обязательным для специалистов в области разработки и эксплуатации авиационной техники.

Применение методов и средств технической диагностики является эффективным способом обеспечения высокой надежности изделий, позволяет сократить сроки их изготовления и ремонта.

Сложность комплекса бортового оборудования эксплуатируемого авиакомпаниями растёт так стремительно, что невозможно осуществить подготовку специалистов по техническому обслуживанию и диагностике, которые справились бы со своими задачами, имея на вооружении лишь ручные и интуитивные методы обнаружения и поиска неисправностей. Выход из сложившегося положения – формализация и разработка строгих методов решения задач контроля и технической диагностики с последующей их автоматизацией на базе современной измерительной и вычислительной техники.

Настоящее пособие имеет цель дать студентам, обучающимся в магистратуре, основы знаний по современным средствам и методам контроля и технической диагностике авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов.

1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАДАЧИ КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Контроль является процессом, обеспечивающим достижение системой поставленных целей путём сравнения фактического состояния системы с техническими требованиями.

Контроль технического состояния - проверка соответствия значений параметров объекта требованиям технической документации и определение на этой основе одного из заданных видов технического состояния в данный момент времени.

Техническая диагностика — область знаний, включающая в себя сведения о методах и средствах оценки технического состояния машин, механизмов, оборудования, конструкций и других технических объектов.

Контроль и техническая диагностика являются составной частью технического обслуживания. Основной задачей технического диагностирования является сокращение затрат на техническое обслуживание объектов, и на уменьшение потерь от простоя в результате отказов.

Диагностирование технических объектов включает в себя следующие функции:

- оценка технического состояния объекта;
- обнаружение и определение места локализации неисправностей;
- прогнозирование остаточного ресурса объекта;
- мониторинг технического состояния объекта.

Различают прямые и косвенные диагностические параметры. Первые непосредственно характеризуют состояние объекта, а вторые связаны с прямыми параметрами функциональной зависимостью.

Согласно ГОСТ 20911-89 техническая диагностика определяется как "область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объектов".

Объект, состояние которого определяется, называют объектом диагностирования (ОД). Диагностирование представляет собой процесс исследования ОД. Характерными примерами результатов диагностирования состояния технического объекта являются заключения вида: ОД исправен, неисправен, в объекте имеется какая-то неисправность.

Техническое состояние объекта – состояние, которое характеризуется в определенный момент времени, при определенных условиях, внешней среды, значениями параметров, установленных технической документацией.

Задачей технического диагностирования является контроль технического состояния, поиск места и определение причин отказа.

В стандартах исправное, неисправное, работоспособное и неработоспособное технические состояния определяются следующим образом.

Исправное состояние – состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и конструкторской документации.

Неисправное состояние – состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Работоспособное состояние – состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Неработоспособное состояние – состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

В процессе производства, эксплуатации и хранения объектов в них могут появляться и накапливаться неисправности. Некоторые из них приводят к тому, что объект перестает отвечать предъявляемым к нему техническим требованиям. Перед использованием объекта по назначению необходимо знать, есть ли в нем неисправности, которые могут явиться причиной нарушения его нормальной работы, и в связи с этим возникает вопрос с процессом обнаружения неисправности. Он детализируется в зависимости от режима и особенностей использования объекта и, в соответствии с этим, выделяются следующие задачи обнаружения неисправности:

1) проверка исправности, целью которой является разбраковка, позволяющая отделить исправные изделия от неисправных. ОД исправен, если он удовлетворяет всем техническим требованиям;

2) проверка работоспособности, целью которой является выяснение, будет ли объект выполнять те функции, для реализации которых он создан;

3) проверка правильности функционирования, целью которой является обнаружение неисправностей, которые нарушают правильную работу объекта, применяемого по назначению, в данный момент времени.

Если объект неисправен, то для замены или ремонта неисправных компонентов необходимо установить место неисправности.

Поиск неисправности осуществляется путем выполнения диагностического эксперимента над объектом и дешифрирования его результатов. Диагностический эксперимент в общем случае состоит из отдельных частей, каждая из которых связана с подачей на объект входного воздействия (тестового или рабочего) и измерением выходной реакции объекта. Такие части диагностического эксперимента называют элементарными проверками.

Дешифрирование результатов диагностического эксперимента направлено на определение неисправностей, наличие каждой из которых в объекте не противоречит его реальному поведению в процессе выполнения диагностического эксперимента. Такие неисправности включаются в список подозреваемых неисправностей (СПН).

Диагностическое обеспечение объекта включает принципы, методы и программно-технические средства диагностирования.

Диагностическое обеспечение объекта получают в результате анализа его диагностической модели. Диагностическая модель строится на основе принципиальной и функциональной работы объекта, технических параметров и условий эксплуатации. В результате исследования диагностической модели устанавливаются диагностические

признаки, прямые и косвенные параметры и методы их оценки, определяют условия работоспособности, разрабатывают алгоритмы диагностирования.

Диагностирование осуществляется с помощью тех или иных средств диагностирования (СД).

Выделяют встроенные и внешние СД.

Встроенное средство диагностирования (контроля) – средство диагностирования (контроля), являющееся составной частью объекта.

Внешнее средство диагностирования – средство диагностирования (контроля), выполненное конструктивно отдельно от объекта.

Взаимодействующие между собой ОД и СД образуют систему диагностирования.

Процесс диагностирования, в общем случае, представляет собой многократную подачу на ОД определенных воздействий (входных сигналов), многократных измерений и анализа ответов на них. Воздействия могут формироваться СД, либо определяться непосредственно алгоритмом функционирования ОД.

Различают системы тестового и функционального диагностирования. Особенность первых состоит в возможности подачи на ОД специально организованных (тестовых) воздействий от средств ОД. В системах второго типа диагностирование ведется на рабочих воздействиях, предусмотренных рабочим алгоритмом функционирования ОД.

На рисунке 1.1 (а и б) приведены обобщенные функциональные схемы систем тестового и функционального диагностирования соответственно.

Системы функционального диагностирования обычно обеспечивают контроль ОД в процессе его применения по назначению, тестового – при производстве и ремонте.

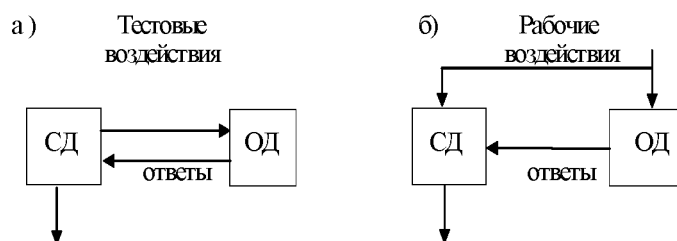


Рисунок 1.1 - Схемы систем тестового и функционального диагностирования

Процесс диагностирования обычно можно разбить на части, каждая из которых характеризуется подаваемым на объект тестовым или рабочим воздействием и снимаемым с ОД ответом. Такие части называют проверками (кадрами проверки). Ответы объекта могут сниматься с основных выходов ОД, то есть с выходов, необходимых для применения ОД по назначению, так и с дополнительных выходов, организованных специально для организации диагностирования. Основные и дополнительные выходы обычно называют контрольными точками (КТ) или контролируемыми выходами. Измеряемые на них параметры называют контролируемыми или диагностическими параметрами. В одной КТ может измеряться несколько параметров. Например, при контроле сигнала синусоидальной формы часто измеряют одновременно частоту и амплитуду сигнала.

Реализация процесса диагностирования требует источников тестового воздействия, измерительных устройств и устройств связи источников воздействий и измерительных устройств с объектом. Для управления средствами диагностирования и анализа реакции ОД применяют вычислительные устройства. В современных системах для этого применяются микроконтроллеры.

При большом объеме контрольно-диагностических операций (например, в условиях серийного производства или на специализированных предприятиях по техническому обслуживанию и ремонту) используемые системы тестового диагностирования обычно управляются с применением средств централизованной подготовки информационного обеспечения. Основные составляющие таких систем показаны на рисунке 1.2.

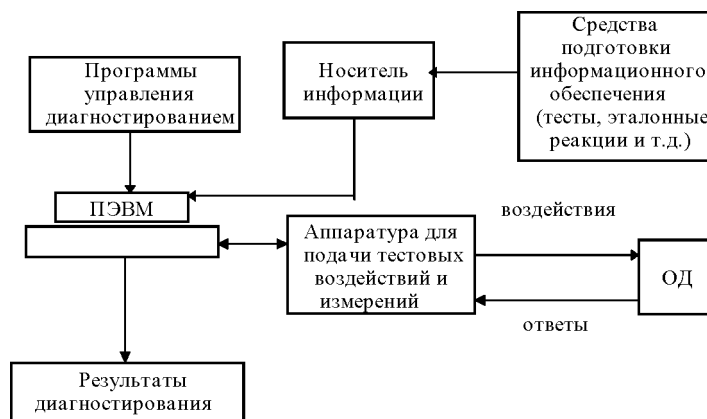


Рисунок 1.2 – Структура систем диагностирования

Для работы систем диагностирования необходимо заранее подготовить некоторые данные (информационное обеспечение). Их качественное и быстрое получение невозможно без использования вычислительной техники и программных средств моделирования. Современные системы автоматизации проектирования включают специальные подсистемы подготовки информации для диагностирования.

Среди показателей качества продукции важное место отводится свойству "надежность".

Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического состояния и диагностирования неисправностей ОД авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов позволяют комплексно решать следующие задачи:

- автоматизированное ведение базы данных;
- автоматизированное проектирование программ контроля для кабельно-жгутовых изделий;
- автоматизированное проектирование программ контроля в режиме “автоматизированного программирования” по отработанным бортовым схемам электрических соединений;

- автоматизированный анализ структур токораспределительной бортовой сети с целью оптимизации зон контроля при заданных условиях;
- автоматизированное распределение и адресация интеллектуальных коммутаторов после подключения к объекту контроля;
- моделирование реальных ситуаций и режимов полета при техническом обслуживании в условиях эксплуатации;
- контроль всех параметров функционирования отдельных устройств и систем электрооборудования и ПНК с экспертной оценкой работоспособности и срока службы;
- контроль правильности электрических соединений электросборок;
- контроль параметров (R, L, C) электрических цепей;
- автоматический контроль правильности монтажа электросборок, блоков и систем самолета;
- контроль сопротивления изоляции электрически разобщенных цепей:
 - а) каждой цепи относительно всех остальных;
 - б) каждой цепи относительно корпуса изделия;
- диагностику неисправностей и дефектов монтажа в реальных адресах в соответствии с КД на системы самолета (включая промежуточные разъемы) со следующей классификацией дефектов: обрыв провода, перепутывание проводов, ложные перемычки, повреждение изоляции;
- технологический прогон систем бортового комплекса авионики по программам, имитирующим полет ВС в заданных временных ограничениях;
- прогнозирование и срока службы изделий после изготовления или после технического обслуживания;
- самоконтроль работы системы во время проверки монтажа электросборок, блоков и систем самолета;
- автоматический контроль функционирования по алгоритмам работы устройств и комплексов бортового оборудования ВС. обслуживания, хранения и транспортирования.

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств.

По ГОСТ они определяются следующим образом.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Ремонтпригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Неполнота обнаружения и неточность в определении места неисправности ухудшает фактические показатели всех вышеуказанных свойств надежности.

Достижение высоких показателей надежности современных электронных устройств невозможно без применения методов и средств технической диагностики. В частности, в связи с быстро растущей сложностью ОД активно развиваются методы проектирования схем, обеспечивающие хорошую контролепригодность.

Контролепригодность (приспособленность объекта к диагностированию) – свойство объекта, характеризующее его пригодность к проведению диагностирования (контроля) заданными средствами диагностирования (контроля).

Если ОД хорошо приспособлен для диагностирования, то существенно упрощается построение тестов и поиск места неисправности, снижается время диагностирования.

В технической диагностике электронных устройств различают аналоговые (непрерывные), цифровые и аналого-цифровые (гибридные) ОД. В аналоговых ОД сигналы характеризуются континуальным множеством значений, в цифровых – логическими уровнями (обычно "лог. 1" и "лог. 0"), в аналого-цифровых – имеются сигналы обоих типов. Очевидно, что, используемые в системах диагностирования СД и средства подготовки информационного обеспечения зависят от вида ОД.

Современные программно-технические средства контроля технического состояния и диагностирования неисправностей ОД авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов позволяют комплексно решать следующие задачи:

- автоматизированное ведение базы данных;
- автоматизированное проектирование программ контроля для кабельно-жгутовых изделий;
- автоматизированное проектирование программ контроля в режиме “автоматизированного программирования” по отработанным бортовым схемам электрических соединений;
- автоматизированный анализ структур токораспределительной бортовой сети с целью оптимизации зон контроля при заданных условиях;
- автоматизированное распределение и адресация интеллектуальных коммутаторов после подключения к объекту контроля;
- моделирование реальных ситуаций и режимов полета при техническом обслуживании в условиях эксплуатации;
- контроль всех параметров функционирования отдельных устройств и систем электрооборудования и ПНК с экспертной оценкой работоспособности и срока службы;
- контроль правильности электрических соединений электросборок;
- контроль параметров (R, L, C) электрических цепей;
- автоматический контроль правильности монтажа электросборок, блоков и систем самолета;
- контроль сопротивления изоляции электрически разобщенных цепей:
 - а) каждой цепи относительно всех остальных;
 - б) каждой цепи относительно корпуса изделия;

- диагностику неисправностей и дефектов монтажа в реальных адресах в соответствии с КД на системы самолета (включая промежуточные разъемы) со следующей классификацией дефектов: обрыв провода, перепутывание проводов, ложные переключки, повреждение изоляции;

- технологический прогон систем бортового комплекса авионики по программам, имитирующим полет ВС в заданных временных ограничениях;

- прогнозирование и срока службы изделий после изготовления или после технического обслуживания;

- самоконтроль работы системы во время проверки монтажа электросборок, блоков и систем самолета;

- автоматический контроль функционирования по алгоритмам работы устройств и комплексов бортового оборудования ВС.

2. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПИЛОТАЖНО- НАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Для обеспечения оптимальной производительности и в монтажно-сборочном производстве необходим системный подход к формированию всего комплекса технологических операций, который базируется на наборе формальных инструментов упреждающего анализа, а также построенных на результатах этого анализа диагностической аппаратуры и программных средств обработки данных измерительных процедур, реализованной этой аппаратурой. Особенно это важно для технологических процессов контроля пилотажно-навигационного комплекса.

В этой главе рассмотрены вопросы формальных основ представления ПНК ЛА для анализа его технического состояния на всех этапах производства, являющегося базой для построения технологий сборочно-монтажного производства авиастроительных предприятий.

В рамках традиционного линейного подхода реализация полномасштабных работ по автоматизации этих процессов требует применения компьютерной техники. В то же время современные компьютеры с их способностью выполнять с высокой скоростью большие объемы вычислительных и логических операций дают возможность использовать для анализа данных и конструирования диагностических тестов более совершенные подходы, позволяющие полнее учитывать сложную структуру диагностической информации.

В этих условиях все большее число исследователей начинают разработки более совершенных моделей оценки технического состояния сложных технических агрегатов и систем ПНК ЛА, используя теорию и структурные методы для построения диагностических тестов на основе декомпозиции, применяя более обозримые конструктивные представления.

Таким образом, развитие информационных технологий дает основание рассматривать использование структурных методов теории распознавания образов в качестве ближайшей реальной перспективы совершенствования диагностики состояния систем ЛА в целом, а также для разработки процедур принятия решений на основе анализа полученной с помощью систем контроля и диагностики информации.

2.1 Формальное представление пилотажно-навигационных комплексов летательных аппаратов

Представление агрегатов и систем ПНК ЛА связано с изучением характеристик реальных физических объектов для построения их математических моделей, которые составляют основу формальных методов конструирования программ контроля агрегатов и систем ПНК ЛА для оценки их технического состояния, а также построения диагностических комплексов для реализации этих программ.

Выделим следующие группы задач, которые решаются в процессе разработки и исследования математических моделей объектов для контроля и диагностики: разработка метода представления агрегатов и систем ПНК ЛА для построения математических моделей, разработка методов и алгоритмов анализа этих моделей, как объектов контроля и диагностики и, наконец, разработка методов и алгоритмов синтеза измеряемых параметров с учетом требований оценки их технического состояния.

Слабо исследованными или даже нерешенными являются задачи построения универсальных моделей, учитывающих представление объектов контроля и диагностики как очень разнообразных сетей в соответствии с их фундаментальными свойствами и назначениями, что требует совершенствовании организации в рамках новых типов

пространств, а также моделей блочного типа, в которых блоки и модули являются конструктивными или функциональными компонентами объекта, что характерно для систем ПНК ЛА.

Для построения математической модели конкретных агрегатов и систем ПНК будем использовать понятие модуля в качестве исходных образующих, т. е. модели агрегатов и систем строят из множества функциональных модулей или блоков, реализующих значения первичных высказываний для конкретных систем ЛА или блоков – модулей этой системы [19].

При этом множество всех модулей A состоит из непересекающихся классов модулей:

$$A = \bigcup A^\alpha, \quad (2.1)$$

где A^α – непересекающиеся классы, α – общий индекс, индекс класса модулей.

Интерпретация этого разбиения состоит в том, что модули, сходные качественно, будут относиться к одному классу, а их свойства выражаются через признаки и связи. В первом случае модулю ставится в соответствие признак $m = m(a)$, причем в качестве значений признака могут выступать целые, действительные числа, векторы и т.д.

Второй тип свойств охватывает связи. Определенному модулю a соответствует число связей $\ell(a)$, которое в конкретном случае является неотрицательным числом, равным числу соединений, представляющих сумму входных и выходных связей.

При решении большинства прикладных задач технической диагностики, как правило, будут использоваться отображения множества модулей A в себя, которые не будут существенно влиять на информацию, содержащуюся в модулях. При этом множество K отображений $K: A \rightarrow A$ образует множество преобразований подобия.

Одновременно, считая модули на определенном этапе анализа неделимыми объектами, предполагается их разбиение на более мелкие единицы. В данной работе модули, как правило, определяются в некоторой среде–носителе информации. В этом случае модуль имеет конкретную интерпретацию. В качестве общего многомерного аналога модуля вводим универсальные операторы, где всякий модуль есть оператор с ν (переменными) входами x_1, x_2, \dots, x_ν и μ (переменными) выходами y_1, y_2, \dots, y_μ . Область значений всякого x_i есть некоторое пространство X_i , область значений всякого y_i – некоторое пространство Y_i . В частности, существуют оператор назначения, не имеющего входов. Преобразования подобия воздействуют только на операторы назначения, оставляя все остальные модули без изменения.

Предлагаемый метод для моделирования предусматривает структурное объединение специфических блоков – модулей в модели конкретного ПНК ЛА.

Модели с формальным представлением их функций определяются составом модулей s и структурой их соединений, представляющих множество соединений σ .

Для построения допустимых моделей вводится набор заданных правил и ограничений P который будет определять регулярность модели. Множество регулярных моделей, получаемых в рамках P , обозначается через $b_n(P)$, где n – число модулей в модели.

При решении задач монтажа, контроля и испытаний (МКИ) агрегатов и систем ПНК ЛА приходится иметь дело более чем с одной моделью, построенной в заданном пространстве модулей. Тогда, используя введенные понятия и определения, множество регулярных моделей записывается в виде:

$$B(P) = \bigcup_{i=1}^n b_i(P) = \bigcup_{i=1}^n \langle A_i, D_i, \Sigma_i, \rho_i \rangle, \quad (2.2)$$

где A_i – множество модулей i -й конфигурации; D_i – множество отображений в модулях i -й конфигурации; Σ_i – множество типов соединений σ ; ρ_i – отношение согласования или отношение связи, n – число конфигураций в множестве $B(P)$.

В дальнейших построениях тип соединения Σ представляет собой объединение множеств Σ_n , где всякое множество Σ_n есть множество графов, заданных на n -вершинах.

Таким образом, структура модели ПНК представляет собой множество σ соединений между всеми или некоторыми связями модулей, входящих в ее состав.

Для решения задач оценки технического состояния ПНК в работе использованы модели с двумя типами соединений: линейный тип соединения и соединение типа дерева.

Линейный тип соединения Σ состоит из линейных упорядочений, так что регулярная модель, включающая n модулей, является последовательностью арифметических операторов, состоящих из двух классов: $A^{(1)}$ состоит из операторов назначения, у которых отсутствуют входные связи $\ell_{\text{вх}}(a) = 0$ и имеется одна выходная связь $\ell_{\text{вых}}(a) = 1$; признаком такого оператора служит действительное число, присваиваемое ему. $A^{(2)}$ состоит из набора арифметических операторов, обладающих одной входной и одной выходной связями ($\ell_{\text{вх}}(a) = \ell_{\text{вых}}(a) = 1$), которые являются подмножествами целых чисел, представляющими области определения и значений оператора соответственно. Отношение согласования ρ должно иметь вид включения.

Так как многие задачи идентификации (распознавания состояния системы ЛА) и их решения можно выразить в терминах регулярных выражений и конечных автоматов, то в рамках рассматриваемой теории представлений ПНК для целей оценки технического состояния используются специальные виды линейного типа соединений, одним из которых являются цепочки, порожденные конечными автоматами. При этом модули принадлежат множеству A объектов, общий вид которых изображен на рисунке 2.1. У них $\ell_{\text{вх}}(a) = \ell_{\text{вых}}(a) = 1$, а показатели связи i и j обозначают состояния. Признаком модуля a является x – терминальный символ. Интерпретацией a служит переход из состояния i в состояние j при записи символа x . Подцепочки конечных автоматов, в этом случае модули те же, что и в предыдущем случае, где отношение согласования ρ – «равенство», а Σ – линейный тип соединения.



Рисунок 2.1 - Модули цепочки, порождаемой конечным автоматом

Группа преобразований подобия K задается с помощью группы подстановок и ее расширения на множество A .

При таком определении $b(P)$ превращается в множество подцепочек, имеющих корректные переходы между состояниями, свойственные некоторому конечному автомату.

Наиболее общей моделью реализации функционирования агрегатов и систем ПНК ЛА является автомат с магазинной памятью [12, 110].

Автомат этого типа работает следующим образом. Входная цепочка w допускается в том случае, если она является пустым словом или в множестве K существует последовательность k_0, k_1, \dots, k_n и $w = x_1, x_2 \dots x_n, x_k \in V_T$, такие, что:

$$\left. \begin{array}{l} k_0 \in K_0 \\ k_i \in \delta(k_{i-1}, x_i) \\ k_n \in F \end{array} \right\} \quad (2.6)$$

Для оценки технического состояния агрегатов и систем ПНК ЛА рассмотрено два пространства конфигураций $b(R)$ и $b'(R)$:

$$b(P) = \langle A, D, \Sigma, \rho \rangle, \quad b'(P) = \langle A', D, \Sigma, \rho \rangle, \quad (2.7)$$

Для исключения определенных модулей модели ПНК при диагностике введен оператор аннигиляции ν , который, будучи применен в некоторой модели $c \in b(P)$ исключает в ней все модули, принадлежащие классу индекса α заданного множества V_0 исправных функциональных модулей.

Для целей контроля и диагностики технического состояния агрегатов и систем ПНК ЛА введено в теорию представлений понятие различимости. В зависимости от средств оценки применяемых к диагностируемой системе, представленной теоретической моделью c и моделью реальной системы c' и $b(P)$ не обязательно будут восприняты как различные, где c - модель исправной системы, а c' - модель, отображающая ее неисправности. Последнее может зависеть или не зависеть от способа получения информации о моделях, и от способа обработки этой информации. Это обстоятельство формализовано посредством правила идентификации R : записываем $c \equiv c' \pmod{R}$ или $cR c'$, если c и c' идентифицируются при помощи этого правила, указывающего, каким образом можно различать модели. Для того чтобы некоторое отношение было правилом идентификации, должно выполняться следующее:

1. R является отношением эквивалентности;
2. Если $cR c'$, то c и c' имеют одни и те же внешние и внутренние показатели связей;
3. Если $cR c'$, то $(kc)R(kc')$ для любого $k \in K$;
4. Если $c = c_1 \sigma c_2$ и $c' = c'_1 \sigma c'_2$ регулярны и $c_1 R c'_1, c_2 R c'_2$, то имеем $cR c'$.

Классы эквивалентности $b(P)$ будем называть представлениями конкретных систем (ПКС) и в общем случае обозначаются через I , а множество всех ПКС - через T :

$$T = b(P)/R = \langle A, D, \Sigma, \rho \rangle / R. \quad (2.8)$$

Более детально иногда будем называть элементы из T идеальными ПКС в противоположность деформированным, т.е. с введенными неисправностями. Класс эквивалентности I , содержащий данную модель c , будем обозначать через $I(c)$.

На множестве T задается алгебраическая структура. Множество T вместе с преобразованиями подобия и комбинациями посредством σ называется алгеброй изображений, обозначается также через T и может быть представлено пятеркой

$$T = \langle b(P), R \rangle = \langle G, D, \Sigma, \rho, R \rangle. \quad (2.9)$$

Таким способом пары модулей могут стягиваться в один модуль и эту процедуру можно повторять. В качестве следствия имеем следующее. Если a_1 и a_2 соединены в модели c

посредством σ и $a_1\sigma a_2 = a$, то c является R -эквивалентом модели c' , полученной с заменой моделей модулей $a_1\sigma a_2$ на a .

Таким образом, создается возможность приведения моделей к виду, который позволяет диагностировать состояния узлов и агрегатов, состоящих из множества модулей, являющейся основой для построения множества относительно простых диагностических тестов.

Введенные выше модули и модели, создаваемые из них, являются статическими представлениями состояний конкретных систем (ПСКС) и описывают по существу их статику. Однако для контроля и диагностирования сложных систем ПНК необходим один важный класс ПСКО, связанный с динамикой состояний, т.е. с пространственно-временными состояниями.

В этом случае опорное пространство контроля и диагностирования систем ПНК $X = R^3 \times R^t$, где R^t – пространство времени. Эти состояния играют особую роль при контроле и диагностировании. Для моделирования пространственно-временных состояний необходимо ввести модули и их отношения с модулями в моделях ПСКС, которые описывают динамику контролируемой или диагностируемой системы.

Модули, используемые при построении моделей динамики, будут иметь следующие свойства. Как число входящих, так и число исходящих связей модулей не ограничено и показатели всех внутренних связей конкретного модуля равны некоторому действительному числу h . Аналогично все показатели внешних связей равны некоторому действительному числу $-h_{вых} \geq h_{вх}$. Роль индекса α модуля заключается в разделении динамических состояний на различные типы, и G будем называть репертуаром этих состояний. Если два пространства модулей построены одинаково, за исключением того, что одно из них исходит из множества модулей G , а другое – из G' , то будем говорить, что второе пространство обладает большей общностью. Второе пространство моделей будет иметь и более сложную структуру.

Преобразования подобия будут включать в себя сдвиги по времени $h \rightarrow h + t$. Воздействия на показатели связей модулей будет сводиться к тому, что они примут значения $h_{вх} + t$, $h_{вых} + t$. Иногда будут использоваться также некоторые пространственные преобразования, но они не повлияют на показатели связей. Как правило, классы образующих G^α должны быть S -инвариантными.

Когда элементарные состояния комбинируются вместе (программа контроля) необходимо проследить, чтобы они выполнялись в правильном порядке. Это приводит нас к типу соединения Σ – «частичный порядок», и все стрелки – в σ должны иметь единое направление.

По той же причине будем считать, что отношение связей $\beta_{вых}\rho\beta_{вх}$ истинно тогда и только тогда, когда $h_{вх} \leq h_{вых}$; стрелка направлена от $\beta_{вых}$ к $\beta_{вх}$: прежде чем перейти к следующему, необходимо закончить предыдущее. Отметим, что такое отношение связей, как всегда, S -инвариантно.

Тем самым определяется $R = \langle \Sigma, \rho \rangle$, и вместе с G и S задается множество регулярных моделей $B(P)$ для решения конкретных задач оценки технического состояния агрегатов и систем ПНК ЛА на основе правила идентификации R .

Практика оценки результатов контроля и диагностирования связана с рассмотрением двух случаев ПСКС: либо точное соответствие модели этого представления, либо искаженные (деформированные) варианты этой модели, отражающей неисправное состояние конкретной системы в рамках предложенной формализации.

$$P^D \in T^D \quad (2.11)$$

В результате сталкиваемся с фундаментальной проблемой, – каким образом возникают подобные деформации. Полный синтез модели с неисправностями требует определения механизма деформации. Это необходимо на стадии анализа результатов контроля и диагностирования.

Для этих целей в работе предложен вариант формализации на основе предложенных представлений.

Обозначим через d отображение алгебры ПСКС T на множество T^D ПСКС, которые могут наблюдаться. Элементы будем называть деформированными ПСКС. Обычно число преобразований d велико и заранее неизвестно. Символ D используется для обозначения множества всех преобразований.

Рассмотрена природа возникновения деформированных ПСКС. Простейшим является случай $T^D \subset T$, т.е. когда модели относятся к тому же типу, что и идеальные модели алгебры ПСКС. В этом случае будем говорить об автоморфных деформациях, а d отображает алгебру ПСКС в само себя.

В противном случае, при гетероморфных деформациях, множество T^D может включать целый ряд различных типов. Может оказаться, что T^D также обладает структурой алгебры ПСКС, хотя и отличной от I . Следует подчеркнуть, что даже и в таком случае структуры эти могут резко отличаться и, следовательно, между I и T^D существует принципиальное различие. Довольно часто в практике сталкиваются со случаем $T \subset T^D$, при котором идеальные (недеформированные) ПСКС являются частными случаями деформированных. Как правило, d разрушает структуру, и поэтому T^D будет менее структурированной, чем T .

В случае, когда $T^D \subset T$, область определения d часто будет расширяться от T до T^D , причем область значений будет оставаться равной T^D . В таком случае можно многократно применять последовательность d и, естественно, обобщить D до полугруппы преобразований.

Во многих случаях можно будет также расширять область определения преобразований k с T до T^D . Всё сказанное можно объединить в виде условия, которое ниже в большинстве случаев будет выполняться. В данном разделе будем предполагать, что k образует группу.

Всегда при контроле и диагностике в основе деформации (нарушения функций исследуемой системы) лежит некий физический механизм.

При определении вида деформации существуют большие трудности, которые связаны с теоретическими аспектами. При этом необходимо, используя доступные сведения из соответствующей предметной области, обеспечить достижение естественного компромисса: модель должна обеспечить достаточно точную аппроксимацию изучаемых явлений и допускать в то же время возможность аналитического или численного решения.

В этом случае для начала следует разложить D , которое может быть довольно сложным пространством, на простые факторы $D = D_1 \times D_2 \times \dots$. Произведение может быть конечным, счетным или несчетным. Иногда такое разбиение задается непосредственно, как, например, в случае, когда деформации сводятся к топологическому преобразованию опорного пространства, за которым следует деформация агрегата и системы ПНК, представляемым множество функциональных модулей. Некоторую пользу можно извлечь также из того способа, при помощи которого алгебры ПКС построены из элементарных объектов. Как правило, рассматриваются ПКС, модели которых включают n модулей, и все они идентифицируемы, что позволяет воспользоваться представлением

$$I^D = dI = (d_1 a_1, d_2 a_2, \dots, d_n a_n), \quad (2.12)$$

рассчитывая на то, что свойства факторов d_v окажутся достаточно удобными. Этот метод будет работать, однако, только в том случае, когда модули однозначно определяются ПКС. Вместо этого можно воспользоваться соответствующим разбиением в применении к каноническим моделям, модули которых определены в рассматриваемой алгебре ПКС.

После разделения D на достаточно простые факторы необходимо решить, какую вероятностную меру, связанную с различными видами неисправностей, следует ввести на D . При этом существенным моментом является выбор такого способа факторизации деформаций, при котором отдельные факторы d оказываются независимыми друг от друга. Невозможно полностью задать P , не располагая эмпирической информацией, и для того чтобы получить оценки с удовлетворительной точностью, аксиоматическая модель должна

быть в достаточной степени структурирована. Это критический момент для определения P , и здесь требуется такое понимание механизма деформации, которое исключит неадекватное представление данных при последующем анализе. Если действительно удастся провести разбиение таким образом, что факторы в вероятностном смысле независимы, остается еще решить задачу определения на них безусловных распределений. В качестве примера рассмотрены идеальные образующие, порождаемые механизмом типа $L_0x = \theta$, где можно рассматривать L_0 как разностный оператор, а деформированные образующие определяются выражением $L_0x = \varepsilon$. Первое, что следует опробовать – это допустить независимость значений ε (при различных аргументах). Если это не может быть принято в качестве адекватной аппроксимации, необходимо попытаться устранить зависимость посредством работы не с x , а с некоторым ее преобразованием (например, линейным). Другими словами, можно выбирать модель таким образом, чтобы деформации принимали простую вероятностную форму. Отметим в качестве еще одного примера, что при работе с образами-соответствиями и дискретным опорным пространством X можно попытаться промоделировать P исходя из предположения о том, что различные точки X отображаются на опорное пространство T^D независимо и что соответствующие распределения различны.

Для того чтобы сузить выбор безусловных распределений, рассмотрена роль преобразований подобия. Если, как и выше, D выбрано удачно, то можно рассчитывать, что P будет обладать соответствующей инвариантностью. Итак, если I и I' – подобные идеальные ПСКС и $I' = kI$, то в первую очередь следует выяснить, не обладают ли dI и $dI' = dkI$ одним и тем же распределением вероятностей. Можно также использовать другой подход: попробовать модель, регулируемую равенство распределений kdI и dkI ; этот путь приводит нас к ковариантности по вероятности.

С помощью этих методов можно определить аналитическую форму P , и оценки свободных параметров получить эмпирически.

Механизмы деформации классифицированы на основе двух критериев: уровня и типа.

Под уровнем механизма деформации будем подразумевать тот этап синтеза образов ПСКС, на котором определяется D . Высший уровень ПСКС соответствует тому случаю, когда D задается непосредственно для каждого I независимо от того, каким способом (идеальное) ПСКС синтезировано из моделей, правил, ограничений, модулей и признаков. Низший уровень соответствует случаю, когда D задается на языке модулей, из которых строится модель в I . Промежуточный уровень соответствует случаю задания D на $b(P)$.

2.2 Разработка модели пилотажно-навигационного комплекса

Для создания модели ПНК самолёта АН-140 рассмотрим следующие системы, входящие в состав комплекса (образующие):

- Система автоматического управления САУ-28-02;
- Базовая система формирования курса БСФК;
- Система спутниковой навигации СН-3301;
- Система питания полным и статическим давлением;
- Курсо-посадочная система КУРС-93м;
- Измерительный комплекс высотно-скоростных параметров ИК ВСП;
- Система питания динамическим и статическим давлением.

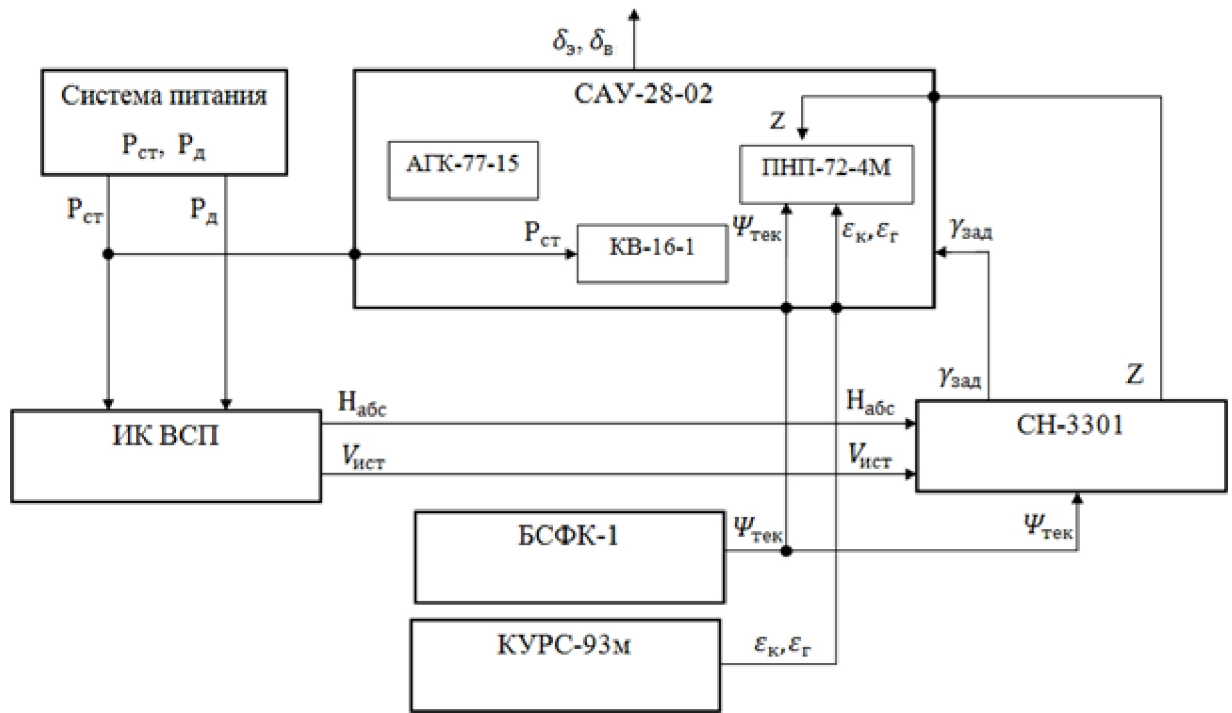


Рисунок 2.2 – Структура ПНК самолёта n-140

В данном случае надо принимать данные образующие как неделимые, не смотря на то, что каждая из них имеет свою собственную сложную структуру. Это необходимо для моделирования ПНК, как полного формализма, выполняющего определённые функции. Таким образом, каждая образующая рассматривается как функциональное преобразование входных параметров в выходные.

Определим для всех образующих свойства – признаки и связи. Для этого сведём каждую образующую (модуль) к виду обобщённого графического формализма, введенного У. Гренандером [19] внешний вид которого представлен на рисунке 2.3.

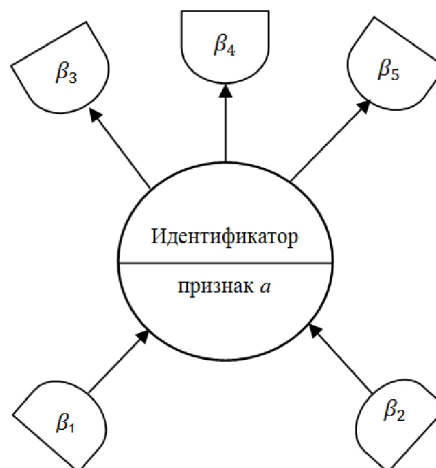


Рисунок 2.3 – Обобщённый графический формализм образующей (модуля)

Здесь β_1 и β_2 – показатели связи входной арности, $\beta_3, \beta_4, \beta_5$ – показатели связи выходной арности. В нашем случае под показателями связи β_1 будем понимать входные и выходные сигналы, с которыми оперирует взятая система в целом.

В выражении (2.2) полное множество модулей $A^0 = \bigcup_n A_i$ и множество всех допустимых соединений $\Sigma = \bigcup_n \Sigma_i$ между ними образуют граф функционирования ПНК, записанный в виде:

$$G = (A^0, \Sigma). \quad (2.3)$$

Вершинами графа G являются модули (Рис. 2), а дугами являются функциональные связи модулей, характеризующиеся показателями связей β_i . Одни и те же вершины могут входить в состав нескольких конфигураций-режимов, но при этом иметь разные функциональные связи.

Рассмотрим составные модули ПНК самолёта АН-140.

Систему автоматического управления САУ на первом этапе представим в виде единой, неделимой образующей изображённой на рисунке 2.4.

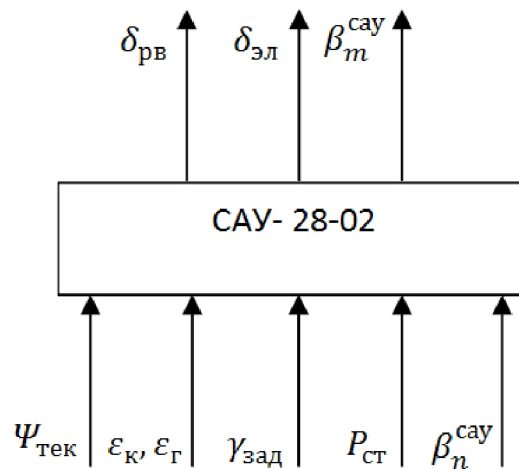


Рисунок 2.4 – образующая САУ

Здесь β_n^{cau} представляет всё множество вспомогательных входных сигналов - питание, сигналы готовности и т. д. Так же β_m^{cau} представляет множество дополнительных выходных сигналов.

Бортовая аппаратура приёма и обработки спутниковой навигационной информации СН-3301 представлена на рисунке 2.5

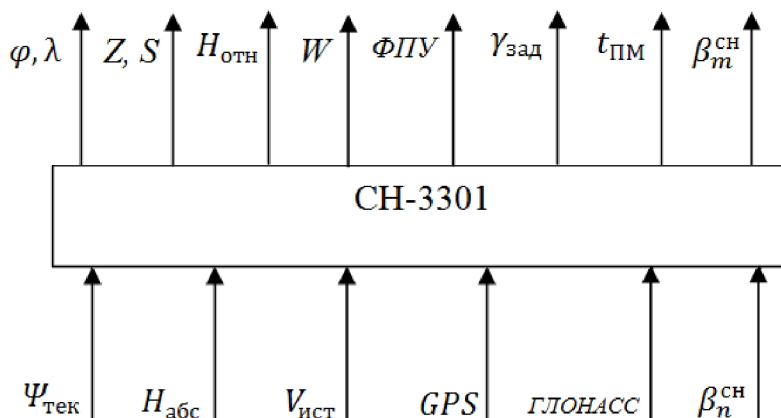


Рисунок 2.5 – образующая – СН-3301

Здесь:

φ, λ – текущие значения широты и долготы места;

S, Z – текущие ортодромические координаты;

$H_{отн}$ – геодезическая высота – (по направлению нормали к поверхности геоида);

W – путевая скорость;

ФПУ – фактический путевой угол;

$\gamma_{зад}$ – заданное значение угла крена для автоматического пилотирования по маршруту;

$t_{ПМ}$ – время полёта до очередного пункта маршрута;

$\beta_n^{сн}, \beta_m^{сн}$ – соответственно дополнительные входные и выходные сигналы. Базовая

система формирования курса БСФК предназначена для формирования и выдачи потребителям текущего (приведенного) курса $\psi_{пр}$ и гиромагнитного курса $\psi_{ГМК}$ объекта при работе с двумя датчиками гироскопического курса (ГА-8 и БУ-12 сер.2).

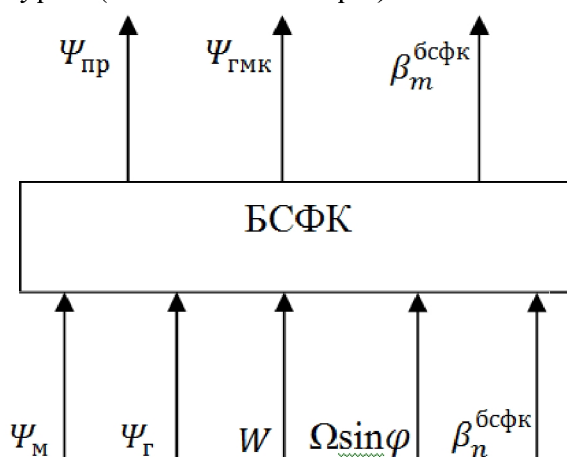


Рисунок 2.6 – образующая БСФК

В случае модификации БСФК-1 в качестве датчика гироскопического курса применяется гирополукомпас – гироагрегат ГА-8 с усилителем БУ-12 сер.2. Формирование приведенного курса обеспечивается автоматически при работе бортовой вычислительной машины или вручную с пульта управления системы в автономном режиме.

Система БСФК представляет собой устройство, формирующее при работе с внешними датчиками гироскопического курса сигналы $\psi_{пр}$ и $\psi_{ГМК}$. Вид образующей БСФК представлен

на рисунке 2.6. Здесь:

ψ_r – гироскопический курс: угол между продольной осью объекта и осью гироскопа;

Ω – угловая скорость вращения Земли;

φ – широта места;

$\psi_{пр}$ – приведенный курс: ψ_r , откорректированный на поправку $\Omega \sin \varphi$ и измеренный

относительно заданного направления, или угол в азимуте, отмеченный между принятым направлением и проекцией продольной оси объекта.

Измерительный комплекс высотно-скоростных параметров ИК ВСП предназначен для формирования и выдачи потребителям информации о высотно-скоростных параметрах, характеризующих полёт объекта, и достижения ими предельных значений.

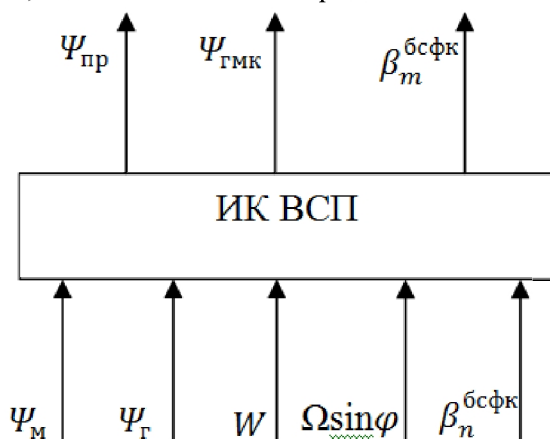


Рисунок 2.7 – образующая ИК ВСП

Комплекс ИК ВСП представляет собой комплект блоков и устройств авиационной техники, функционально объединённых в единое целое и связанных между собой каналами информационных связей.

В рамках представления данного комплекса в виде образующей будем рассматривать ИК ВСП совместно с системой питания статическим и динамическим давлениями как единую систему воздушных сигналов СВС. Образующая представлена на рисунке 2.7.

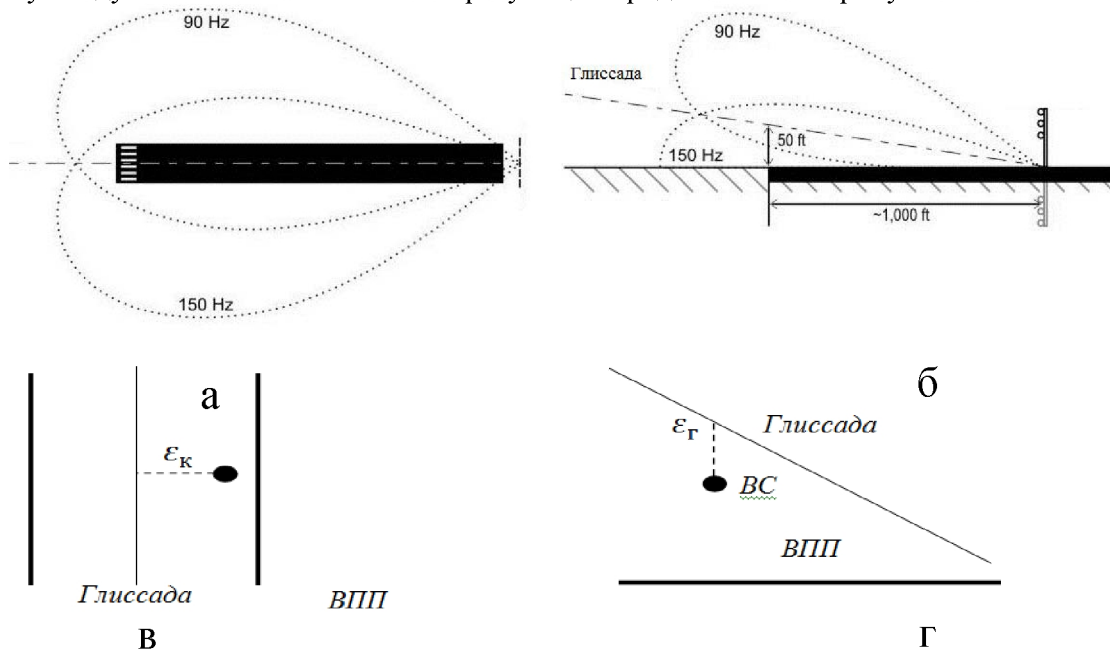


Рисунок 2.9 – Диаграммы направленности посадочных маяков

Навигационно-посадочная система КУРС-93М предназначена для захода на посадку по сигналам посадочных маяков типа VOR, а так же осуществления навигации по азимуту на радиомаяк. Принимая радиосигналы посадочных маяков, аппаратура КУРС-93м формирует и выдаёт сигналы, пропорциональные отклонению от глиссады в продольной и

поперечной плоскостях: ε_{κ} , ε_{Γ} . Диаграммы направленности маяков представлены на рисунке 2.9 (а) и (б). Образующая данной системы представлена на рисунке 2.10.

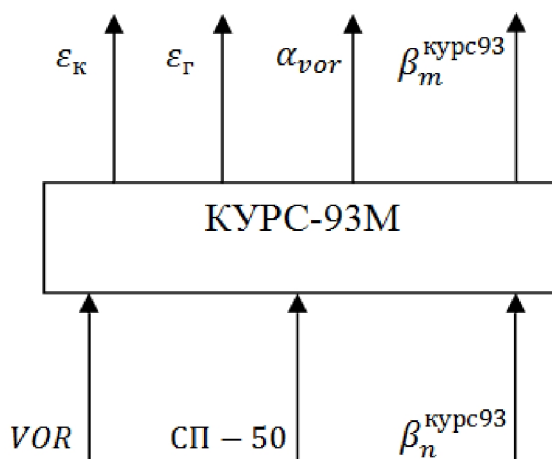


Рисунок 2.10 – образующая Курс-93М

При совместной работе эти системы (образующие) решают следующие задачи:

1. Стабилизация барометрической высоты полёта;
2. Стабилизация пространственного положения самолёта по углам курса (φ), крена (γ) и тангажа (θ);
3. Полёт по заданной траектории с выполнением координированных разворотов;
4. Заход на посадку в автоматическом режиме по сигналам VOR;
5. Определение, текущего курса высоты, скорости, текущих координат и других параметров полёта.

Образующие модули ПНК объединяются в конфигурации. Объединение выполняется по функциональным связям образующих. Полученные конфигурации графически представляются в виде графов. Для ПНК самолёта АН-140 граф функционирования G ПНК представлен на рисунке 2.11.

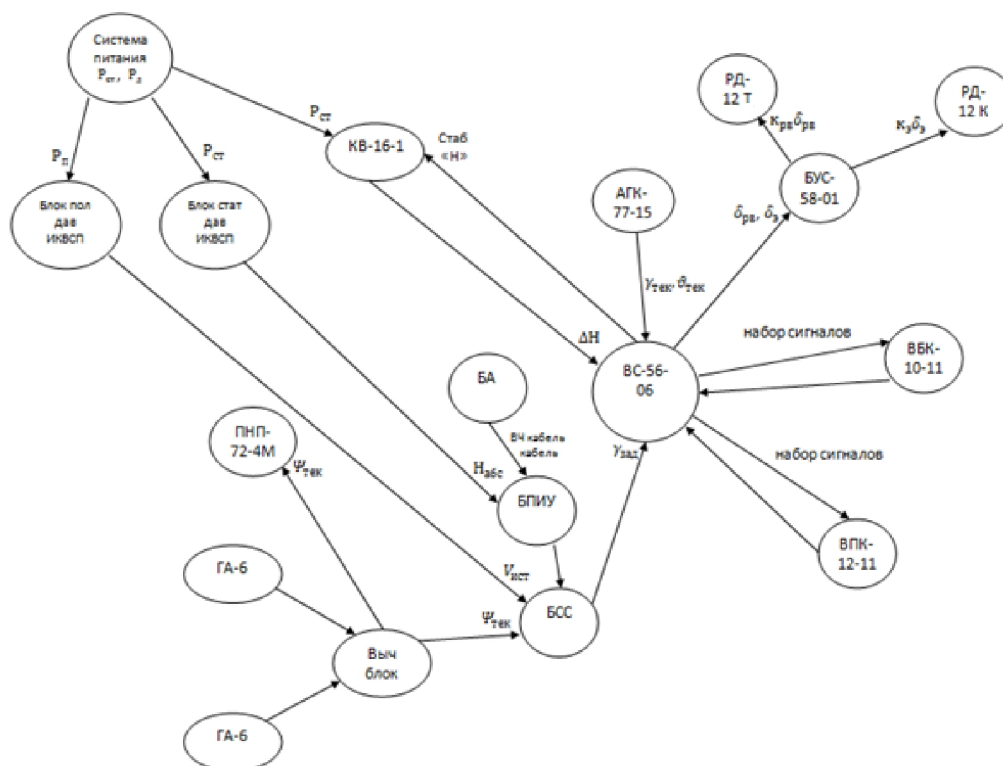


Рисунок 2.11 - Функциональный граф ПНК самолёта АН-140

Для детального анализа функционирования реальных агрегатов и систем ПНК при решении конкретных задач пилотирования и навигации в работе выделяются сильные компоненты графа G , представляемые порождёнными подграфами

$$G' = \{A^0 - R(a_k^0) \cap Q(a_k^0)\}, \quad (2)$$

где a_k^0 - k -й модуль из множества A^0 , $R(a_k^0)$, $Q(a_k^0)$ - соответственно достижимое и контрадостижимое множество модуля a_k^0 . Выражение (2) определяет состав модулей G' . Для определения функциональных связей между модулями решено уравнение, представляющее из себя зависимость между сильными компонентами G' и конечными ориентированными простыми цепями c_ν , формально описываемыми линейной формой $c_\nu = \sum_{v=1}^{\gamma} m_\nu a_\nu^0$:

$$\bigcup_n \{A^0 - R(a_k^0) \cap Q(a_k^0)\} = \sum_n \left\{ \sum_{v=1}^{\gamma} m_\nu a_\nu^0 \right\}, \quad (3)$$

где a_ν^0 - ν -я цепь графа G , m_ν - характеристика ν -й цепи графа G , γ - количество цепей.

Уравнение (3) использовано в качестве базового соотношения для целей детального анализа функционирования агрегатов и систем ПНК при решении выделенных пилотажно-навигационных задач.

Для решения уравнения (3) использован матричный метод. Матрицы достижимости R и контрадостижимости Q построены на графе ПНК. Эти матрицы, связанные между собой отношением ортогональности, позволяют путём поэлементного умножения получить разбиение $R \otimes Q = \delta_{ij}$, которое путём транспонирования строк и столбцов преобразуется в блочно-диагональную матрицу.

$$\delta_{ij} =$$

	1	3	...	n
1	$(\delta_{\alpha\beta})_1$	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	$(\delta_{\alpha\beta})_3$	0	0
...	0	0	...	0
n	0	0	0	$(\delta_{\alpha\beta})_n$

Рисунок 2.11 – Блочно-диагональная матрица

Общий вид полученной блочно-диагональной матрицы представлен на рисунке 2.11. Элементы главной диагонали $(\delta_{\alpha\beta})_i$ представляют из себя подматрицы, соответствующие графам введённых конфигураций – режимов функционирования ПНК.

Полученные графы конфигураций режимов для разных режимов функционирования рассмотрены ниже.

2.2.1 Стабилизация барометрической высоты полёта

Режим стабилизации высоты применяется при горизонтальном крейсерском полёте на заданной высоте. Для решения подобной задачи из всего комплекса задействованы система питания статическим давлением, система автоматического управления полётом.

Конфигурация режима стабилизации высоты представлена на рисунке 2.12.

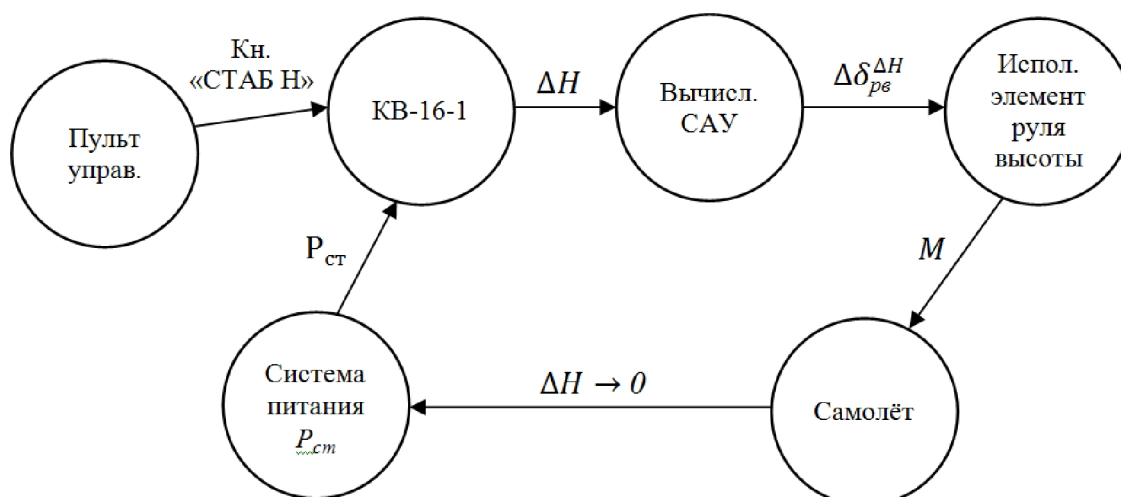


Рисунок 2.12 – Конфигурация режима стабилизации заданной высоты полёта

Статическое давление отбирается приёмниками давлений и подаётся в корректор высоты КВ-16-1, входящий в состав САУ. Внутри КВ-16-1 имеется мембрана, в полость

которой поступает воздух с текущим статическим давлением. Степень расширения мембраны, преобразованная в электрический сигнал, характеризует величину давления. Режим стабилизации высоты включается нажатием кнопки «СТАБ. Н». При этом текущая степень расширения мембраны принимается за точку отсчёта (нулевое положение). Любое дальнейшее изменение размеров мембраны, так же преобразованное в электрический сигнал, определяет величину отклонения от заданной высоты ΔH . Электрический сигнал, пропорциональный ΔH , из КВ-16-1 поступает на вход вычислителя САУ и входит в закон управления по каналу руля высоты составляющей:

$$\Delta \delta_{рв}^{\Delta H} = k \cdot \Delta H, \quad (2.13)$$

где $\Delta \delta_{рв}^{\Delta H}$ - отклонение руля высоты, в град.;

k – коэффициент пропорциональности.

Руль высоты создаёт момент $M = f(\Delta \delta_{рв}^{\Delta H})$ вокруг оси OZ . Обратная связь осуществляется через самолёт. По мере приближения самолёта к заданной высоте (уменьшения величины ΔH) параметр $\delta_{рв}^{\Delta H}$ стремится к нулю.

2.2.2 Стабилизация пространственного положения самолёта по углам курса, крена и тангажа

Данный режим предназначен для стабилизации самолёта относительно двух осей OX , OY . Причём по оси OX самолёт принимает нулевое положение, по оси OY – положение на момент входа в режим стабилизации. Конфигурация режима представлена на рисунке 2.12.

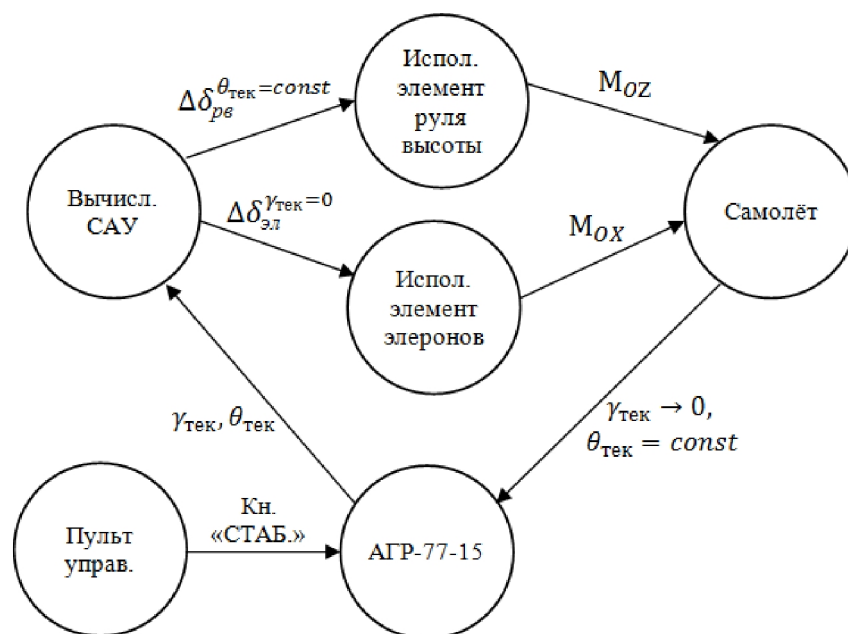


Рисунок 2.12 - Конфигурация режима стабилизации пространственного положения самолёта

Для решения данной задачи из всего комплекса задействована система САУ-28-02. Режим запускается нажатием кнопки «СТАБ.» на пульте управления ПУ-46. После

этого сигналы о текущих значениях углов крена ($\gamma_{\text{тек}}$) и тангажа ($\theta_{\text{тек}}$), определяемые авиагоризонтом АГР-77-15, поступают в вычислитель САУ. Вычислитель обрабатывает два этих сигнала по следующим условиям:

$$\Delta\delta_{\text{рв}}^{\theta_{\text{тек}}=\text{const}} = f(\theta_{\text{тек}}); \quad (2.14)$$

$$\Delta\delta_{\text{эт}}^{\gamma_{\text{тек}}=0} = f(\gamma_{\text{тек}}). \quad (2.15)$$

где: $\Delta\delta_{\text{рв}}^{\theta_{\text{тек}}=\text{const}}$ - отклонение руля высоты, формируемое по условию $\theta_{\text{тек}} = \text{const}$;

$\Delta\delta_{\text{эт}}^{\gamma_{\text{тек}}=0}$ - отклонение элеронов, формируемое по условию $\gamma_{\text{тек}} = 0$.

В соответствии с сигналами вычислителя элероны и руль высоты создают моменты $M_{\text{сх}}$, $M_{\text{оз}}$ относительно соответствующих осей. Самолёт совершает эволюции, что сказывается на выходных сигналах АГР-77-15.

2.2.3 Полёт по заданной траектории с выполнением координированных разворотов

Автоматическое пилотирование по заданной траектории является сложной задачей, в решении которой задействованы практически все составляющие пилотажно-навигационного комплекса. Конфигурация режима изображена на рисунке 2.13.

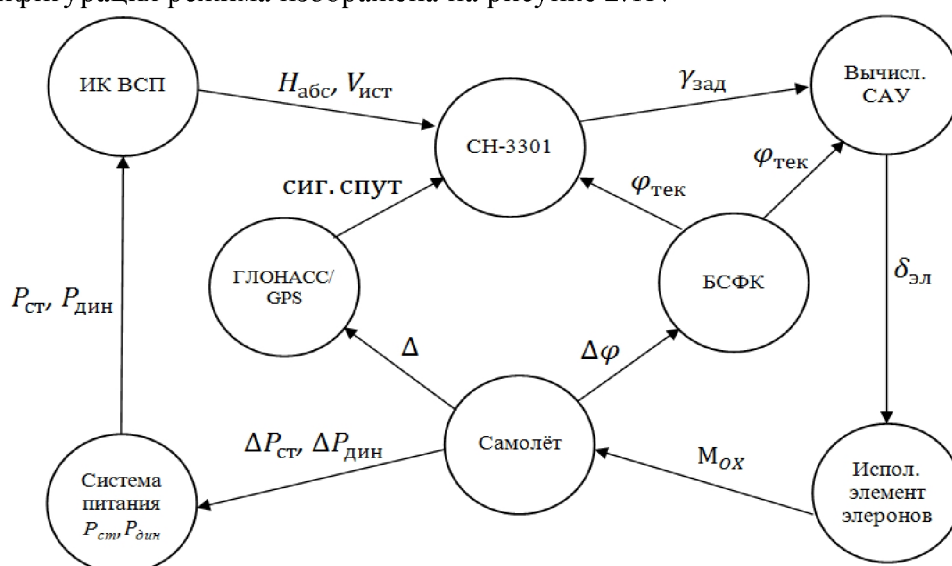


Рисунок 2.13 - Конфигурация режима стабилизации на линии заданного пути

В рамках решения поставленной задачи системы ПНК взаимодействуют следующим образом. Траектория полёта со всеми промежуточными пунктами предварительно программируется в бортовой системе приёма спутниковой навигационной информации СН-3301 (рис 2.14).

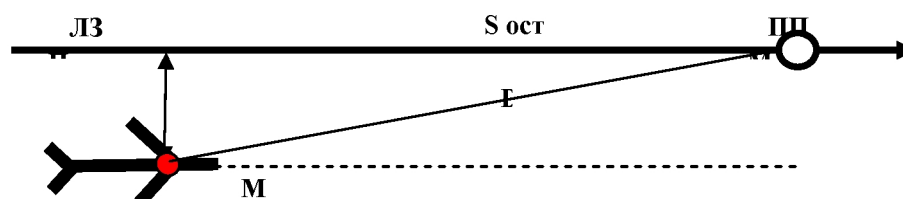


Рисунок 2.14 – Полёт по линии заданного пути.

- Z – линейное боковое отклонение
- Sост – оставшееся расстояние по ЛЗП до текущего ППМ
- МС – место самолета
- D – дальность от текущего места самолета до ППМ

По сигналам СНС ГЛОНАСС и GPS, а также используя значение истинной воздушной скорости ($V_{ИТС}$) от системы ИК ВСП и текущего курса ($\varphi_{ТСК}$) от БСФК, аппаратура СН-3301 формирует и выдаёт в САУ сигнал заданного угла крена $\gamma_{зад}$:

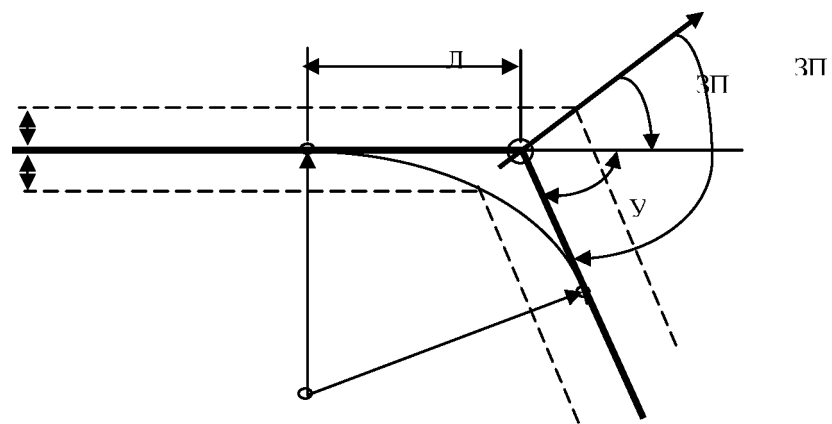
$$\gamma_{зад} = f(z, \dot{z}, (\Delta ЗПУ = \varphi_{ТСК} \mp \beta - ЗПУ)), \quad (2.16)$$

где: $\dot{z} = W_x$ – составляющая вектора путевой скорости;

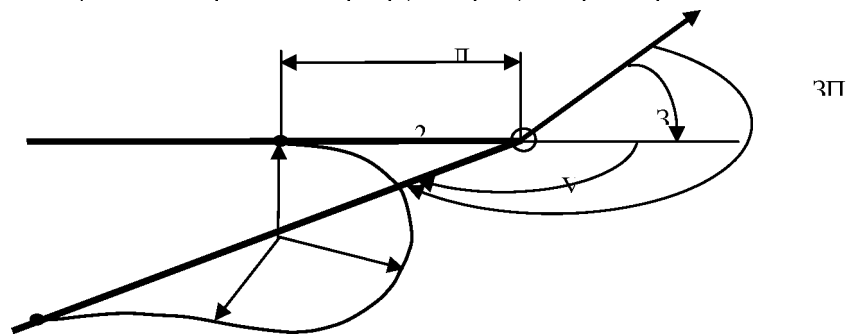
β - угол сноса.

Получая значение $\gamma_{зад}$, вычислитель САУ определяет закон управления по каналу крена $\delta_{эл} = f(\gamma_{зад})$. Самолёт совершает эволюции, приводящие к возврату на траекторию полёта, определяя тем самым обратную связь всего процесса регулирования.

Осуществление координированных разворотов осуществляется аналогично в рамках закона управления по каналу крена и подразделяется на два типа: разворот на угол $\leq 130^\circ$ (рис. 2.15 а) и разворот на угол $> 130^\circ$ (Рис. 2.15 б).



а) смена отрезков маршрута при угле разворота $< 130^\circ$



б) смена отрезков маршрута при угле разворота $> 130^\circ$

Рисунок 2.15 – Схема выполнения разворотов

Обозначения на рисунке 2.15 имеют следующую расшифровку:

- А - точка начала разворота;
- В - точка на линии фактического пути;
- С - точка окончания разворота;
- Д - промежуточный ПМ;
- ДС - новый отрезок маршрута;
- b - полуширина воздушной трассы;
- ЛУР - линия упреждения разворота;
- R - радиус дуги разворота;
- УР - угол разворота $УР = ЗПУ_N - ЗПУ_K$;
- N - направление на север;
- ЗПУ_к - заданный путевой угол отрезка маршрута «АД»;
- ЗПУ_н - заданный путевой угол отрезка маршрута «ДС».

При углах разворота более 130° ЛУР составляет два радиуса разворота, определяемые истинной воздушной скоростью, максимально возможным углом крена, направлением и скоростью ветра. Вывод самолёта на следующий отрезок маршрута осуществляется по специальной траектории:

- разворот с максимально возможным креном по окружности радиуса R;
- полет с нулевым креном под углом 45° к ЛЗП;
- доворот для плавного выхода на ЛЗП.

2.2.4 Заход на посадку в автоматическом режиме по сигналам VOR

В данном режиме самолёт выполняет координированный выход на глиссаду и заход на посадку посредством сигналов посадочных маяков VOR, принимаемых бортовой аппаратурой КУРС-93м. Конфигурация режима изображена на рисунке 2.16.

Сигналы ϵ_K и ϵ_T подаются на вход вычислителя САУ для обработки, и на ПНП-72-14 для индикации пилоту. Вычислитель САУ формирует закон отклонения рулей:

$$\Delta\delta_{\text{эл}}^{\text{VOR}} = f(\epsilon_K); \quad (2.17)$$

$$\Delta\delta_{\text{рв}}^{\text{VOR}} = f(\epsilon_T). \quad (2.18)$$

Далее, аналогично рассмотренному выше, осуществляется обратная связь через самолёт.

Рассматривая формализмы нужно понимать, что полученное изображение поставлено в соответствие реальному комплексу бортового электрофицированного оборудования, характеризующегося структурой соединений и расположением в монтажном пространстве, а так же параметрами, изменяющимися во времени и определяющими текущее состояния объекта.

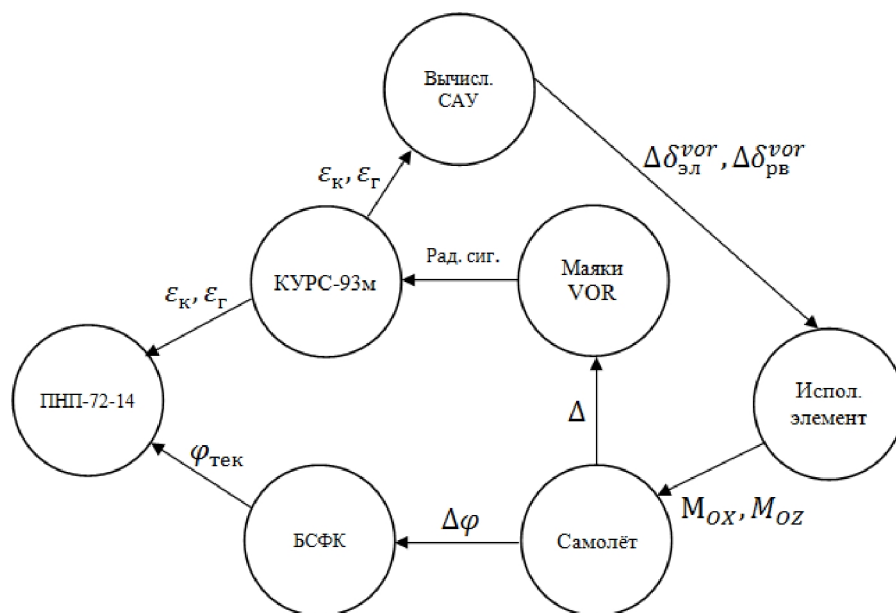


Рисунок 2.16 – Конфигурация режима посадки VOR

Сформированный на данном этапе образ ПНК характеризует только статическое состояние системы, чего не достаточно для целей контроля и диагностики. Для введения в модель ПНК динамики рассматриваются пространственно временные образующие.

2.3 Пространственно – временной образ модели пилотажно-навигационного комплекса

При составлении образов любых систем бортового комплекса оборудования очевидно, что в составе полного изображения [19] временным изменениям подвержены только показатели связи введенных образующих:

$$\beta_{ij} = f(t).$$

В рамках задачи контроля и диагностики предполагается, что именно полное множество показателей связи $\beta_{ij} \in B$ характеризует состояние всего образа.

Из выше сказанного следует, что для представления ПНК в виде динамической системы необходимо вводить дополнительные условия, определяющие временные отношения оптимального множества показателей связи B .

Таким образом, введём дополнительное условие: $X = R^3 \times R^t$, где R^t – пространство времени. В новом опорном пространстве R^t будем рассматривать полное множество показателей связи B как множество временных образов. То есть каждый показатель связи β_{ij} представим в виде временного образа.

Любой показатель связи (например - электрический ток), рассматриваемый как функция времени, может находиться в трёх основных состояниях (рис. 2.18): возрастать по произвольному закону $f_{воз}(t)$, убывать по произвольному закону $f_{уб}(t)$, остаётся неизменным во времени на текущем уровне $f(t) = const$.

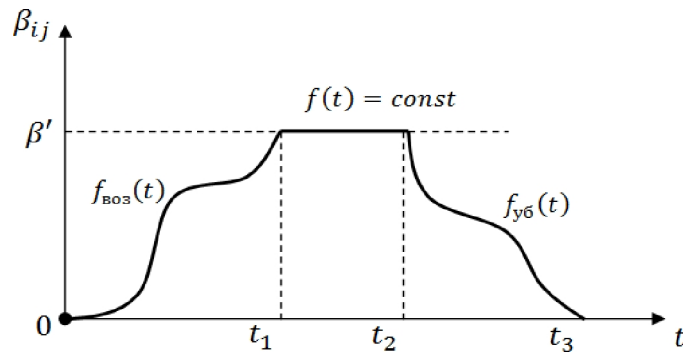


Рисунок 2.18 – Состояния показателя связи

В целях синтеза временного образа введём три новых вида образующих и рассмотрим их свойства.

1. $g_i^{up}(f_i^{up}(t), \tau_i^{up})$ – интерпретация увеличения, возрастания значения показателя связи β_i по отношению к исходному состоянию. Данная образующая характеризуется двумя признаками: $f_i^{up}(t)$ - функция времени, определяющая характер процесса восстановления. В качестве $f_i^{up}(t)$ может выступать любая возрастающая функция, в том числе и скачок. Второй признак τ_i^{up} характеризует длительность процесса возрастания в каких-либо единицах времени.

2. $g_i^{dow}(f_i^{dow}(t), \tau_i^{dow})$ – интерпретация уменьшения, снижение значения β_i от уровня исходного состояния. Образующая g_i^{dow} является противоположной в отношении образующей g_i^{up} и характеризуется аналогичными признаками: – законом $f_i^{dow}(t)$ и длительностью τ_i^{dow} процесса уменьшения.

Причём функции $f_i^{up}(t)$ и $f_i^{dow}(t)$ никак не связаны друг с другом и могут быть абсолютно разными.

Двух введенных образующих не достаточно для формирования конфигурации временного образа. Не хватает ключевого звена – точки начала отсчёта, стартового уровня, характеризующего текущее положение показателя связи β_i . Эту роль выполняет образующая:

3. $g_i^{con}(Y_i, \tau_i^{con})$, признаками которой являются длительность неизменного состояния τ_i^{con} , Y_i - текущее значение, существующее в течении времени τ_i^{con} и являющееся значением показателя связи.

Для описания временных образующих $g_i^{up}, g_i^{dow}, g_i^{con}$ рассмотрены только их признаки. Определение же их связей $\omega(g_i^{up}), \omega(g_i^{dow}), \omega(g_i^{con})$ станет очевидным после формирования на базе этих образующих обобщённого представления временной конфигурации (Рис. 2.19).

Любой процесс начинается с исходного положения Y_1 , которое существовало сколько угодно долгое время τ_1^{con} (образующая g_1^{con}). Далее наступает изменение Y_1 либо в сторону увеличения по закону $f_1^{up}(t)$, либо в направлении уменьшения по закону $f_1^{dow}(t)$. По истечению времён соответственно либо τ_1^{up} , либо τ_1^{dow} параметр Y_1 приобретает новое значение Y_2 , в котором будет находиться в течении времени τ_2^{con} (образующая g_2^{con}).

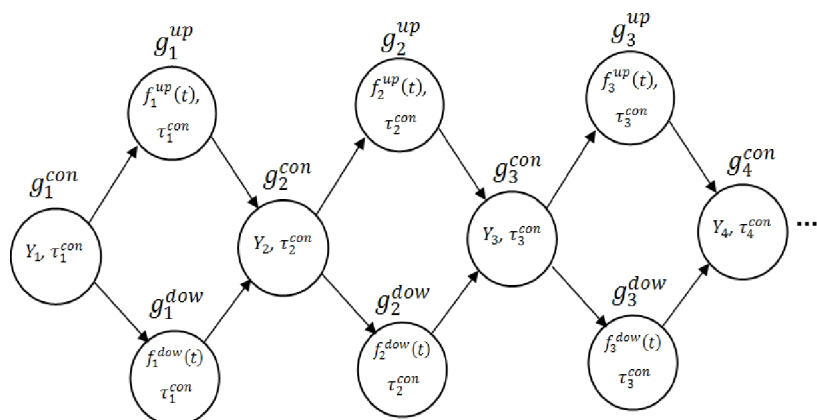


Рисунок 2.19 - Обобщённое представление временной конфигурации

На следующей итерации фигурантами подобного процесса выступают образующие g_2^{up} , g_2^{dow} , g_3^{con} и т. д.

В общем случае при $t \rightarrow \infty$ временная конфигурация (Рис. 2.19) устремляется в бесконечность:

$$\sum_{i=0}^{\infty} (\tau_i^{up} + \tau_i^{dow} + \tau_i^{con}) = \infty. \quad (2.19)$$

В частных случаях конфигурация (Рис. 2.19) имеет количество из n итераций, в рамках которых завершается представляемое действие, происходящее в течении времени τ_n :

$$\sum_{i=0}^n (\tau_i^{up} + \tau_i^{dow} + \tau_i^{con}) = \tau_n. \quad (2.20)$$

Таким образом, на опорном пространстве времени R^t мы получили множество временных образующих G^t :

$$G^t = G_{up}^t \cup G_{dow}^t \cup G_{con}^t$$

где: $G_{up}^t = \{g_1^{up}, g_2^{up}, g_3^{up}, \dots, g_n^{up}\}$ – множество образующих, определяющее общую тенденцию роста;

$G_{dow}^t = \{g_1^{dow}, g_2^{dow}, g_3^{dow}, \dots, g_n^{dow}\}$ – множество образующих, определяющее общую тенденцию снижения;

$G_{con}^t = \{g_1^{con}, g_2^{con}, g_3^{con}, \dots, g_n^{con}\}$ - множество образующих, определяющее

общее состояние покоя.

Рассмотрим несколько примеров:

1. Пилообразные импульсы.

Пусть генерируются пилообразные импульсы (Рис. 2.20).

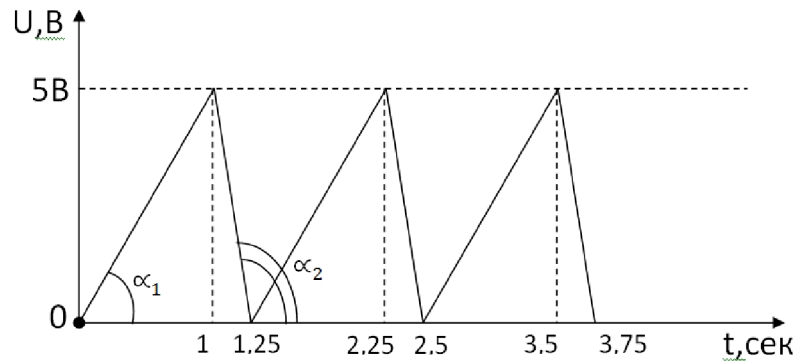


Рисунок 2.20 – Пилообразные импульсы

В этом случае признаки временных образующих примут следующие значения:

- Первая итерация:

$$g_1^{con} : Y_1 = 0, \tau_1^{con} = 0;$$

$$g_1^{up} : f_1^{up}(t) = tg \alpha_1 \cdot t, \tau_1^{up} = 1 \text{ сек.};$$

$$g_1^{dow} : f_1^{dow}(t) = 0, \tau_1^{dow} = 0.$$

- Вторая итерация:

$$g_2^{con} : Y_2 = 5В, \tau_2^{con} = 0;$$

$$g_2^{up} : f_2^{up}(t) = 0, \tau_2^{up} = 0 \text{ сек.};$$

$$g_2^{dow} : f_2^{dow}(t) = tg \alpha_2 \cdot t, \tau_2^{dow} = 0,25 \text{ сек.}$$

Так как импульсы периодические, то последующие итерации аналогичны.

2. Псевдослучайный код.

Пусть генерируется псевдослучайная последовательность импульсов (Рис. 2.21).

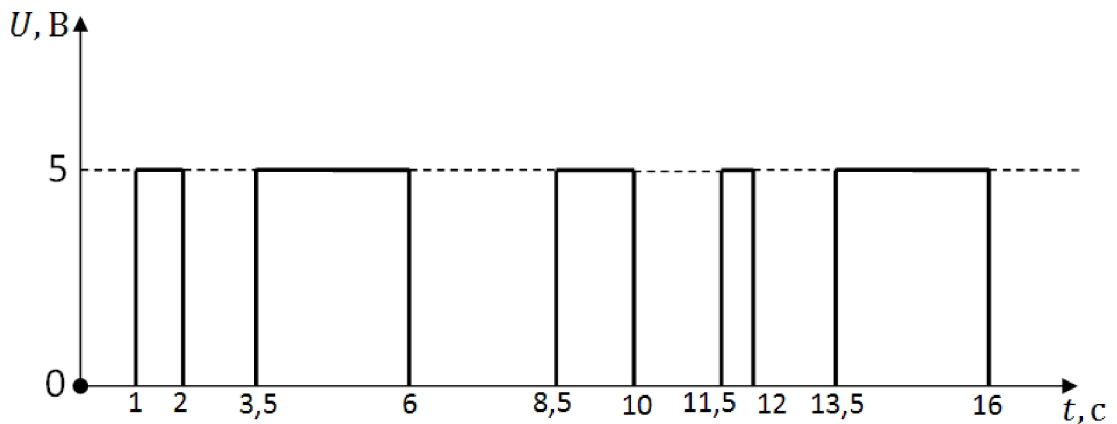


Рисунок 2.21 – Псевдослучайная последовательность

В этом случае признаки временных образующих примут следующие значения:

- Первая итерация:

$$g_1^{con} : Y_1 = 0, \tau_1^{con} = 1 \text{сек.};$$

$$g_1^{up} : f_1^{up}(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t \in (-\infty; 1) \cup (1; +\infty) \\ 5\text{В}, & \text{при } t = 1 \end{cases}, \tau_1^{up} = 0;$$

$$g_1^{dow} : f_1^{dow}(t) = 0, \tau_1^{dow} = 0.$$

- Вторая итерация:

$$g_2^{con} : Y_2 = 5\text{В}, \tau_2^{con} = 1 \text{сек.};$$

$$g_2^{up} : f_2^{up}(t) = 0, \tau_2^{up} = 0 \text{сек.};$$

$$g_2^{dow} : f_2^{dow}(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t \in (-\infty; 2) \cup (2; +\infty) \\ 5\text{В}, & \text{при } t = 2 \end{cases}, \tau_2^{dow} = 0.$$

Данное представление сигналов является обобщенным, универсальным и позволяет описывать сигналы любой природы, не обладающие единой функциональной зависимостью на всём интервале времени.

Сочетание обобщённой временной конфигурации (рис.2.19) и конфигураций отдельных режимов ПНК (Рис. 2.11, 2.12, 2.13, 2.16) в единый пространственно-временной образ позволяет создать динамическую модель ПНК, отражающую динамику функционирования комплекса в реальных условиях.

Например, для сигнала заданного крена $Y_{зад}$ временная конфигурация изображена на рисунке 2.22.

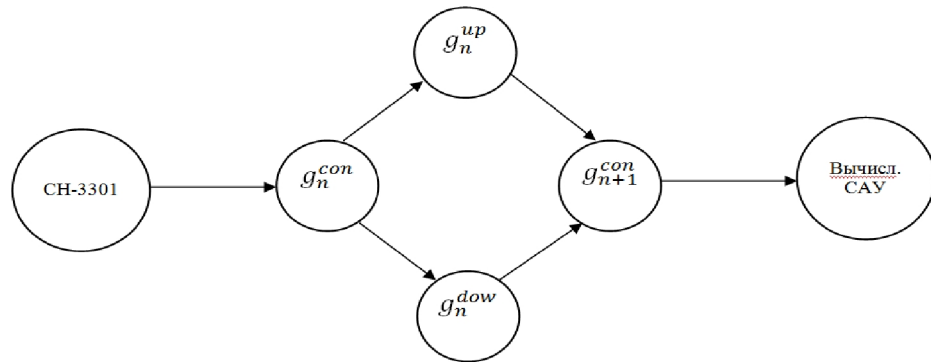


Рисунок 2.22 – Временная конфигурация сигнала заданного угла крена $Y_{зад}$

Сигнал $Y_{зад}$ для выполнения автоматического полета по заданному маршруту в виде напряжения постоянного тока, изменяющийся в пределах от минус 10 до плюс 10 В на нагрузке не менее 1 кОм, для управления креном ВС в диапазоне от минус 30 до плюс 30° с крутизной не более 0,33 В/град.

В этом случае множествам G_{con}^t , G_{up}^t , G_{dow}^t присвоятся значения:

$$g_n^{con} \in G_{con}^t : Y_n = Y_{зад}, \tau_n^{con} = \sum_{i=1}^n \tau_i^{con};$$

$$g_n^{up} \in G_{up}^t : f_n^{up}(t) = f(z, \dot{z}, \Delta ЗПУ = \varphi_{тек} \mp \beta - ЗПУ), \tau_n^{up} = \sum_{i=1}^n \tau_i^{up};$$

$$g_n^{dow} \in G_{dow}^t: f_n^{dow}(t) = f(z, \dot{z}, \Delta ЗПУ = \varphi_{тек} \mp \beta - ЗПУ), \tau_n^{dow} = \sum_{i=1}^n \tau_i^{dow}.$$

Рассматривая, таким образом, полный набор пилотажно-навигационных задач, формируя для каждой из них временные конфигурации, можно получить пространственно-временной образ ПНК, являющегося основой для построения диагностической модели. Моделирование предполагается осуществлять в среде графического программирования Lab.View, используя аппаратные средства компании National Instruments.

Полученная в результате аппаратно-програмная модель способна имитировать динамическую работу ПНК и может быть использована для динамической оценки реального ПНК, при его контроле и диагностике в наземных условиях.

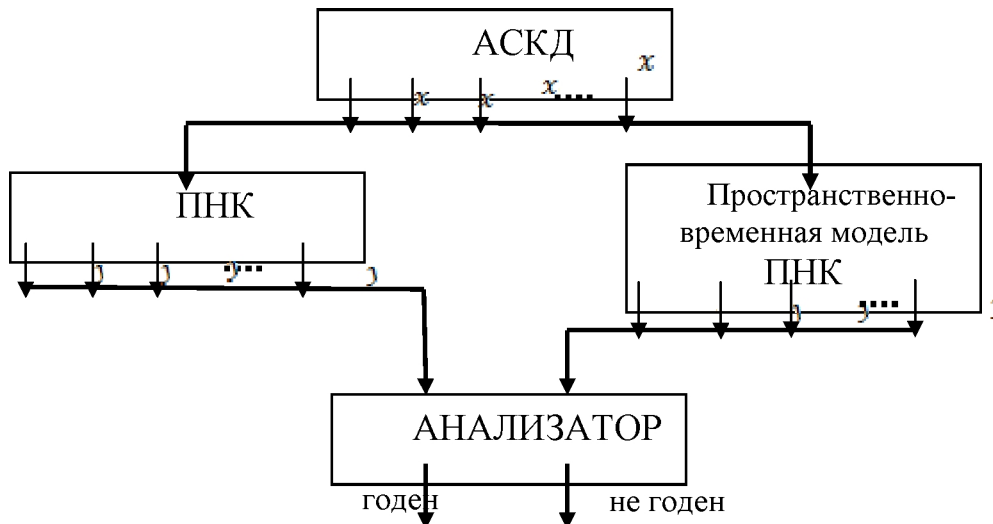


Рисунок 2.23 – Общая постановка задачи технической диагностики с применением модели ПНК

С общих позиций задачи диагностики можно свести к следующей постановке (Рис.2.23). Аппаратные средства контроля и диагностики (АСКД), скомплектованные в единый проверочный комплекс, имеющий в своём составе все необходимые элементы, обеспечивающие формирование и подачу оптимального множества X воздействий:

$$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}. \quad (2.21)$$

Множество X в виде электрических сигналов подаётся на вход проверяемых систем и блоков ПНК и на вход синтезированной в виде пространственно-временного образа аппаратно-програмной модели ПНК, сформированной на базе платформ PXI National Instruments. Составляющие множества X определяются в каждом отдельном случае исходя из конкретных задач диагностики.

Отрабатывая входные сигналы системы и блоки ПНК формируют множество

$$Y^r = \{y_1^r, y_2^r, y_3^r, \dots, y_m^r\} \quad (2.22)$$

выходных сигналов. Так же пространственно – временная модель, испытывая деформации [1], формирует на выходе платформы PXI сигналы:

$$Y^{tm} = \{y_1^{tm}, y_2^{tm}, y_3^{tm}, \dots, y_m^{tm}\}, \quad (2.23)$$

соответствующие идеальной реакции полностью исправного ПНК.

Далее множества всех сигналов Y^r и Y^{tm} сравниваются в анализирующем устройстве, которое выполняет операцию:

$$y_i^r - y_i^{tm} > A_1,$$

$$y_2^r - y_2^{lim} > A_2, \quad (2.24)$$

$$y_m^r - y_m^{lim} > A_m,$$

где A_i - пороговое значение, заданное для каждого контролируемого параметра технической документацией на объект контроля и диагностики.

В случае выполнения всех неравенств системы и блоки ПНК считаются исправными. Если хотя бы одно неравенство не выполняется, выдаётся сигнал о неисправности.

Подобный алгоритм контроля и диагностики обладает большой гибкостью и функциональностью, так как разработчик диагностических тестов в праве сам выбирать состав множество исходных воздействий X . При этом на базе одних и тех же АСКД, используя различные модели, можно выполнять как оперативные тесты, так и полную динамическую диагностику современных пилотажно-навигационных комплексов.

3. МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ И НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Формальное исследование задач диагностирования предполагает наличие формального описания (модели) ОД. При этом многие постановки и решения важнейших задач технической диагностики предполагают задание множества допустимых неисправностей и их модели.

Обычно под неисправностью понимают некоторую модель физических дефектов в ОД. Как правило каждой неисправности можно поставить в соответствие некоторое изменение связей или параметров элементов электрической схемы ОД. Например, часто в качестве допустимых рассматриваются неисправности типа обрывов и коротких замыканий, выход коэффициента усиления усилителя за пределы заданного допуска, наличие постоянно уровня логической единицы или нуля на выводе цифровой микросхемы и т.д.

Обычно модель неисправности зависит от элементной базы ОД, а также от используемой модели ОД. Так, для ОД, содержащих реле, резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы и т. п. в качестве неисправностей рассматривают обрывы и короткие замыкания проводников и полупроводниковых переходов, отклонения параметров элементов схемы за пределы установленных допусков и т. п. В одной из методик построения тестов микропроцессорных устройств (с использованием функциональной модели ОД) при неисправности механизма выборки регистра происходит перенос данных от источника не в заданный регистр, а в некоторое произвольное множество регистров; неисправности механизма адресации приводят к пропаданию, сдвигу во времени, а также к выработке неправильных управляющих сигналов и т. п.

Математическая модель ОД может быть задана в явном или неявном виде.

Явная модель ОД представляет собой совокупность формальных описаний исправного объекта и всех (точнее, каждой из рассматриваемых) его неисправных модификаций. Для удобства обработки все указанные описания желательно иметь в одной и той же форме.

Неявная модель ОД содержит какое-либо одно формальное описание объекта, математические модели его физических неисправностей и правила получения по этим данным всех других интересующих нас описаний. Чаще всего заданной является математическая модель исправного объекта, по которой можно построить модели его неисправных модификаций.

Общие требования к моделям исправного объекта, а также к моделям неисправностей состоят в том, что они должны с требуемой точностью описывать представляемые ими объекты и их неисправности. В неявных моделях объектов диагностирования модели неисправностей, кроме того, должны удовлетворять требованию удобства их “сопряжения” с имеющимся описанием объекта и тем самым обеспечить достаточно простые правила получения других описаний объекта.

Исправный или неисправный объект может быть представлен как динамическая система, состояние которой в каждый момент t определяется значениями входных,

внутренних и выходных координат. Частным является случай, когда состояние объекта не зависит от времени.

Объекты, все сигналы которых могут принимать значения из континуальных множеств значений, отнесем к классу аналоговых (непрерывных) объектов. К классу дискретных объектов причислим ОД, значения сигналов которых задаются на конечных множествах, а время отсчитывается дискретно. Если значения части контролируемых параметров ОД заданы на континуальных, а значения других – на конечных множествах, то объект является аналого-цифровым (гибридным).

Объекты называют комбинационными или объектами без памяти, если значения их выходов однозначно определяются только значениями их входов. Последовательностными, или объектами с памятью, называют объекты, у которых наблюдается зависимость значений их выходов не только от значений входов, но и от времени.

Принято различать одиночные и кратные неисправности. Под одиночной понимается неисправность, принимаемая в качестве элементарной, то есть такой, которая не может быть представлена совокупностью нескольких других, более “мелких” неисправностей. Кратная неисправность является совокупностью одновременно существующих двух или большего числа одиночных неисправностей.

Неисправности бывают устойчивые и неустойчивые. Среди неустойчивых выделяют, в частности, сбой и перемежающийся отказ.

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Сбой – самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора.

Перемежающийся отказ – многократно возникающий самоустраняющийся отказ одного и того же характера.

Внезапный отказ – отказ, характеризующийся скачкообразным изменением значений одного или нескольких параметров объекта.

Постепенный отказ – отказ, возникающий в результате постепенного изменения значений одного или нескольких параметров объекта.

Наиболее часто неисправности возникают из-за обрывов соединений и образования "ложных" перемычек при пайке. Эти дефекты практически не зависят от характеристик элементов и нарушают топологию схемы. Они должны выявляться и устраняться на первых этапах диагностирования. Дефекты, вызванные неисправными элементами, составляют небольшую долю. Это обусловлено, прежде всего, организацией надежного входного контроля комплектующих изделий. Необходимость входного контроля определяется тем, что современные печатные узлы содержат значительное число компонентов. Чем больше число компонентов, тем больше вероятность брака печатного узла по причине их неисправности. Если узел содержит 100 компонентов, то при тех же условиях, после сборки вероятность наличия хотя бы одного работоспособного устройства близка к нулю. Таким образом, ясно, что наличие большого числа компонентов на плате вызывает необходимость надежного входного контроля. Аналогичная ситуация возникает при сборке узлов и изделий РЭА, состоящих из нескольких печатных плат и коммутационных элементов объемного монтажа. С увеличением сложности ОД резко растут расходы на

диагностирование. Так, статистика показывает, что обнаружение места неисправности на печатной плате "стоит" в 100 раз дешевле, чем ее обнаружение при пуске у пользователя эксплуатируемого изделия.

Наиболее проработаны вопросы формирования множества допустимых неисправностей для ОД, выполняемых на цифровых интегральных схемах.

В качестве иллюстрации рассмотрим элемент НЕ-ИЛИ, принципиальная и логическая схема которого представлены на рисунке 3.1.

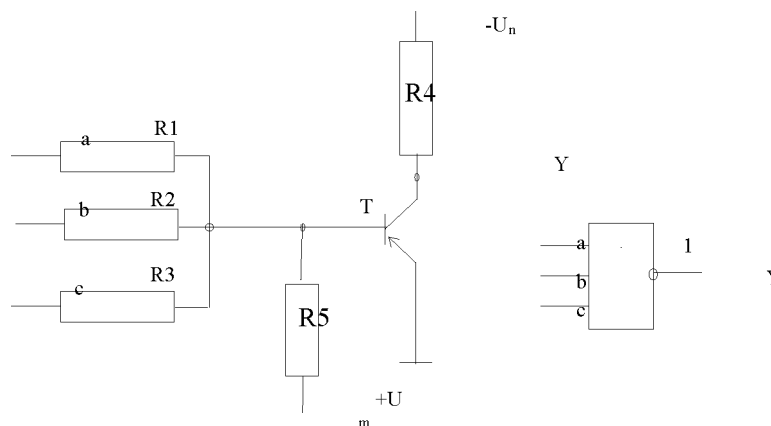


Рисунок 3.1 - Элемент НЕ-ИЛИ

Возможными физическими неисправностями элемента являются:

- 1) обрыв цепи эмиттера;
- 2) обрыв цепи базы;
- 3) обрыв цепи коллектора;
- 4) обрыв цепи резистора R4;
- 5) обрыв цепи резистора R5;
- 6) короткое замыкание между эмиттером и коллектором;
- 7) короткое замыкание между эмиттером и базой;
- 8) короткое замыкание между базой и коллектором;
- 9) обрыв цепи резистора R1;
- 10) обрыв цепи резистора R2;
- 11) обрыв цепи резистора R3.

Анализ функционирования элемента показывает, что наличие каждой неисправности 1, 2, 3 и 7 эквивалентно тому, что выход элемента зафиксирован константой 1; при каждой неисправности 4, 5, 6 и 8 – константой 0. Неисправности 9, 10 и 11 эквивалентны фиксации константой 0 входов a, b и c, соответственно.

Неисправности, при которых функционирование цифрового элемента можно описать, фиксируя в значениях 0 и 1 переменные функции исправного элемента, называют неисправностями "константного типа". Некоторые неисправности могут приводить к таким нарушениям в схемах, при которых существенно усложняется поиск их места.

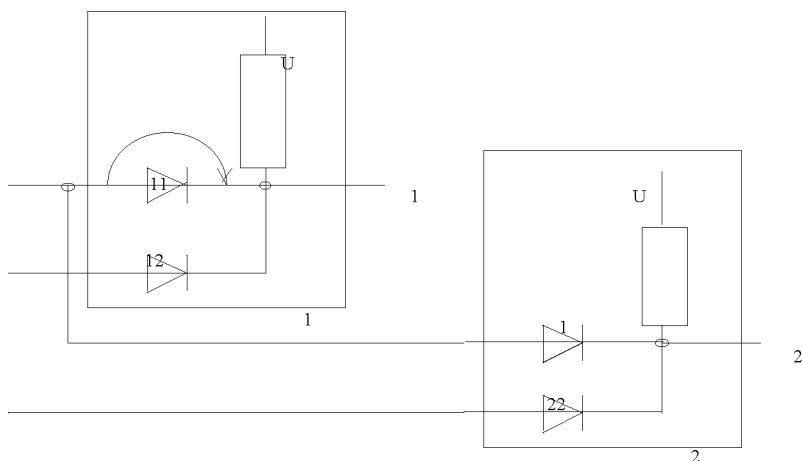


Рисунок 3.2 - неисправность "короткое замыкание" диода d11 элемента D1

Например, в схеме на рисунке 3.2 при неисправности "короткое замыкание" диода d11 элемента D1 она будет проявляться по выходу элемента D2, а не D1. При этом в исправной схеме $Y1 = avb$ и $Y2 = a v c$, а в неисправной схеме $Y1 = avb$ и $Y2 = avbvc$.

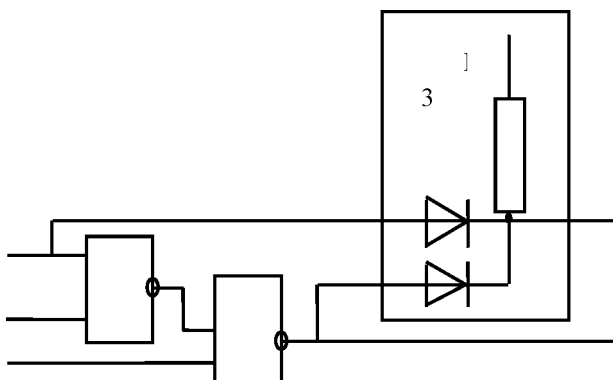


Рисунок 3.3 - Короткое замыкание диода d31 элемента D3

В схеме на рисунке 3.3 короткое замыкание диода d31 элемента D3 приведет к образованию обратной связи, то есть превращению схемы из комбинационной в последовательностную.

Большой объем ОК АЭС и ПНК составляют электросборки и кабельно-жгутовые изделия, которые отдельные блоки объединяют в системы и комплексы бортового оборудования.

Электросборка – это вид авиационного электрифицированного оборудования, разработка и создание которого ведётся непосредственно на авиазаводах с учётом конкретных особенностей конструкции и комплектации производимых ими типов ЛА.

К основным типам электросборок, устанавливаемых на борту ЛА, относятся:

- распределительные коробки;
- электрические панели;
- приборные доски;
- электрические щитки.

Распределительные коробки (РК) служат для распределения электрической энергии на борту ЛА. По сути РК являются центральным транзитным звеном в передаче электроэнергии от источников к потребителям. Другое назначение распределительных коробок – защита общей электросетевой сети от коротких замыканий в локальных сегментах, для чего каждый РК имеет набор предохранителей, обеспечивающих отключение от сети неисправных цепей. Кроме того, в зависимости от назначения РК могут содержать и другие элементы защиты, такие как БТТ, ДМР и некоторые другие. РК создаются специально под конкретные агрегаты, системы или комплексы систем и имеют название, связанное с их назначением, например, РК замков и защёлочек, РК РСБН и т.д.

Электрические панели и приборные доски служат для ручного управления различными системами ЛА, а также для измерения, индикации и мнемосигнализации основных контролируемых параметров. Так, например, на борту Ту-154М к числу таких электросборок относятся панель системы кондиционирования, панель контроля двигателей и др., кроме того, приборные доски (левая и правая), доска штурмана и др. При их изготовлении и расположении на борту ЛА немаловажную роль играет их эргономическая адаптация под условия постоянной работы с членами экипажа. Это заключается в удобстве управления, чёткости и информативности представляемых параметров и разовых сигналов, отсутствии чрезмерных психических и физических нагрузок на членов экипажа при длительном полёте и т.п.

Электрические щитки по своему назначению сходны с РК, однако, в отличие от них легко доступны и допускают возможность исправления неисправностей в полёте. Предназначены, как правило, для питания различного бытового оборудования, в т.ч. освещения салонов, перебои в работе которого не влияют на безопасность и параметры полёта. Примерами таких электросборок на Ту-154М являются щиток пожарной защиты, щиток освещения и наземной проверки, щиток бортпроводника и др.

Кроме перечисленных выше типов электросборок на борту имеются такие электросборки, как СПУ телефонов, переключатель микрофонов, «Микрон-3В», «ЭМ-203», пульт секторов газа, средний пульт лётчиков, верхний электрощиток бортинженера, козырёк средней приборной доски и т.д.

Среди всех электросборок, входящих в комплект оборудования самолёта Ту-154М, максимальным числом контрольных точек (используемых в работе контактно-соединителей) в количестве 816 обладает панель генераторов правая. Анализ функционирования таких ОК в целом очень сложная задача, поэтому их принципиальные схемы декомпозируют на простые функционально независимые модули и элементарные цепи, а затем их программируют для автоматического контроля и диагностирования неисправностей. Программа контроля функционирования ОК составляется в соответствии технологическими картами на контролируемый объект. Пример функционально независимого модуля панели энергоузла Ту-154М представлен на рисунке 3.4.

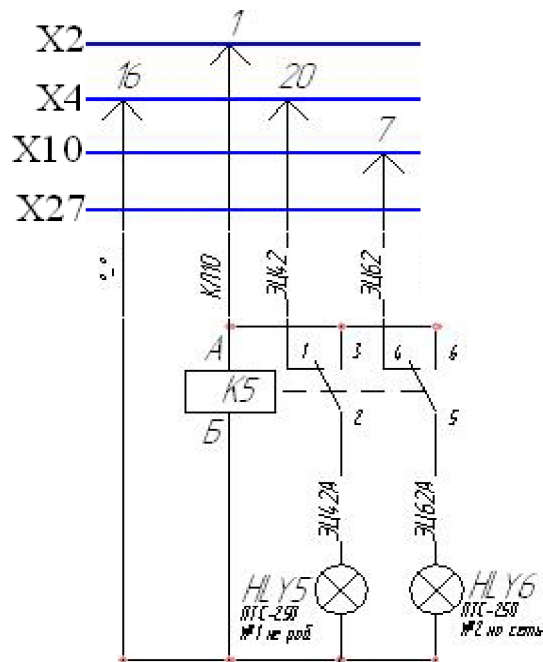


Рисунок 3.4 – Релейно-сигнальный функциональный модуль

Релейно-сигнальный модуль – это функциональный модуль, имеющий цепи управления, коммутации и сигнализации. Этот модуль можно протестировать несколькими кадрами контроля перебирая все возможные исправные и неисправные состояния. Техническое состояние данного функционального модуля проверяется путём подачи постоянного напряжения = 27В между точками А и Б управляющей обмотки реле. В этом случае управляемые контакты замыкаются на точки 3 и 6 соответственно, тем самым запитывая цепи сигнализации через объединение их с точкой реле А. При исправном ТС проверяемого модуля сигнальные лампы загораются и горят до тех пор, пока реле остаётся запитанным. Данный вариант проверки модуля используется при одновременном контроле всех ламп в момент нажатия и удерживания соответствующей кнопки на панели запуска ВСУ. На рисунке 3.5 изображен функционально независимый модуль с галетным переключателем и вольтметром.

Функциональный модуль, содержащий галетные переключатели и измерители (вольтметры, амперметры, частотомеры) требует более сложной программы контроля, состоящей из множества кадров. Каждый контрольный кадр в таком случае описывает один из вариантов комбинации положений галетных переключателей (ГП).

Помимо работоспособности ГП, составленная таким образом программа контроля проверяет целостность коммутируемых токоведущих цепей, запитанных предварительно напряжением через необходимые контрольные точки. Кроме того, дополнительную сложность в создание подобной программы контроля может вносить наличие в схеме модуля дополнительных реле коммутации цепей контроля, управляемых переключением тумблера. Программа контроля имеет существенные отличия для модулей, содержащих вольтметр, с одной стороны, и амперметр, с другой стороны.

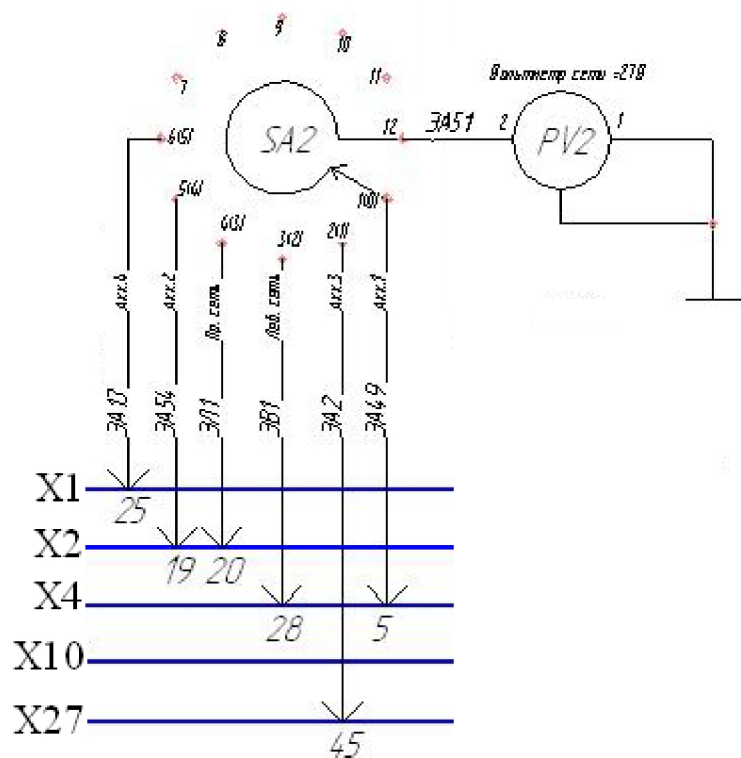


Рисунок 3.5 – Функциональный модуль с галетным переключателем и вольтметром

Данный тип функциональных модулей требует питания номинальным эксплуатационным напряжением ($=27\text{В}$, $\sim 115\text{В}$ или $\sim 36\text{В}$), так как вольтметр в диапазоне, близком к $U_{\text{НОМ}}$, имеет максимальную чувствительность и, как следствие, лучшую точность показаний. Непосредственная проверка ТС такого узла осуществляется визуальным контролем показаний вольтметра следующим образом:

- если при запитанном вольтметре его показания на нуле, то имеет место обрыв токоведущей цепи, либо неисправность галетного переключателя;
- если же присутствует недопустимое отклонение показаний вольтметра от величины заданного тестового напряжения, то вольтметр считается неисправным, снимается с электросборки и отправляется в лабораторию диагностирования и контроля ТС авиационных приборов.

Кроме того, вместе с вольтметром может также использоваться частотомер, который характеризуется аналогично выше сказанному с учётом $f_{\text{НОМ}} = 400\text{Гц}$.

4 ТАБЛИЦА ФУНКЦИЙ НЕИСПРАВНОСТЕЙ И ТАБЛИЦА НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Таблица функций неисправностей (ТФН) и таблица неисправностей (ТН) – это специальные формы представления поведения ОД в исправном и неисправном состояниях.

Методы решения задач диагностирования на основе ТФН и ТН довольно просты, но их построение требует значительных затрат вычислительных ресурсов. Методы на основе ТФН и ТН обычно целесообразно применять при средне- и крупносерийном производстве авиационной техники, когда может быть выделено ограниченное число возможных неисправностей, а затраты на подготовку необходимой информации окупаются за счет диагностирования большого числа однотипных объектов. Кроме этого ТФН и ТН очень наглядны и удобны для иллюстраций результатов теоретических исследований.

Кадр проверки	M_0			M_1			\dots			M_r		
	w_1	\dots	w_m	w_1	\dots	w_m				w_1	\dots	w_m
e_1	t_0^{11}		t_0^{1m}	t_1^{11}		t_1^{1m}				t_r^{11}		t_r^{1m}
\vdots												
\vdots												
\vdots												
e_n	t_0^{n1}		t_0^{nm}	t_1^{n1}		t_1^{nm}				t_r^{n1}		t_r^{nm}

Рисунок 4.1 – Структура таблицы функций неисправностей

ТФН содержит сведения о поведении исправного ОД, а также ОД с каждой из допустимых неисправностей. Структура ТФН приведена на рисунке 4.1. Она состоит из $r+1$ подтаблиц (далее матриц) M_0, M_1, \dots, M_r . Строки ТФН соответствуют отдельным входным воздействиям (кадрам проверки) последовательности $E = e_1, \dots, e_n$, которые подаются на ОД в процессе диагностирования.

Матрица M_0 задает поведение исправного ОД s_0 ; матрица M_i ($i = 1, \dots, r$) – поведение с неисправностью из множества $S = \{s_1, \dots, s_r\}$ допустимых неисправностей. Число столбцов каждой матрицы равно числу контролируемых параметров (КП), причем 1-й столбец сопоставлен w_1 из множества допустимых КП $W = \{w_1, \dots, w_m\}$. На пересечении k -й строки и l -о столбца матрицы M_i ($i = 0, 1, \dots, r$) проставляется допустимое значение t_i^{kl} параметра w_l на наборе e_k при диагностировании ОД, находящегося в техническом состоянии s_i . В случаях цифровых КП обычно значение $t_i^{kl} \in \{0, 1, x\}$, где $x = \{0, 1\}$; при аналоговых КП значение параметра – некоторый непрерывный интервал или номинальное значение. Для интервала обычно указываются значения его верхней и нижней границ. Иногда для задания значений аналоговых КП используется многозначный конечный алфавит, в котором каждому символу сопоставляется определенный интервал значений.

Входы	M ₀	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆
a b	s ₀₋ 0	S ₁₋ 1	s ₁₋ 0	s ₂₋ 1	s ₂₋ 0	s ₃₋ 1	s ₃₋ 0
0 0	0	0	0	0	0	1	0
0 1	0	1	0	0	0	1	0
1 0	0	0	0	1	0	1	0
1 1	1	1	0	1	0	1	0

Рисунок 4.2 - Таблица функций неисправностей для схемы из одного двухвходового цифрового элемента "И"

На рисунке 4.2 приведена ТФН для схемы из одного двухвходового цифрового элемента "И" в предположении, что у него возможны одиночные неисправности константного типа, то есть неисправности "константа 0" или "константа 1" на выводах элемента. Контролируемым выходом является вывод 3 элемента. В ТФН неисправность "константа 0(1)" на j-ом выводе обозначена s_{j-0(1)}.

В данном примере каждая матрица M_i (i = 0, 1, ..., 6) представляет один столбец, так как у элемента только один контролируемый выход (вывод 3).

Структура ТН дана на рисунке 4.3.

Она отличается от ТФН, во-первых, отсутствием матрицы, описывающей исправный ОД. Во-вторых, значение элемента \tilde{t}_i^{kl} в ее матрице \tilde{M}_i (i=1, ..., r) представляет собой результат сравнения элементов t_i^{kl} и t_o^{kl} из ТФН.

Проверки	\tilde{M}_1			\tilde{M}_r			
	w ₁	...	w _m	w ₁	...	w _m	
e ₁	\tilde{t}_1^{11}		\tilde{t}_1^{1m}			\tilde{t}_r^{11}	\tilde{t}_r^{1m}
.
.
.
e _n	\tilde{t}_1^{n1}		\tilde{t}_1^{nm}			\tilde{t}_r^{n1}	\tilde{t}_r^{nm}

Рисунок 4.3 – Структура таблицы неисправностей

Варианты кодирования результатов сравнения для аналогового КП более разнообразны. Так можно использовать трехзначный алфавит {0, 1, x}, присваивая \tilde{t}_i^{kl} значение 1, x или 0, если интервалы t_o^{kl} и t_i^{kl} не пересекаются, частично пересекаются

или все значения t_i^{kl} входят в t_o^{kl} . Можно \tilde{t}_i^{kl} присваивать значения 1, 2 или 0, если значения t_i^{kl} меньше, больше или входят в t_o^{kl} . Применяются и другие алфавиты.

Применение (в аналоговом случае) алфавитов с ограниченным числом символов для кодирования значений элементов матриц позволяет сократить объем ТФН и ТН.

Поиск неисправности. Для определения конкретной неисправности ОД выполняем следующие действия. Матрицу M_x поочередно сравниваем с каждой M_i , где $i = 1, \dots, r$. Если $M_x = M_i$, то неисправность s_i заносим в список подозреваемых неисправностей (СПН).

В этот СПН может попасть несколько неисправностей, при которых ОД имеет одну и ту же выходную реакцию. Так, в примере на рисунке 3.2 дают одинаковые выходные сигналы каждая из неисправностей s_{1-0} , s_{2-0} и s_{3-0} . Иными словами, при наличии, скажем, неисправности s_{2-0} в СПН попадут три неисправности: s_{1-0} , s_{2-0} и s_{3-0} .

Чтобы сократить объем ТФН и ТН неисправности с одинаковой выходной реакцией объединяются в группы эквивалентных неисправностей, а в ТФН и ТН под каждую такую группу формируется только одна матрица. Обычно оставляют неисправность, сопоставленную выходу элемента.

Поиск неисправности с использованием двоичной ТН выполняется аналогично. Единственное отличие состоит в том, что матрица M_x предварительно заменяется на матрицу $\tilde{M}_x = M_x \dot{\wedge} M_o$.

Для цифровых ОД с памятью часто применяют троичные ТФН и ТН с алфавитом $\{0, 1, x\}$. Они достаточно просты и в то же время позволяют учесть возможную неоднозначность поведения таких ОД.

В таблице 4.1 дан пример троичной ТФН для случая $E = e_1, e_2, e_3$; $W = \{w_1, w_2, w_3\}$ и $S = \{s_1, \dots, s_4\}$.

Таблица 4.1

E	M_o	M_1	M_2	M_3	M_4
e_1	1 0 x	0 0 1	0 0 1	1 0 1	0 0 1
e_2	x 1 1	x 1 1	1 1 1	1 1	1 x 1
e_3	0 x x	x x 1	0 1 1	0 x 1	x 1 1

Значение “x” обычно проставляется, если мы заранее не знаем, какое точно значение будет иметь КП. Например, состояния некоторых элементов памяти могут устанавливаться случайным образом и влиять на значения выходного сигнала или если имеют место состязания. Поэтому состояниям таких элементов целесообразно присвоить значения “x”.

5 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ И НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Существующие в настоящее время средства контроля состояния АЭС и ПНК - переносные амперметры, вольтметры или комбинированные ампервольтметры, омметры, мегомметры - позволяют обнаружить обрыв, короткое замыкание в электрической сети и значительные изменения качества ее изоляции. Но эти приборы и принятые методы контроля не дают возможности проследить последовательные изменения в состоянии электрической сети вследствие износа ее в процессе эксплуатации. Чаще всего они применяются для отыскания места неисправности и проверки состояния отдельных участков или элементов сети. Например, признаком недостаточно хорошего электрического контакта в точках болтового присоединения минусовых проводов являются следы перегрева и потемнение лака на конструкции самолета возле наконечника. Этот дефект можно обнаружить только внешним осмотром. Практически невозможно проверять величину сопротивления переходного контакта во всех местах присоединения минусовых проводов на самолете. Чтобы убедиться в наличии неисправности, предварительно выявленной при внешнем осмотре, применяют инструментальный метод проверки объекта, рационально сочетая, таким образом, внешний осмотр и проверкой с помощью контрольно-проверочной аппаратуры.

Современные технологии позволяют создавать многофункциональные контрольно-измерительные диагностические комплексы на базе персональных компьютеров и дополнительных устройств ввода-вывода сигналов: плат аналого-цифрового (АЦП) и цифро-аналогового преобразования (ЦАП).

Большинство задач контроля, измерений и/или диагностирования можно представить в виде последовательности логических действий: накопление – обработка – представление результатов. Каждый этап включает в себя множество операций, автоматизация которых позволяет существенно упростить контрольно-диагностический процесс.

Программные и аппаратные средства компьютерной автоматизации измерений, управления и моделирования широко применяются в различных областях промышленности, научных исследованиях, а также в образовании. В составе аппаратных средств присутствуют практически все компоненты современных измерительно-управляющих комплексов: универсальные платы сбора и вывода аналоговых и цифровых сигналов, мультиметры, генераторы, распределенные измерительно-управляющие контроллеры, согласующие устройства на шинах PCI, USB и Ethernet и т.д. Используемая в современных контрольно-диагностических средствах концепция виртуальных приборов позволяет значительно расширить функциональность создаваемых испытательных и измерительных систем при одновременном сокращении трудозатрат на их разработку.

Для построения контрольно-диагностических тестов уточним некоторые понятия и определения.

Последовательность сигналов, подаваемую на входы ОД в процессе диагностирования, называют тестом.

Как уже отмечалось, диагностирование во времени можно разбить на ряд интервалов (проверок), каждому из которых сопоставляется некоторое тестовое воздействие (входной набор) и результат измерений.

Пусть E – множество всех возможных последовательностей входных наборов, любую из которых можно подать на ОД в процессе диагностирования; $S = \{s_1, \dots, s_r\}$ – множество допустимых неисправностей.

Обозначим $M_i(E)$ и $M_i(T)$ – матрицы ТФН i -го технического состояния ($i=0, 1, \dots, r$) для некоторых последовательностей E и T .

Определение 4.1. Последовательность T и E называется контролирующим тестом, если для любой неисправности $s_k \in S$, для которой $M_0(E) \not\subseteq M_k(E) = \emptyset$ выполняется условие: $M_0(T) \not\subseteq M_k(T) = \emptyset$.

Иными словами контролирующий тест обеспечивает проверку всех неисправностей, которые, в принципе, могут быть проверены.

Определение 4.2. Последовательность T и E называется диагностическим тестом, если для любой пары s_i, s_j неисправностей, для которой $M_i(E) \not\subseteq M_j(E) = \emptyset$ выполняется условие: $M_i(T) \not\subseteq M_j(T) = \emptyset$.

Иными словами диагностический тест – это тест, на котором различимо максимально возможное число пар неисправностей.

Очевидно, что свойства определений 4.1 и 4.2 могут выполняться для нескольких тестов, обладающих разной избыточностью и длиной.

Определение 4.3. Контролирующий (диагностический) тест T называют тупиковым контролирующим (диагностическим), если любой тест T и T не является контролирующим (диагностическим).

Очевидно, что при проведении диагностирования желательно иметь тесты как можно меньшей длины. Это сокращает время диагностирования и объем необходимого информационного обеспечения.

Задача построения теста одна из главных и наиболее сложных в технической диагностике. Как правило, современные системы автоматизации проектирования электронных устройств имеют специальные подсистемы построения тестов.

Процесс вычисления тестов в общем случае состоит из следующих этапов:

- 1) определение списка допустимых неисправностей;
- 2) вычисление тестового набора для очередной неисправности из списка;
- 3) моделирование схемы на тестовом наборе для выявления подмножества обнаруживаемых неисправностей;
- 4) определение полноты проверки схемы на построенном тесте.

Различают методы случайного и детерминированного формирования тестов. В настоящее время методы случайного выбора тестовых наборов практически не используются.

В связи с высокой сложностью и трудоемкостью процесса построения тестов широко применяются интерактивные системы построения тестов, которые предполагают активное участие человека в этом процессе.

Определение 4.4. Декомпозицией принципиальной схемы называют разбиение её и выделение функционально-независимых модулей и элементарных электрических цепей для построения контролирующих и диагностирующих тестов.

Метод декомпозиции применяется для всего комплекса бортового оборудования, иначе построение контролирующих и диагностических тестов практически невозможно. С целью упрощения составления программы контролирующих и диагностирующих тестов (далее программы контроля ПК) и, сведения к минимуму возможности возникновения ошибки во время её выполнения, необходимо разбить схему на отдельные электрически независимые модули. Для этого необходимо проследить соединение элементов схемы и выявить группы цепей, имеющих общие электрические связи. Таким образом, цепь разбивается на максимально возможное количество отдельных модулей. Для удобства схема перерабатывается и составляется таким образом, чтобы все элементы, принадлежавшие одному модулю, группировались вместе и определяли принцип его работы. Один из модулей, полученной в результате декомпозиции системы воздушных сигналов СВС1-72, представлен на рисунке 5.1.

Для автоматизации контроля и диагностирования сложных объектов АЭС и ПНК применяются специальные интегрированные многофункциональные коммутаторы, обеспечивающие коммутацию различных стимулирующих тестовых и рабочих воздействий, контроль и измерение электрических параметров, а также локализацию места неисправности и формирование адреса места в соответствии технической документацией на ОК. Одним из наиболее современных таких коммутаторов, представлен на рисунке 5.1.

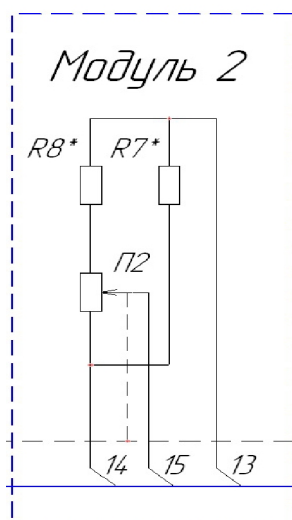


Рисунок 5.1 – Модуль функциональных потенциометров статического давления Рст в СВС1- 72

Коммутатор обеспечивает не только формирование тестовых и рабочих воздействий на контролируемый объект, но и анализ, и формирование матриц исправных и неисправных состояний.

Особенности, преимущества и новизна схемотехнических и структурных решений заключается в следующих технических характеристиках коммутатора:

- коммутатор имеет многоуровневую (многослойную) структуру, количество уровней в котором неограниченно, т.е. число m принимает любые значения применяемой при реализации системы счисления;

- каждый уровень (слой) коммутатора по количеству коммутируемых точек не ограничен, так как число n принимает любые значения применяемой при реализации системы счисления, а емкость коммутатора определяется как (nm) ;

- каждая выходная точка коммутатора имеет свою коммутационную ячейку, каждая из которых содержит k коммутирующих элементов, определяющих число шин контрольно-стимулирующего сигнала и измерительных шин $2k$, что теоретически позволяет подключать к каждой выходной точке коммутатора неограниченное число источников контрольно-стимулирующих сигналов и контрольно-измерительных средств;

- каждая входная/выходная точка коммутатора подключена в адресную систему опроса наличия контрольно-стимулирующего сигнала, что позволяет проследить одновременно наличие сигнала на каждой входной/выходной точке коммутатора, а система формирования адреса точки выдает номера точек коммутатора, на которых имеются сигнал, т. е. непрерывно просматриваются на всех точках коммутатора контрольно-стимулирующие сигналы;

- каждая входная/выходная точка коммутатора в исходном состоянии коммутационной ячейки подключена через высокоомное сопротивление на шину измерения сопротивления изоляции, что позволяет минимизировать число коммутаций при измерении сопротивления изоляции электрических цепей контролируемого объекта и совместить контроль $R_{из}$ каждого проводника относительно корпуса (земли) и относительно всех проводников;

- коммутатор имеет гибкую программируемость, что позволяет каждой входной/выходной точке принимать различные функциональные назначения в различных и всевозможных сочетаниях;

возможность коммутации через внутренние шины коммутатора и создание различных конфигураций контрольно-измерительных цепей объекта контроля с целью их достоверного контроля;

- коммутатор имеет возможность по команде “Общего сброса” принимать исходное состояние или каждая точка коммутатора может изменять свое функциональное назначение по соответствующей команде;

- многофункциональность, гибкая программируемость, проблемная ориентация коммутатора с использованием микроконтроллера и интеллектуального CAN-интерфейса определяют его как высокоорганизованную структуру для построения интеллектуальных систем контроля, диагностики и прогнозирования технического состояния сложных объектов АЭС и ПНК ВС.

Система включает в себя: 1 - блок управления; 2,4 - блоки ввода и 3 вывода; 4 - блок стимулирующих сигналов и напряжений; 5 – блок контрольно-измерительного комплекса электрических параметров; 6 - системная магистраль информационного обмена;

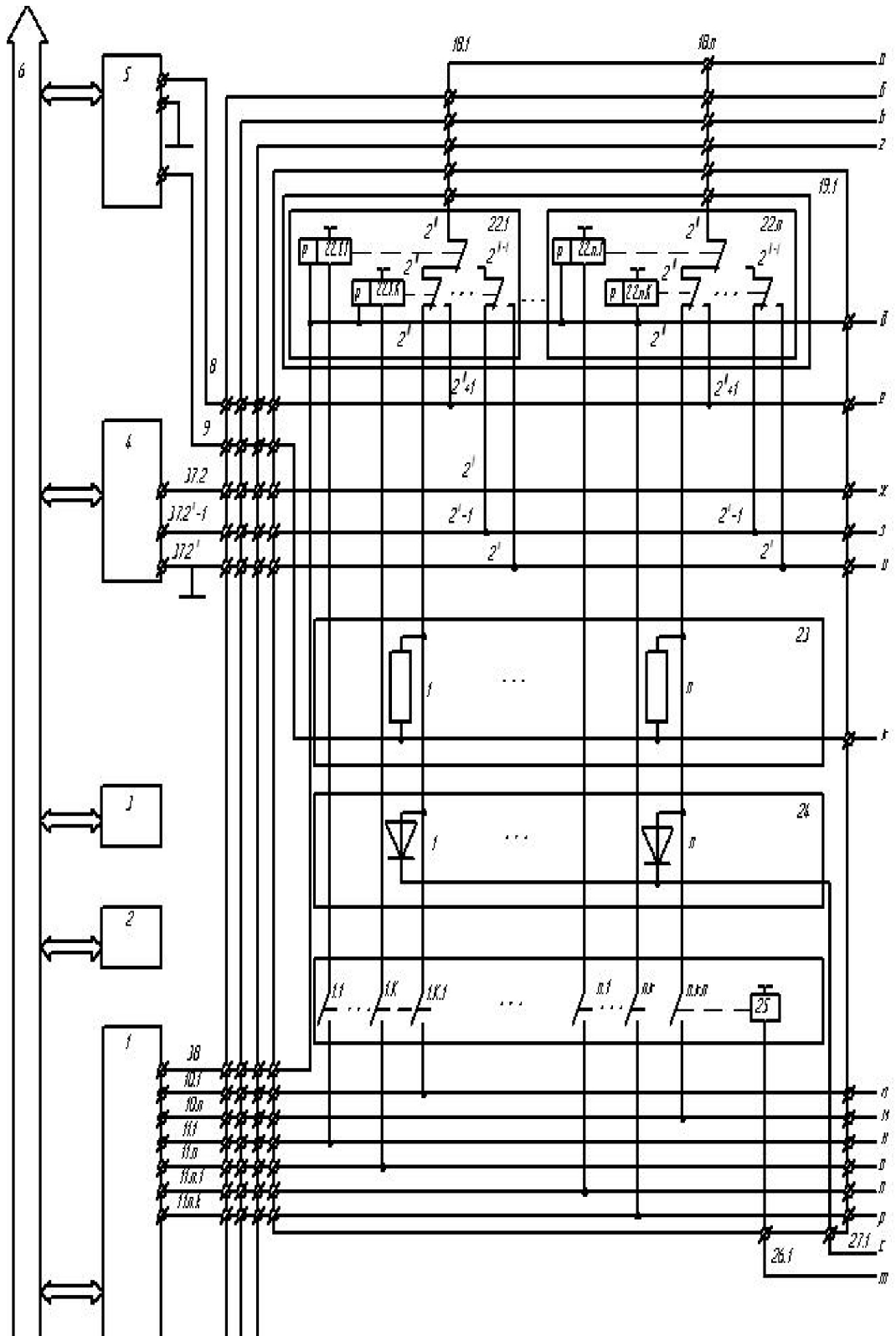


Рисунок 5.1 – Схема интегрированного многофункционального коммутатора в системе контроля и диагностирования

7 – коммутатор; 8 - шина измерительного сигнала; 9 - шина общая измерения сопротивления изоляции; 10 ...- адресные и управляющие магистральные шины соответственно 10.1-10.n, 11.1-11.k и 11.n.1-11.n.k первого уровня управления, 12.1-12.n и 13.1-13.n второго уровня управления, 14.1-14.n и 15.1-15.n третьего уровня управления, 16.1-16.n и 17.1-17.n четвертого уровня управления и входные - выходные клеммы 18.1-18.n ...-18.nm.

Коммутатор 7 состоит из блоков 19.1-19.n коммутации первого уровня управления, блоков 20.1-20.n коммутации второго уровня управления, блоков 21.1-21.n коммутации третьего уровня управления и т.д. Каждый блок 19.1 коммутации содержит n коммутационных ячеек 22.1-22.n, каждая из которых содержит k коммутирующих элементов 22.1.1-22.1.k с памятью, например, триггер-реле, включенных по схеме пирамидального или матричного дешифратора-мультиплексора, имеющих число групп от 20 до $2k-1$ переключающих контактов или по схеме другого логического устройства, резисторную сборку 23 из n резисторов, диодную сборку 24 первого уровня из n диодов, узел 25 включения первого уровня, содержащий n.k.n. магистральных ключей, и выходы 26.1-26.n, 27.1-27.n для подключения к магистральным шинам второго уровня. Каждый блок 20.1 коммутации второго уровня управления содержит n блоков 19.1-19.n коммутации первого уровня управления, диодную сборку 28 второго уровня, узел 29 включения второго уровня и выходы 30.1-30.n, 31.1-31.n для подключения к магистральным шинам третьего уровня и т.д.

Коммутатор в системе работает следующим образом.

В блок 1 общего управления из блока 2 ввода вводятся данные теста контроля в виде последовательности кадров контроля, состоящих из адресов точек входа объекта контроля с указанием параметров стимулирующего сигнала для каждой точки и адресов выходных точек ответного сигнала и измеряемых параметров. Совокупность стимулирующих сигналов определяется программой контроля, последовательное выполнение кадров контроля которой обеспечивает полный контроль правильности функционирования объекта контроля и измерение всех необходимых параметров, определяющих техническое состояние объекта контроля. Адреса точек входа и точек ответного сигнала и измеряемых параметров сформированы поразрядно в соответствии с принятой системой счисления блока 1 общего управления или коммутатора 7, при этом каждый разряд соответствует своему уровню управления коммутаторами.

Так, если для управления коммутатором принята десятичная система счисления ($n = 0, 1 \dots 9$), то первый уровень управления обеспечивается декадой единиц, второй - декадой десятков, третий - декадой сотен и т. д., при этом число выходных точек (клемм) коммутатора находится в степенной зависимости от числа уровней управления и равно n^m .

Допустим, что коммутатор 7 имеет четыре уровня управления в десятичной системе счисления и нумерацию входных - выходных клемм 18.1-18.104 от 0 до 9999, которые определяются номером тысячи, номером сотни, номером десятка и номером единицы. Блок 1 управления в соответствии с адресами точек входа кадра контрольно-измерительных цепей объекта контроля выдает через входы-выходы 10.1-17.n и шины управления соответственно коды: 17.1-17.n - код тысячи, 15.1-15.n - код сотни, 13.1-13.n - код десятка,

11.1-11.n - код единицы, вызывая срабатывание узлов 25, 29, 33 включения, соответствующих коду на каждом уровне управления, а код единиц первого уровня управления вызывает срабатывание коммутационных ячеек 22.1-22.n и подключение в соответствии с кадром контроля входных - выходных клемм 18.1-18.nm коммутатора 7 к шинам 37.2-37.2k соответствующих стимулирующих сигналов. Совокупность стимулирующих сигналов в каждом кадре контроля коммутируется с шин 37.2 – 37.2k на соответствующие входные - выходные клеммы 18.1-18.nm (0-9999) коммутатора 7 через коммутирующие элементы 22.1.1-22.1.k ... 22.n.1-22.n.k и вызывает срабатывание и функционирование элементов фрагментов схемы или объекта контроля в целом, в результате чего формируются цепи выходных сигналов в объекте контроля, которые последовательно в процессе контроля коммутируются через соответствующие входные - выходные клеммы 18.1-18.nm (0-9999) коммутатора 7 на шину 8 измерительного сигнала, измеряются и контролируются блоком 5, а контрольный сигнал через контролируемую цепь в соответствии с ее конфигурацией приходит на соответствующие входные - выходные клеммы 18.1-18.nm (0-9999) коммутатора 7, через нормально замкнутые контакты коммутационных ячеек 22.1-22.n приходит на диодные сборки 24 первого уровня, на катодах которых формируется сигнал адресов тысяч, и через выходы 35.1-35.n поступает на адресные шины 16.1-16.n тысячи и соответствующие входы блока 1 управления.

Блок 1 общего управления запоминает номера всех тысяч адресных шин 16.1-16.n, на которых появляется адресный сигнал, и выдает код одной из этих тысяч, например младшей, на шины 17.1-17.n управления тысяч, при этом включается соответствующий узел 33 включения третьего уровня и сформированные сигналы адресов сотен в этой тысяче через четные магистральные ключи 2 ... 2n приходят на адресные шины 14.1-14.n и соответствующие входы блока 1 управления.

Одновременно срабатывание узла 33 включения обеспечивает подключение через нечетные магистральные ключи 1 ... 2n-1 управления выходов 30.1-30.n управления узлов 29 включения второго уровня. Блок 1 общего управления запоминает адреса всех сотен адресных шин 14.1-14.n в этой тысяче, на которых появляется адресный сигнал, и выдает код одной из этих сотен, например младшей, на шины 15.1-15.n управления сотен, при этом включается соответствующий этому коду узел 29 включения второго уровня и сформированные сигналы адресов десятков в этой сотне через магистральные ключи приходят на адресные шины 12.1-12.n десятков и соответствующие входы блока 1 общего управления. Одновременно срабатывание узла 29 включения обеспечивает подключение через нечетные магистральные ключи 1 ... 2n-1 управления выходов 26.1 - 26.n управления узлов 25 включения первого уровня управления.

Аналогично блок 1 управления запоминает адреса всех десятков адресных шин 12.1-12.n в этой сотне, выдает код одного из этих десятков (младшего) на шины 13.1-13.n управления десятков, при этом включается соответствующий этому коду узел 25 включения первого уровня и сигнал декады единиц этого десятка через магистральные ключи 1.k.1 - n.k.n. приходят на адресные шины 10.1-10.n единиц и соответствующие входы блока 1 управления, который запоминает адреса всех единиц шин 10.1-10.n в этом десятке и последовательно выдает код этих единиц на шины 11.1-11.k ... 11.n.1-11.n.k первого уровня

управления, вызывая срабатывание коммутационных ячеек 22, соответствующих этим кодам, через включенные магистральные ключи 11.1-11.k ... 11.n.1-11.n.k первого уровня, исключая при этом контрольно-стимулирующий сигнал из адреса ответных точек.

Таким образом, получены адреса младшей тысячи, младшей сотни, младшего десятка и все адреса единиц младшей декады. При этом срабатывание коммутационных ячеек 22 приводит к переключению адресных точек цепи на шину 8 измерительного сигнала и снятию адресных сигналов с диодной сборки этой декады единиц.

Если число запомненных десятков в младшей сотне более одного, то блок 1 управления последовательно включает узлы 25 включения этих десятков этой сотни, получает адреса единиц в каждом десятке и переключает выходные клеммы коммутационных ячеек коммутатора 7 по адресным точкам на шину 8 измерительного сигнала и соответственно происходит снятие адресных сигналов диодных сборок десятков в этой сотне.

Аналогично повторяются поиск адресов для каждой сотни, если их более одной, и для каждой тысячи, если их тоже более одной, и переключение всех адресных точек (выходных клемм) коммутатора для всей цепи. В результате поиска получены все адреса контролируемой цепи, а цепь переключается на шину 8 измерительного сигнала.

Блок 1 управления производит сравнение адресов и параметров контрольно-измерительной цепи с адресами и параметрами, полученными в результате измерения и поиска контрольно-стимулирующих сигналов, и значение измеренных параметров сравнивает с номинальными и расчетными для данного объекта контроля, анализирует по требуемым критериям и выдает заключение с первого входа-выхода на первый вход-выход блока 3 вывода о правильности электромонтажа, диагностику дефектов (причину несоответствия полученных адресов: “Перепутывание”, “Обрыв”, “Ложный контакт” и т.д. с локализацией неисправного элемента в реальных адресах объекта контроля) и техническое состояние объекта контроля методом сравнения расчетной матрицы параметров контролируемого объекта с реальной матрицей параметров, полученной в результате контроля. Если в процессе эксплуатации объект контроля контролировался системой не менее 3-х раз, то на основе сравнения матриц определяется эволюция каждого параметра матриц и функциональная зависимость значений параметров во времени, а затем методом экстраполяции функции во времени рассчитывается гарантированный срок безотказной работы объекта в целом, т. е. прогнозирование безотказной работы контролируемого объекта.

Задача контроля, диагностики, анализа дефектов и неисправностей в современных подходах возлагаются на программно-технические средства. Но роль человеческого фактора при построении контролирующих и диагностических тестов и программ, обеспечивающих их реализацию, достоверность, и полноту диагностирования определяется квалифицированным взаимодействием уровня подготовки инженерно-технического персонала и уровнем применяемых программно-технических средств. Наиболее современный и прогрессивный подход к процессам контроля и диагностирования неисправностей реализован в Микропроцессорной Автоматизированной Системе Контроля Авионики (МАСКА).

Микропроцессорная Автоматизированная Система Контроля Авионики (является новым универсальным контрольно-измерительным комплексом наземного применения и предназначена для динамического моделирования поведения сложных систем ВС, контроля и диагностики технического состояния бортовых комплексов электрооборудования, а также для тестового и функционального контроля бортового электрооборудования ВС и качества сети электрических связей, измерения параметров электрических цепей объектов контроля в эксплуатации при техническом обслуживании, ремонте и в производстве аэрокосмической техники. Система включает унифицированный системный коммутатор в составе оптимального сочетания контрольно-измерительного комплекса РХИ, сетевого оборудования вычислительной CAN-сети, комплекта локальных интеллектуальных коммутаторов, реализованных на основе современных электронных компонент, измерительных средств и программного обеспечения, функционирующие в графической программной среде Lab VIEW.под управлением операционной системы WINDOWS – XP.

В системе МАСКА реализована “безбумажная” технология, которая предусматривает использование базы данных предприятия или эксплуатирующей организации, а также возможность создания и ведения базы данных в составе автоматизированного рабочего места (АРМ) инженера-технолога и программного обеспечения МАСКА. Система имеет гибкую структуру и много вариантность комплектации технических и программных средств, в зависимости от решения поставленных задач. На рисунке 5.2 представлен вариант структурной схемы системы, предназначенной для решения широкого круга таких задач как:

- контроль логической структуры, качества соединений и переходных сопротивлений, сопротивления изоляции электрических цепей, диагностика неисправностей и прогнозирование технического состояния кабельно-жгутовых изделий в цехе-изготовителе, токораспределительных сетей (фидерных схем) в цехе окончательной сборки на борту и в эксплуатации;

- тестовый контроль, контроль функционирования, диагностика неисправностей и прогнозирование технического состояния электросборок бортовой автоматики (распределительных коробок (РК), электрощитков (ЭЩ), электропанелей (ЭП), приборных досок (ПД) и пр.) при изготовлении и эксплуатации ВС;

- тестовый контроль, контроль функционирования, диагностика неисправностей и прогнозирование технического состояния блоков и готовых изделий бортовых комплексов электрооборудования при изготовлении и эксплуатации ВС, комплектуемые приборостроительными и др. заводами;

- моделирование и имитация неисправностей или критических режимов, а также анализ динамики поведения блоков или сложных комплексов на стимулирующие воздействия;

- автоматизированное проектирование программ контроля по системам, отдельным блокам, электросборкам и другим конструктивно-технологическим единицам;

Система “МАСКА” ориентирована для использования в серийных, мелкосерийных и единичных производствах, а также для технического обслуживания при эксплуатации ВС и РКТ различного назначения и решает следующие задачи:

- автоматизированное ведение базы данных по изделиям;
- подготовка и ввод данных по номерам изделий, а также коррекцию данных с учетом текущих изменений и доработок;
- автоматизированное формирование рабочих файлов для контроля и диагностики монтажа электрической сети по следующим идентификаторам: по номерам позиций и/или по маркировки провода и/или по сборочным единицам и номерам изделий и/или по системам и/или др. признакам, если это необходимо;
- автоматизированный расчет активного сопротивления электрической цепи с учетом сечения и длины ее проводников и переходных сопротивлений промежуточных и внешних соединителей (клеммных монтажных колодок, болтовых соединений, промежуточных и выходных разъёмов и т.п.) для контроля качества проводимости электрических цепей;
- автоматизированное проектирование стыковочных карт и программ контроля для сформированных рабочих файлов;
- автоматизированное проектирование программ управления и контроля монтажными операциями на борту;
- управление, загрузку локальных контроллеров, обработку контрольно-измерительной информации и формирование протоколов по результатам контроля;

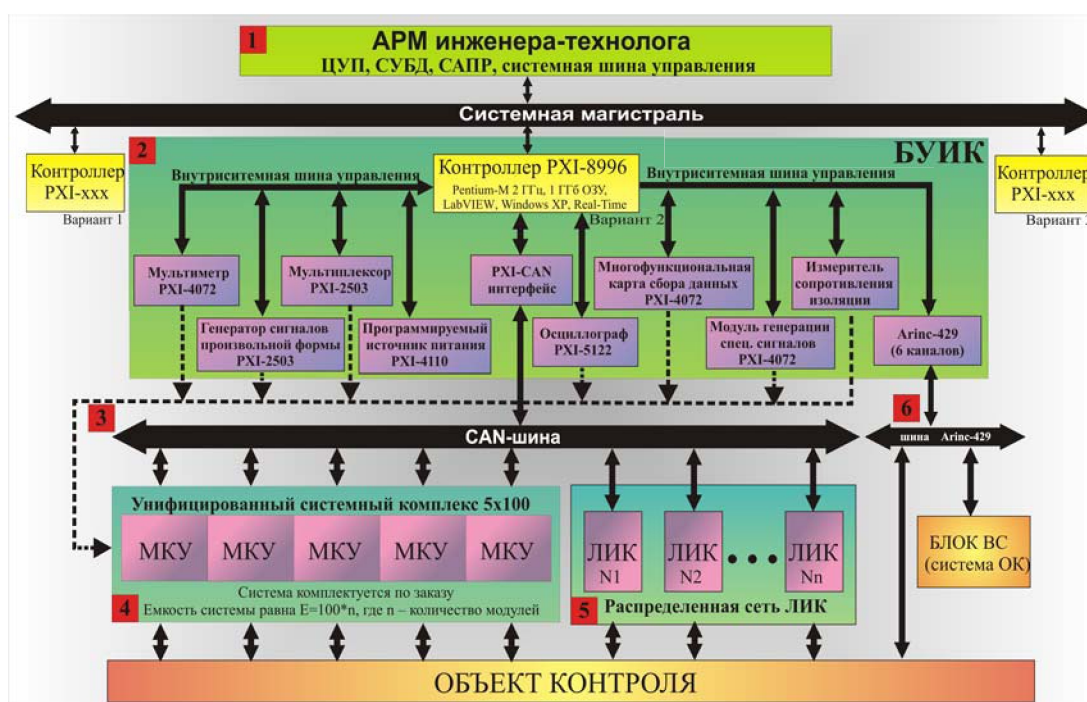


Рисунок 5.2 - Вариант структурной схемы и комплектации системы МАСКА

- управление процессами монтажа на борту с пооперационным контролем монтажных соединений в распределительных коробках, клеммных, болтовых и пр. соединениях, при использовании специального программного обеспечения;

- автоматизированное проектирование программ контроля в режиме “авто-программирования” при подключении бортовой токораспределительной сети или кабельно-жгутовых изделий к системе "МАСКА”;

- контроль правильности функционирования сложных устройств автоматики и авионики;

- контроль параметров (R, L, C) электрических цепей;

- автоматический контроль правильности монтажа токораспределительных систем самолета;

- контроль сопротивления изоляции электрически разобщенных цепей:

- а) каждой цепи относительно всех остальных;

- б) каждой цепи относительно корпуса изделия;

- диагностику неисправностей и дефектов монтажа в реальных адресах в соответствии с КД на системы самолета (включая промежуточные разъемы) со следующей классификацией дефектов: обрыв провода, перепутывание проводов, ложные переключки, повреждение изоляции, низкая проводимость;

- определение технического состояния и прогнозирование срока службы изделий после изготовления и после технического обслуживания;

- самоконтроль работоспособности системы во время её функционирования;

- тестовый контроль системы без подключения и с подключением внешних технологических жгутов.

Специальное программное обеспечение предназначено для решения следующих задач при эксплуатации во вне штатных ситуациях:

- использование различных конфигураций систем в “полевых условиях” в качестве бортового тестера;

- использование системы в качестве КПА;

- оценка технического состояния отдельных электрических цепей;

- исполнение всех функций системы МАСКА для отдельных цепей, подключенных к коммутатору системы МАСКА-М.

6 РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ И СТРУКТУР ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Техническая диагностика охватывает специфические процессы управления и поэтому связана с управлением и контролем так же, как, например, стабилизация или терминальное управление, охватывающие другие классы процессов управления. Специфика технической диагностики заключается в специфике целей управления и в вытекающей отсюда необходимости разработки специальных методов расчета оптимальных процессов управления (например, таких, как методы построения минимальных тестов или программ проверки с минимальным средним временем определения технического состояния).

6.1 Концепция диагностической системы управления состоянием

Конечной целью подавляющего большинства научных и технических исследований и разработок является создание материальных ценностей высокого качества при наименьших затратах. Среди характеристик качества одно из главных мест занимает надежность, с уровнем которой связаны безотказность в работе и долговечность изделий. Однако обеспечить требуемый уровень надежности изделий (как простых, так и сложных) невозможно без проверки и восстановления их технического состояния в условиях производства, эксплуатации или хранения. Проверка и восстановление составляют суть управления техническим состоянием изделий, устройств и систем. Эффективная организация такого управления является главной целью технической диагностики, которая, таким образом, выступает как одно из средств улучшения надежности.

Такая постановка соответствует организации более сложного процесса управления, содержащего в себе проверку технического состояния. Системы, которые реализуют такой процесс управления и имеют в качестве нижнего уровня иерархии систему проверки технического состояния, называются диагностическими системами управления. Структурная схема таких систем, применительно к ПНК представлена на рисунке 6.1.

В рамках диагностической системы управления происходит управление состоянием ПНК в процессе производства ЛА на основе динамической оценки параметров систем и агрегатов ПНК. Под целью управления понимается поддержание заданного технического состояния ПНК в процессе производства ЛА с помощью технологических процессов МКИ агрегатов и систем ПНК с учётом оптимизации трудозатрат на их выполнение.



Рисунок 6.1 – Структурная схема диагностической системы управления состоянием ПНК

Работа диагностической системы управления представлена на рисунке 6.1 и подразумевает непрерывное выполнение трёх основных операций:

- 1) Движение $x(t)$ агрегатов и систем ПНК в пространстве состояний.
- 2) Процесс $e(t)$ оценки технического состояния агрегатов и систем ПНК.
- 3) Формирование управляющего действия $\varepsilon(t)$ по результатам оценки для достижения цели управления $x_0(t)$ с учётом внешних условий $f(t)$.

Как правило, контролируемый объект находится, в рамках общих представлений, в пространстве состояний [122, 126, 127]. Решение задачи поддержания требуемого технического состояния ПНК на первом этапе связано с технической диагностикой. Процесс диагностики, реализуемый многократной подачей на объект управляющих воздействий, причём управляющие воздействия могут быть простыми и сложными, а их состав и последовательность подачи могут зависеть от реакции объекта на предыдущие воздействия, осуществляется системой контроля, представляющей нижний уровень иерархии динамической системы управления состоянием объекта, верхним уровнем иерархии которой является система принятия решения по управлению техническим состоянием объекта проверки.

6.2 Формальные основы представления диагностических процессов управления состоянием объектов контроля и диагностики

Современная теория систем развивалась как научная дисциплина, которая используется для описания и анализа совокупностей взаимосвязанных переменных без учета их конкретной природы. Центральное место в теории систем занимает понятие модели, которое описывает взаимодействие между переменными системы. Основные понятия теории систем – это взаимосвязь и поведение, а основная задача – расчет поведения взаимосвязанных объектов, исходя из поведения отдельных объектов.

В данной работе для решения задач нижнего уровня иерархии диагностического управления состоянием сложных систем, объединённых в комплексы, в частности пилотажно-навигационный комплекс, создаётся система контроля и диагностики (СКиД), для верхнего уровня иерархии использованы общие принципы теории систем, теории нечетких множеств к конкретному случаю организации сложного процесса управления. Управление системой включает в себя как контроль выполнения плана, так и планирование изменений. Управление осуществляется постфактум, тогда, как планирование всегда происходит заранее.

В последние десять лет наблюдалось интенсивное развитие методики применения общих идей и разработок теории систем к проблемам, с которыми сталкиваются лица, принимающие решения. Значительная часть теории была создана в расчете на многочисленные задачи составления расписаний, планирования и прогнозирования, причем был достигнут прогресс в имитационном моделировании сложных систем. Главная цель этой работы разработать, в рамках теории систем, модель с упором, на те аспекты, которые нашли наибольшее применение в реальной практике управления технологическими процессами.

6.3 Основные понятия и определения метода пространства состояний

Для оценки состояния сложной системы, в частности, ПНК, на базе математической модели, если предположить, что начальное состояние которой (например, величина напряжений или токов) может быть выражено любым действительным числом, множество состояний можно определить как $X=R$, где R – числовая ось, и модель примет вид:

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \sum_{j=1}^n a_{ij} u_j(t) - b_j(t) \quad (6.1)$$

где $x_i(t)$ – состояние системы в момент времени t , u_i – управляемый вход системы на интервале $0 \dots t$, a_j , b_j – затраты на реализацию процессов управления.

Таким образом, эндогенные переменные с запаздывающим аргументом типа $x(t)$ присутствуют в структуре модели как вспомогательные переменные и в совокупности с экзогенными переменными u и b составляют известные к данному моменту времени переменные системы, по которым можно получить значения текущих эндогенных переменных. Для первого периода значение $x(1)$ вычисляется по $x(0)$, а так же по $u(0)$ и $b(0)$. Определив, таким образом, $x(1)$, можно найти $x(2)$, если, конечно, заданы $u(1)$ и $b(1)$. Следовательно, при заданном начальном значении $x(0)$ и заданных значениях $u(t)$ и $b(t)$ можно определить траекторию $x(t)$, последовательно применяя уравнения состояния. Следовательно, траектория показывает движение в пространстве состояний.

Таким образом, к традиционным понятиям входа и выхода добавляется ещё одно, принципиально важное для контроля и диагностики – пространство состояний.

В общем случае уравнение состояния в векторно-матричной форме имеет вид:

$$x(t+1) = Ax(t) + Bu(t) + Cf(t), \quad (6.2)$$

где x – вектор состояния системы, u – управляемый вход и f – влияние среды,

Система в свою очередь влияет на среду своими выходными параметрами. В некоторых случаях сами переменные состояния могут рассматриваться как выходные величины системы. На этот класс систем в работе обращено особое внимание. В других случаях невозможно непосредственно наблюдать переменные состояния, но вместо этого можно наблюдать множество выходных величин $y_i(i = 1, \dots, p)$ или p – мерный вектор y , который определяется уравнением

$$y = Cx + Du \quad (6.3)$$

В уравнениях (3.2) и (3.3):

x – n -мерный вектор-столбец;

A – матрица размера $n \times n$;

u – r -мерный вектор-столбец;

B – матрица размера $n \times r$;

C – матрица размера $p \times n$;

D – матрица размера $p \times r$;

Элементы матриц A , B , C и D постоянны для стационарных систем. Обычно выходное уравнение, подобное (3.3), возникает при введении в рассмотрение величин параметров выходных сигналов системы.

Вектор состояния сформирован из множества величин, которых достаточно для того, чтобы полностью описать движение системы в пространстве состояний. По заданному вектору состояния в некоторый момент времени, закону движения и последовательности входных воздействий, можно вычислить состояние в любой другой момент времени. Вектор состояния – не единственный; любой другой вектор $x'(t)$, связанный с $x(t)$ невырожденным преобразованием $x'(t) = M(t)x(t)$, удовлетворяет приведённому выше требованию.

Этот подход оказывается ближе к реальным запросам практики оценки состояния диагностируемой системы. В технических науках нет полной информации о реальной системе. Тем не менее, методы идентификации систем в сочетании с методами теории оценивания и теории управления позволяют путем экспериментирования на модели (вместо

реальной системы) определить допустимые стратегии управления объектом диагностирования. Таким образом, можно создавать модели в надежде, что более глубокое понимание динамики поведения системы и возможность экспериментирования на модели облегчат разработку реальных стратегий управления.

Таким образом, уравнение состояния есть формулировка стратегии, т.е. намерения действовать определенным образом в определенных обстоятельствах. Оно представляет собой обобщенное, заранее обусловленное и выраженное в виде правила решение, которым устанавливается норма поведения при наступлении событий заданного типа.

Теперь остановимся на понятии диагностического управления объектом контроля и диагностики или кратко - управления.

В простейших выражениях организация — это нечто, созданное с целью превращения некоторых ресурсов в конечный продукт. Поскольку этот процесс описывается в пространстве состояний, то можно оценить его эволюцию. Решение уравнения состояния можно представить себе как кривую, которую можно начертить в пространстве состояний. Однако, как правило, строят такую траекторию, чьи различные точки соответствуют различным моментам времени, в которые предполагается изменение состояния организации.

Планирование и управление можно рассматривать как оценку и обеспечение некоторой траектории, которая является решением уравнения состояния, т. е. описывает движение в пространстве состояний. Для выполнения этих двух функций управление должно основываться на базе централизованной политики, моделируемой уравнением состояния.

Законом управления является закон с обратной связью, с помощью которой систему стремятся сделать менее чувствительной к изменениям параметров за счет использования в основном текущей информации. Если имеет место возмущение, то отрабатывается ошибка, и первоначально планировавшиеся значения корректируются так, чтобы удерживать переменные состояния вблизи желаемых значений.

На основе указанных конструктивных представлений в рамках метода пространства состояний рассмотрим систему моделей.

6.4 Модель движения агрегатов и систем пилотажно-навигационного комплекса в пространстве состояний

Рассмотрим технологический процесс контроля ПНК в процессе производства ЛА. Под состоянием ПНК понимается технологическая операция, выполняемая над агрегатами и системами комплекса в настоящий момент времени. ПНК состоит из двух систем: пилотажного комплекса (ПК) и навигационного комплекса (НК), которые обозначим соответственно x_1 и x_3 . В ходе операций контроля u_1 и u_2 происходит оценка технического состояния x_1 и x_3 . Два проконтролируемых комплекса x_2 и x_5 соединяются в результате сборочной операции u_3 . Длительность каждой операции известна. Переменные состояния представляют собой число комплексов, ожидающих отработки на следующей операции. Чтобы показать сколько комплексов нужно вычесть из общего числа ожидающих отработки при соединении двух станков на станке комплексной отработки, вводятся коэффициенты. Строится диаграмма потока готовых к установке на борту ЛА ПНК, где явно задаётся расход материалов на каждую операцию.

Здесь $U = R^3$ и $X = R^6$.

В результате анализа диаграммы потоков запишем уравнение движения в пространстве состояний:

$$\bar{x}(t+1) = \bar{x}(t) + \bar{\varepsilon}(t-1), \quad (6.4)$$

где \bar{x} – вектор текущего управляемого объекта, $\bar{e}(t-1)$ – управляющее действие системы диагностического управления, сформированное по результатам предыдущей итерации.

При рассмотрении движения объектов в пространстве состояний вводятся критерии *управляемости и наблюдаемости* системы. Говорят, что система полностью управляема, если можно выбрать переменные управления таким образом, чтобы обеспечивался переход системы из любого начального состояния в любое конечное состояние за конечный промежуток времени. Двойственное понятие управляемости полной наблюдаемости системы означает, что измерения выходных переменных системы на некотором конечном интервале времени, число которых, как правило, меньше числа переменных состояния, содержат достаточно информации для того, чтобы полностью определить состояние системы.

6.5 Модель процесса оценки технического состояния агрегатов и систем пилотажно-навигационного комплекса

Под состоянием оцениваемой системы (ПНК) понимается поток параметров, представляющих определённые величины, фиксируемые в данный момент времени. Уравнение состояния выражает наблюдаемые различия между текущим состоянием траектории системы по отношению к требуемому, определяемому набором номинальных параметров.

Для того, чтобы говорить об оценке состояния любых реальных объектов необходимо иметь средства и возможность воздействовать на объект и получать от него ответные реакции, представляющие собой набор диагностической информации. Эта информация должна обеспечивать полноту анализа и иметь формат, позволяющий производить над ней логические операции.

Пилотажно-навигационный комплекс ЛА состоит из набора сложных бортовых систем. Полное нормальное пространство признаков ПНК \mathcal{P} можно определить как произведение пространств признаков всех составляющих систем $\mathcal{P}_i, i=1, 2, 3, \dots, n$, где n – число подсистем ПНК:

$$\mathcal{P} = \mathcal{P}_1 \times \mathcal{P}_2 \times \mathcal{P}_3 \times \dots \times \mathcal{P}_n. \quad (6.5)$$

Таким образом, пространство \mathcal{P} получается большой размерности, и возникают трудности с физическим определением всех составляющих $\rho \in \mathcal{P}$.

Единственным решением подобной проблемы является разбиение полного пространства признаков \mathcal{P} на конечный набор из m подпространств:

$$\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_m\} \subset \mathcal{P} \quad (6.6)$$

так, что определение любого из $X_i, i=1 \dots m$, практически реализуемо, а определение полного набора $X_1 \dots X_m$ с точки зрения диагностики эквивалентно определению \mathcal{P} .

Рассмотрим свойства набора $X_1 \dots X_m$:

1. Подпространства $\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_m\}$ могут быть пересекающимися;
2. Любое подпространство X_i может включать в себя любую комбинацию из произведения $\mathcal{P}_1 \times \mathcal{P}_2 \times \mathcal{P}_3 \times \dots \times \mathcal{P}_n$;
3. Полный набор $X_1 \dots X_m$ не обязательно составит \mathcal{P} , но эквивалентен \mathcal{P} :

$$X_1 \times X_2 \times X_3 \times \dots \times X_m \leq \mathcal{P}. \quad (6.7)$$

При таком подходе основная сложность состоит в выборе полного набора $X_1 \dots X_m$, определении условия, при котором полученный набор можно считать полным (условие 3). Этот выбор должен выполняться, исходя из структуры ПНК, с учётом оптимизации диагностических тестов по времени и информативности.

Модель процесса оценки технического состояния агрегатов и систем ПНК выполнена на основе полученного в главе 2 представления ПНК в виде набора конфигураций – режимов. Алгоритм функционального контроля для трёх режимов стабилизации: пространственного положения, линии заданного пути (ЛЗП), высоты (Н) представлен на рисунке 6.2.

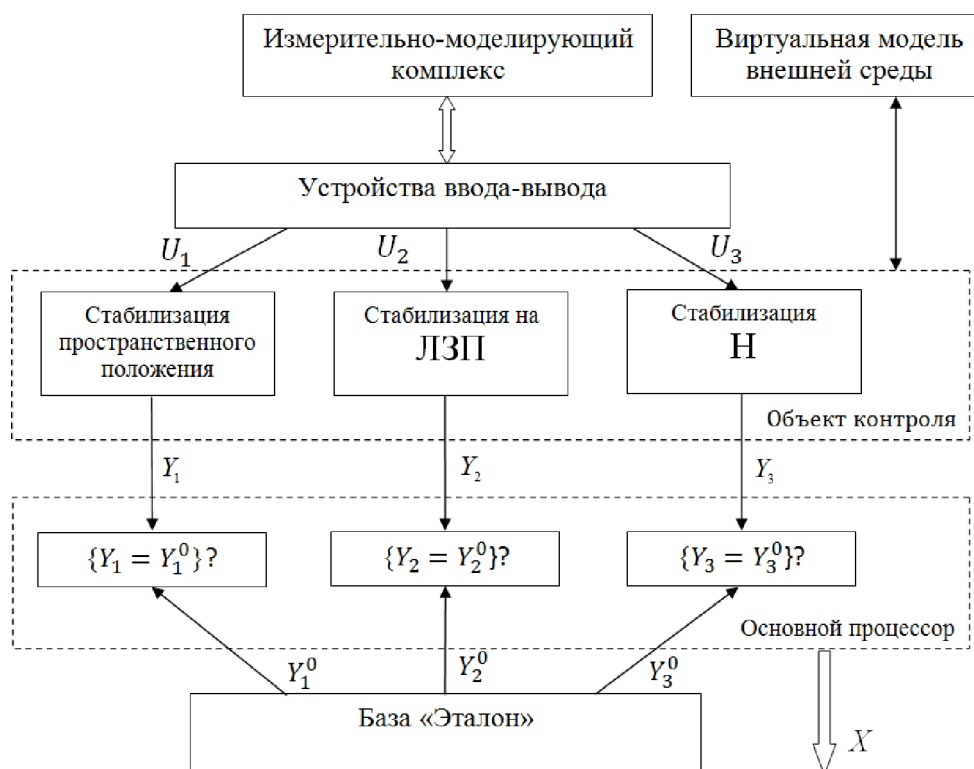


Рисунок 6.2 - Алгоритм оценки технического состояния

Алгоритм подразумевает формирование тестовых воздействий U_1, U_2, U_3 содержащих в себе набор входных сигналов для систем и агрегатов, входящих в состав соответствующей конфигурации. Эти тестовые сигналы формируются и изменяются в соответствии с программой диагностики и предназначены для имитации работы систем ПНК в рамках текущей конфигурации.

В основном процессоре выполняется сравнение откликов реальной системы Y_i с эталонами Y_i^0 , получаемыми от базы «Эталон», в качестве которой выступает элемент диагностической программы, содержащий требуемые значения параметров.

Результат сравнения $\bar{e}(t)$ по всем контролируемым параметрам определяет текущее состояние:

$$\bar{x}(t) = \bar{e}(t) = \bigcup_n |Y_i - Y_i^0|, \quad (6.8)$$

которое используется для формирования корректирующего воздействия, а также задаёт цель управления в виде:

$$x_0(t) = \bar{e}\left(t + \sum_{i=0}^m t_i\right) = 0, \quad (6.9)$$

где m – число технологических операций, необходимых для достижения цели, t_i – время выполнения i – й операции.

Результат операции сравнения определяет дальнейшее развитие алгоритма распознавания по двум направлениям.

Первое – в случае, если $Y_i - Y_i^0 \geq Y_{\text{дон}}$, где $Y_{\text{дон}}$ - допустимое отклонение контролируемого параметра, происходит переход к следующей конфигурации.

Выполнение условия $\forall (Y_i - Y_i^0) \geq Y_{\text{дон}}$ однозначно определяет полностью исправное состояние объекта контроля.

Например, если закон отклонения руля направления при наличии всех исходных факторов и условий соответствует требуемому, это эквивалентно тому, что для всех блоков и устройств, задействованных в формировании и реализации закона отклонения, сформированы верные входные и выходные сигналы.

Второе – в случае, если для i -й конфигурации $Y_i - Y_i^0 < Y_{\text{дон}}$. В этом случае происходит переход к расширенной проверке по данной конфигурации. Алгоритм расширенной проверки определяется структурой конкретной конфигурации. Рассмотрим случай, когда $Y_2 - Y_2^0 < Y_{\text{дон}}^2$. Развёрнутая структура конфигурации данного режима изображена на рисунке 6.3. Образующие узлы, выделенные пунктирной линией, составляют условия внешней среды.

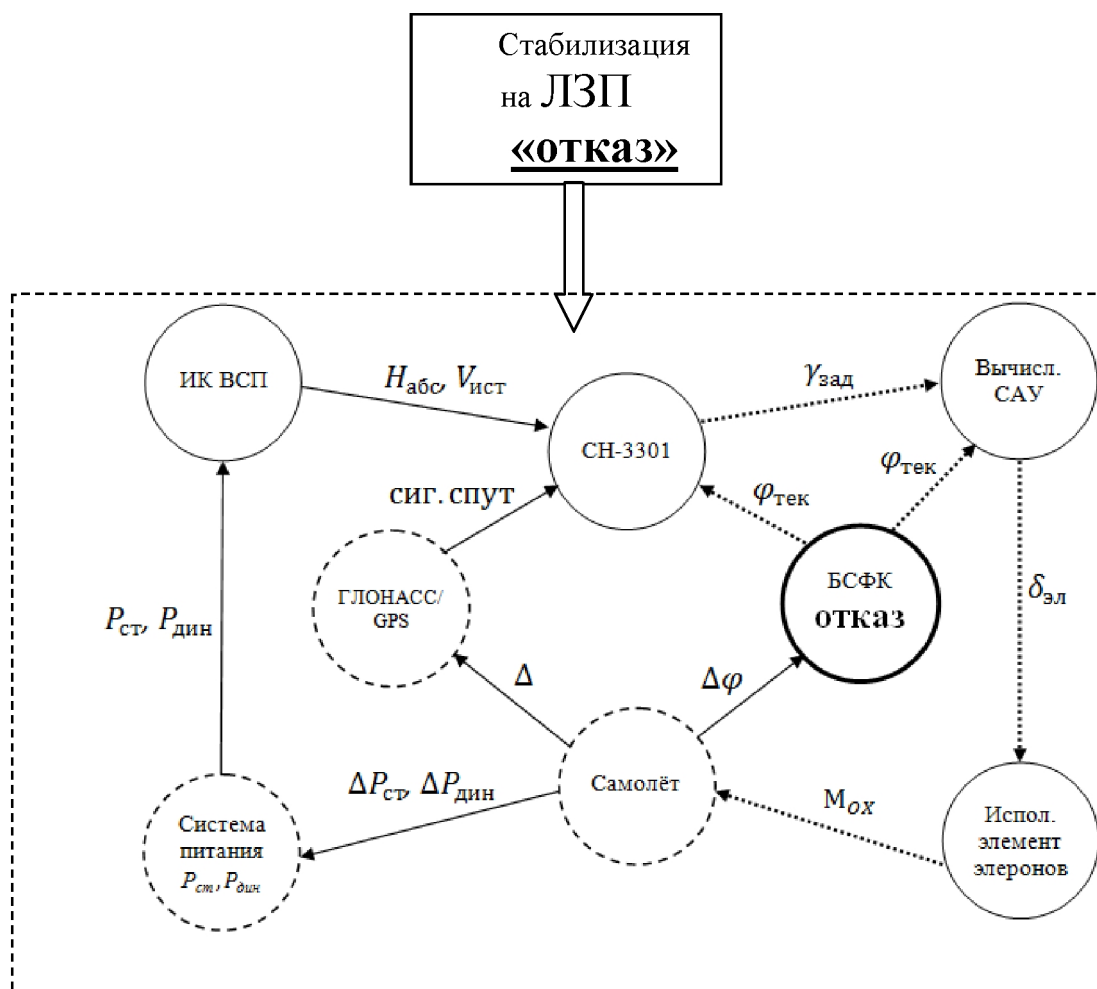


Рисунок 6.3 – Конфигурация режима стабилизации ЛЗП

При анализе состояния ПНК считается, что все условия внешней среды выполнены под средством виртуальной модели. Образующие узлы, выделенные сплошной линией, являются компонентами ПНК.

На рисунке (6.3) приведена ситуация отказа курсовой системы БСФК. Согласно теории потока данных в этом случае параметры $\gamma_{зад}$, $\delta_{эл}$, $M_{ок}$, $\varphi_{тек}$ будут не соответствовать номинальным значениям:

$$\{\gamma_{зад}, \delta_{эл}, M_{ок}, \varphi_{тек}\}^H \neq \{\gamma_{зад}, \delta_{эл}, M_{ок}, \varphi_{тек}\}. \quad (6.10)$$

При этом определить, что причина в отказе именно системы БСФК можно только зная структуру конфигурации – режима. Такие параметры ниже будем называть параметрами несоответствия.

На этом обстоятельстве может быть построен алгоритм диагностики данной конфигурации. Этот алгоритм основывается на том, что полученный набор параметров $\gamma_{зад}$, $\delta_{эл}$, $M_{ок}$, $\varphi_{тек}$, не соответствующих оригиналу однозначно определяет неисправность именно системы БСФК. Так как при отказе другой системы набор параметров несоответствий будет другим. Все различные варианты приведены в таблице 3.1.

Таблица 6.1

Отказавшая система	Набор параметров, определяющих неисправность
Базовая система формирования курса БСФК	$\gamma_{зад}, \delta_{эл}, M_{ок}, \varphi_{тек}$
Автоматическая система управления САУ	$\delta_{эл}, M_{ок}$
Бортовая система спутниковой навигации СН-3301	$\gamma_{зад}, \delta_{эл}, M_{ок}$
Измерительный комплекс высотно-скоростных параметров ИК ВСП	$H_{абс}, V_{исп}, \gamma_{зад}, \delta_{эл}, M_{ок}$
Исполнительный элемент (бустер) элеронов	$\Delta x_{эл}, M_{ок}$

Как видно из таблицы 6.1 для каждой из систем, задействованных в конфигурации «стабилизация ЛЗП» существует свой индивидуальный набор параметров несоответствия, однозначно определяющий отказавшую систему.

Далее алгоритм анализа ПНК в рамках текущей конфигурации переходит поиску неисправности внутри отказавшей системы. Обобщённая структура систем ПНК представлена на рисунке 6.4.

Поиск неисправности внутри системы возможно осуществить двумя основными способами.

Первый стандартный метод – демонтаж всех составляющих блоков и агрегатов отказавшей системы с борта и проверка их в лабораторных условиях, согласно существующим методикам контроля с применением специальных стендов и КПА. Лабораторная проверка выполняется до обнаружения неисправного блока или агрегата. Недостаток этого способа – значительная трудоёмкость монтажно-демонтажных и проверочных работ.

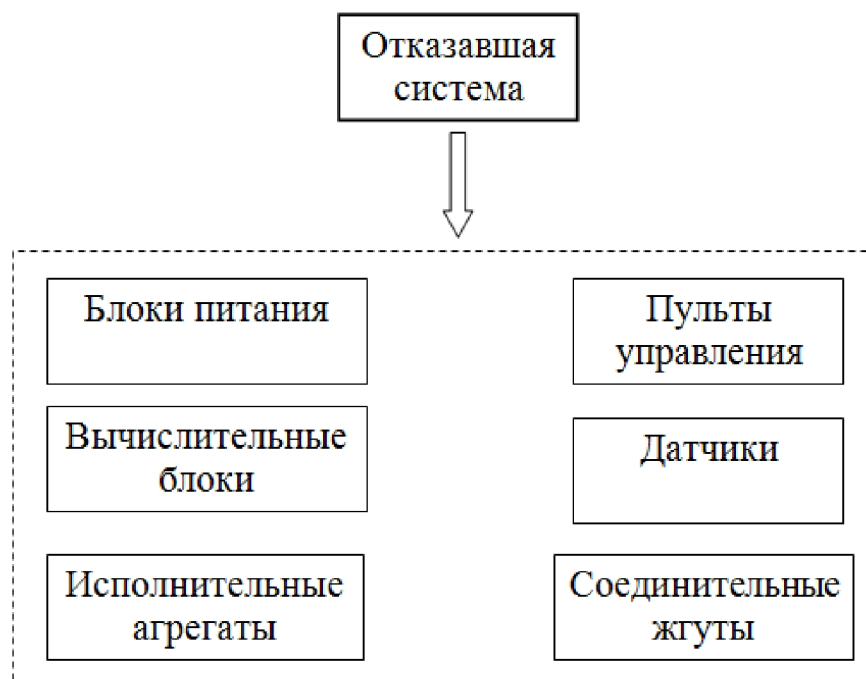


Рисунок 6.4 – Обобщённая структура систем ПНК

Второй способ оптимизированный – дальнейшее представление отказавшей системы в виде конфигурации, образующими которой являются единичные блоки и агрегаты, а структура связей данной конфигурации есть функциональные связи этих блоков (электрические, гидравлические или механические). Цель подобного представления – локализовать неисправность с точностью до блока или агрегата внутри системы, с тем, чтобы значительно уменьшить объём монтажно-демонтажных, отладочных работ.

Ввиду сложности систем ПНК задача локализации неисправности в процессах диагностики является основополагающей.

Подобные алгоритмы диагностики необходимо применять для задач контроля и поиска неисправностей в сложных технических системах, таких как ПНК, оценить состояние которых в наземных условиях на завершающих этапах производства есть сложная задача, требующая глубокого предварительного анализа.

6.6 Модель корректирующего воздействия

Верхним уровнем иерархии в диагностической системе управления является управляющее устройство, центральным звеном которого является управляющий элемент.

В практике диагностического управления управляющий элемент — это решающий элемент. Особое внимание уделяется проектированию регуляторов с обратной связью, предписывающих значения управляющих входных воздействий в зависимости от измеренного отклонения от заданной траектории. Регулирование предполагает асимптотически малую ошибку системы, которая может представлять собой либо отклонение от отклика на эталонный сигнал, либо отклонение от фиксированной точки, обусловленное возмущением. Другими словами, базовое определение задачи управления включает в себя предположение о том, что всегда желательно оперировать как можно ближе к оптимальному стационарному состоянию системы.

6.6.1 Модель управляющего устройства

Рассмотрим модель управляющего устройства диагностической системы управления техническим состоянием ПНК при производстве летательного аппарата, а именно систему с семью контурами для оценки технического состояния конфигураций ПНК в режимах штурвального управления (канал курса, крена и тангажа), автономного автоматического управления (стабилизация, управление), автоматического управления (навигация, посадка), модели которых получены в рамках представлений главы 2 настоящей работы.

Модель корректирующего воздействия, формируемого управляющим устройством базируется на уравнении:

$$\varepsilon(t) = f\{x(t), e(t), f(t), x_0(t)\}, \quad (6.11)$$

где $f(t)$ – производственные затраты, необходимые для выполнения $\varepsilon(t)$.

Рассматриваемый процесс управления включает в себя большое число операций: осмотр блоков систем комплекса, включение под напряжение и оценка правильности функционирования, измерение параметров для их идентификации (формирование исходного пространства признаков), анализ структуры многомерных данных (построение матрицы близостей, задающей отношение «объект – объект», элементами которой являются значения некоторой меры близости между паспортными данными значений параметров x_i и полученными в результате измерений X_j [122]), заключение (распознавание образа реального объекта на основе логических методов, базирующихся на аспектах алгебры логики, позволяющие оперировать информацией, заключённой не только в отдельных признаках, но и в сочетании значений признаков). Каждая из них требует известного количества затрат времени специалистов. С целью ограничения числа переменных эти операции можно описать меньшим числом операций, на выполнение каждой из которых требуется T часов. Операциями, выполняемыми автоматически можно либо пренебречь, либо включить их в состав других. Операции большой длительности разбиваются на T -часовые части (подоперации).

На управляющее устройство диагностической системы управления (рис. 3.1) поступают от системы контроля ПНК поток измеренных параметров образующих (конфигураций) ПНК со скоростями x_1, \dots, x_i , которые являются переменными состояния диагностической системы управления и, в частности, её управляющего устройства. Кроме этого на его вход поступают три переменных уровня измеренных параметров $x_{i+1}, x_{i+2}, \dots, x_n$, каждый из которых выражается числом (x_{i+1}, x_{i+2} - ограничения по минимуму и максимуму измеренных значений параметров, а x_n - объём параметров, имеющих номинальные значения). Скорость поступления параметров после их оценки на соответствие заданным значением обозначим через f , которая будет выражаться числом параметров в единицу времени. Время, необходимое для контроля i -й конфигурации требует u_i человеко-часов в определённое время. На оценку технического состояния одной конфигурации в ходе, как правило, последовательности операций требуется $1/\beta$ человеко-часов. Построим блок-схему потоков, начертим $n+i$ блоков единичной задержки, представленных на рисунке 6.5.

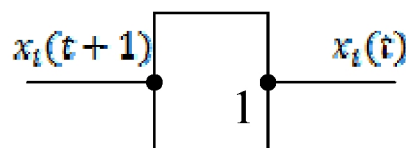


Рисунок 6.5 – Блок единичной задержки

Обозначим их выходы через $x_1(t), \dots, x_{n+3}(t)$. На входы блоков задержки с такими выходами в момент времени t должны поступать сигналы

$x_1(t+1), \dots, x_{n+3}(t+1)$. Построим эти сигналы. Используем множитель α для преобразования переменных скорости в переменные уровня, умножая x_n и $-f(t)$ на α и складывая полученные произведения с величиной $x_{n+3}(t)$, получаем $x_{n+3}(t+1)$. Если $U_T = 1/\beta_T$ человеко-часов в определённое время, то по прошествии времени задержки T , величина x_6 будет равной единицы измерений параметров в это время. В результате за время T в оперативной памяти управляющего устройства диагностической системы управления накопится α параметров, если не производилась выборка для комплексной обработки сигналов. В то же время, поскольку операция, соответствующая x_i , заключается в получении оценки на базе четырёх измерений отдельных параметров образующих, то из накопившегося в течении периода T значений x_{i+1} нужно вычесть 4α значений параметров. Проанализировав, таким образом, взаимосвязи всех переменных x_1, \dots, x_{i+1} , получим полную блок-схему, состоящую из блоков единичной задержки, мультипликаторов и сумматоров.

Рассмотрим производственный процесс, свободный от несущественных деталей, и сведённый к логической схеме. Эта логическая схема была облегчена в определённую обозримую форму диаграммы потоков, на которой явно указываются величины и резерва. Моделируемый процесс относится к классу таких процессов, где двумя видами станков для двух видов систем (НК и ПК) формируется ПНК, состоящий из них. Главная цель промежуточных резервов в системе промышленного производства заключается в достижении эффекта резервного запаса между различными операциями. Компоненты вектора состояния представляют собой величины промежуточных резервов блоков, ожидающих обработки на последующих операциях. Весь рассматриваемый процесс состоит из операций контроля НК и ПК и сборки их на комплексном станке.

Каждая из этих операций требует известных затрат рабочего времени. Коэффициенты a и b показывают, сколько деталей нужно вычесть из запасов, когда две производственные линии сливаются в пункте сборки.

Уравнения состояния системы имеют вид:

$$x_1(t+1) = x_1(t) - \alpha u_1(t) + f_1(t), \quad (6.12)$$

$$x_2(t+1) = x_2(t) + u_1(t) - \alpha u_3(t),$$

$$x_3(t+1) = x_3(t) - \beta u_2(t) + f_2(t), \quad (6.13)$$

$$x_4(t+1) = u_2(t),$$

$$x_5(t+1) = x_5(t) - x_4(t) - b u_3(t),$$

$$x_6(t+1) = x_6(t) + u_3(t) - f_3(t),$$

где α и β - величины удельных расходов.

Уравнение состояния описывает величины потоков продукции в различные моменты времени. Оно показывает, какое количество незаконченной продукции надо обработать в определённые моменты времени, чтобы обеспечить определённые показатели, предусмотренные перспективным планом. Модель в пространстве состояний состоит из списка переменных, подразделяемые на известные и неизвестные, и списка соотношений, в виде которых выражаются связи между переменными. Кроме того существуют и другие элементы - коэффициенты α, β, a, b , с помощью которых описывается интенсивность влияния одной переменной на другую при наличии связи между ними.

Очевидно, что для заданной технологии величины α и β постоянны. Можно сказать, что прогресс технологии заключается в таких улучшениях способов производства, которые открывают возможность получить либо больший выход, при том же объёме ресурсов, либо

тот же выход при меньшем объёме затрачиваемых ресурсов. На технологическом жаргоне такое изменение означает изменение α или β . Фактически имеется ввиду повышение полной производительности ресурсов. Технологические изменения, приводящие к повышению производительности, оказывают сильное влияние на структуру производственной системы, и эти изменения можно и нужно планировать.

Планирующие органы могут и должны определять, когда для обеспечения роста объёма производства следует заменять ручные технологии на автоматизированные. Отсюда прямо вытекает, что для повышения эффективности и конкурентоспособности данного производственного процесса надо расширять круг решаемых задач.

6.6.2 Задачи управляющего устройства

Как отмечалось ранее, наличие объекта системы контроля в пространстве состояний предполагает выделение входных переменных. Предположим, что требуется определить такой входной сигнал из некоторого класса допустимых сигналов, чтобы вектор состояния принял определённое значение. Перед этим, однако, следует ответить на вопрос: можно ли перевести систему из начального состояния в требуемое состояние в некоторый последующий момент времени с помощью какого-либо из допустимых входных сигналов?

Рассмотрим детерминированную линейную систему:

$$x(t+1) = Ax(t) + Bu(t), \quad (6.14)$$

где $u(t)$ - управляемый вход, (A, B) - матрицы поведения системы. Введём теперь выражение для $x(t)$ при любом $t > 0$, если заданы $x(0)$ и $u(t)$ на всём интервале $[0, t-1]$. Полагая последовательно $t=0, 1, 2$, получаем

$$\begin{aligned} x(1) &= Ax(0) + Bu(0), \\ x(2) &= Ax(1) + Bu(1) = A^2x(0) + ABu(0) + Bu(1), \\ x(3) &= Ax(2) + Bu(2) = A^3x(0) + A^2Bu(0) + ABu(1) + Bu(2). \end{aligned} \quad (6.15)$$

Следовательно, для любого $t > 0$

$$x(t) = A^t x(0) + \sum_{i=0}^{t-1} A^{t-i-1} Bu(i) \quad (6.16)$$

где A^t есть t -кратное произведение матрицы A на само себя. Эта формула полностью интуитивна; в каждый момент времени мы преобразуем старое состояние с помощью матрицы A и прибавляем слагаемое Bu , учитывающее вклад нового значения входного сигнала u .

Выражение вида

$$x(t) = \Phi(t)x(0) + \sum_{i=0}^{t-1} \Phi(i)Bu(t-i-1) \quad (6.17)$$

понимается как переходное уравнение системы, где $\Phi(t)$ - переходная матрица системы. Данное уравнение представляет собой вектор состояния в момент времени $t > 0$ в виде суммы двух основных членов. Один из них - вклад начального состояния $x(0)$, а другой - вклад последовательности входных сигналов u на интервале времени $[0, t-1]$.

Для нестационарной системы переходное уравнение можно записать в виде

$$x(t+1) = A(t)x(t) + B(t)u(t). \quad (6.18)$$

Следовательно,

$$x(1) = A(0)x(0) + B(0)u(0), \quad (6.19)$$

$$x(2) = A(1)x(1) + B(1)u(1) = A(1)A(0)x(0) + A(1)B(0)u(0) + B(1)u(1) \text{ и т. д.}$$

Если для $t > i$ определить

$$\Phi(t, i) = \prod_{i=1}^{t-1} A(i) = A(t-1)A(t-2)\dots A(i+1)A(i), \quad (6.20)$$

$\Phi(t, t) = I$ - единичная матрица, то

$$x(t) = \Phi(t, 0)x(0) + \sum_{i=1}^{t-1} \Phi(t, i+1)B(i)u(i). \quad (6.21)$$

Первейшая функция управляющего устройства (УУ) состоит в принятии решений, которые определяют дальнейшую последовательность действий организации (диагностической системы управления).

В таком случае усилия будут направлены на определение условий, которым должны удовлетворять матрицы A и B .

В случае линейных систем интерес представляют состояния, достижимые из нулевого начального состояния $x(0) = 0$. Тогда траектория описывается выражением:

$$x(t) = A^t x(0) + \sum_{j=0}^{t-1} A^{t-j-1} B u(j) = \quad (6.22)$$

$$= [A^{t-1}B : A^{t-2}B : \dots : B] \cdot \begin{bmatrix} u(0) \\ u(1) \\ \vdots \\ u(t-1) \end{bmatrix}$$

где x — требуемое состояние. Здесь использован тот факт, что $A^t x(0) = 0$. Таким образом, множество состояний, достижимых из нулевого состояния $x(0)$ за время t , совпадает с множеством значений линейного преобразования

$$Q = [A^{t-1}B, A^{t-2}B, \dots, B] : U^t \rightarrow X \quad (6.23)$$

По этой причине следует, что линейная система (A, B) размерности n достижима из состояния $x(0) = 0$ тогда и только тогда, когда $\text{rank } Q = n$.

Для дальнейших рассуждений рассмотрим обратное движение в пространстве состояний, введя понятие управляемости. Назовём систему (A, B) управляемой, если её можно привести в нулевое состояние из любого другого состояния. Иными словами, для любого состояния $x(0) \in X$ найдется последовательность входных, сигналов $u(0), u(1), \dots, u(t-1)$, такая, что

$$0 = A^t x(0) + \sum_{j=0}^{t-1} A^{t-j-1} B u(j). \quad (6.24)$$

Следовательно, система управляема, тогда, когда существует последовательность $u(0), \dots, u(t-1)$, такая, что

$$A^t x(0) = \sum_{j=0}^{t-1} A^{t-j-1} B v(j), \quad v(j) = -u(j), \quad (6.25)$$

т. е. состояние $A^t x(0)$ достижимо за время t или, другими словами, является линейной комбинацией столбцов Q . Очевидно, что из управляемости следует $\text{rank } Q = n$.

Теперь задача ставится следующим образом. При заданных уравнении состояния $x(t+1) = Ax(t) + Bu(t)$, траектории $x(0), x(1), \dots, u(N-1)$, в которой учитываются ограничения по производственным мощностям, найти матрицы A и B , т. е. найти решение системы линейных уравнений. Получаемые в результате величины суть целей технологических усовершенствований. Разумеется, эту схему рассуждений можно обобщить и применять к другим моделям, невзирая на то, используются ли уравнения состояния на микроэкономическом или макроэкономическом уровне.

Признав полезность изучения поведения вход-выход системы, кратко рассмотрим ту причину, по которой при исследовании проблем управления необходима реализуемость системы. Здесь напомним, что кроме описания соотношения между входом u и выходом системы в виде

$$\begin{bmatrix} x(t+1) \\ y(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \\ u(t) \end{bmatrix} \quad (6.26)$$

имеется возможность описания этой системы разностным уравнением

$$y(t) = CA^t x(0) + \sum_{i=0}^{t-1} T(i,t) u(i). \quad (6.27)$$

В самом деле если A – переходная матрица системы, то

$$y(t) = CA^t x(0) + \sum_{i=0}^{t-1} CA^{t-i-1} Bu(i). \quad (6.28)$$

Соответствующая системе матрица $T(i,t) = CA^{t-i-1}B$ называется весовой матрицей. Говорят, что данная матрица T , реализуемая как весовая матрица конечномерной линейной динамической системы, если существуют матрицы A, B, C , такие, что выходное уравнение справедливо для всех пар (i, t) . Тройка (A, B, C) называется тогда реализацией T . Очевидно, что если данная весовая матрица имеет одну реализацию, то она имеет много реализаций. Например, если F – невыраженная матрица, и если система (A, B) – реализация весовой матрицы T , то путём преобразования $x' = Fx$ получаем другую реализацию (A', B') с теми же самыми характеристиками отношения вход-выход.

Предположим теперь, что имеется выходная функция, либо отражающая указанные положения, либо полученная в результате измерений в представляющей интерес системе, уравнения динамики которой не известны. Для того чтобы управлять такой системой, необходимо построить модель в пространстве состояний, т. е. такую реализацию системы, характеристики входа-выхода которой соответствовали бы имеющейся функции. Необходимо найти такую модель в пространстве состояний, которая была бы как наблюдаемой, так и управляемой. Такая модель называется минимальной реализацией системы. Другими словами при заданном внешнем описании системы линейной функцией вида:

$$f(u(1)u(2)...u(n)) = \sum_i CA^{n-i} Bu(i), \quad (6.29)$$

которая отображает множество U^* выходных последовательностей в выходные сигналы $y \in Y$, будем отождествлять систему (A, B, C) , имеющую минимальную размерность, с поведением f .

Система, подверженная внешним воздействиям, управляется решающим элементом, имеющим доступ к определенным переменным системы, опорному командному входному сигналу и, возможно, источникам возмущений. При управлении с обратной связью берется любое множество входов X_d множество выходов Y и накладывается требование, чтобы выход Y служил входом решающего элемента. Тогда имеем функцию

$$\alpha: X_d \times Y \rightarrow Z \quad (6.30)$$

и считаем, что выход $u(t)$ системы в момент времени t может выражаться в терминах входа системы управления $x_d(t)$ и выхода $y(t)$ с помощью уравнения

$$z(t) = \alpha(x_d(t), y(t)). \quad (6.31)$$

Другими словами, говорят, что z достижимо при входе u и, таким образом, формализован тот факт, что решающий элемент имеет доступ к регулируемой переменной.

Возможно, наиболее привычным и общеупотребительным случаем выбора α является тот, когда $X_d = Y = Z$ — векторные пространства, и

$$\alpha(x_d(t), y(t)) = x_d(t) - y(t). \quad (6.32)$$

Диагностическое управление преследует три цели:

— в отсутствие опорного и возмущающего входных воздействий контур управления, состоящий из комбинации решающего элемента и системы, должен быть устойчивым;

— необходимо регулировать переменную z для всех опорных и возмущающих воздействий в фиксированном известном классе функций времени;

— эти два свойства должны выполняться, несмотря на небольшие изменения определенных параметров системы и решающего элемента. Например, если

$x \in X$ — вектор состояния системы;

$u \in U$ — вектор управляющих входных воздействий;

$f \in X_d$ — вектор возмущающих и эталонных входных воздействий;

$e \in Z$ — регулируемый вектор;

$y \in Y$ — вектор выходных величин;

$x_c \in X_c$ — вектор состояния решающего элемента,

то линейная система может описываться уравнениями

$$x(t+1) = Ax(t) + Bu(t) + Cf(t), \quad (6.33)$$

$$f(t+1) = Hf(t). \quad (6.34)$$

Система и решающий элемент вместе образуют контур, пространство состояний которого определяется прямой суммой

$$X_t = X \oplus X_d, \quad (6.35)$$

$$x_t = \begin{bmatrix} x \\ f \end{bmatrix} \in X_t. \quad (6.36)$$

Устойчивость контура означает, что $x_t(t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$ для всех $x_t(0)$ и $f(0)$. Под составной будем понимать систему

$$x_c(t+1) = A_c x_c(t) + B_c y_c(t), \quad (6.37)$$

$$u(t) = F_c x_c(t) + F y(t), \quad (6.38)$$

такую, что выполняются условия устойчивости контура и регулируемости выхода.

В системе управления с двумя свойствами структурной устойчивости — как внутренней устойчивости, так и регулируемости выхода — должна использоваться обратная связь по переменной регулирования, и в контур обратной связи должна входить подходящая модель диагностической структуры экзогенных переменных, которую системе управления требуется обработать [19].

Уонэм [24] доказал теорему, которая гарантирует при выполнении некоторых условий, что этот принцип работает даже для систем, в которых пространства состояний — обычные множества, а отображения перехода — обычные функции. В работе [24] рассмотрены результаты Уонэма и обоснована законность применения принципа внутренней модели (ПВМ) для человеконаполненных систем, к которым относятся и диагностические системы

управления, представляющие нечёткие системы. То есть если X – не пустое множество состояний диагностической системы управления, составленной из системы, управляющего устройства и экзогенной системы, которая по предположению работает дискретным образом, $\alpha : X \rightarrow X$ - переходная функция диагностической системы управления, W – множество состояний УУ, $a \cdot b : X \rightarrow W$ - функция, с помощью которой происходит выбор состояний УУ. При этом существует отображение $a : W \rightarrow W$, описывающее динамику УУ, такое, что диаграмма коммутативна.

$$\begin{array}{ccc} X_+ & \xrightarrow{a_+} & X_+ \\ b_+ \downarrow & & \downarrow b_+ \\ W & \xrightarrow{\bar{a}} & W \end{array}$$

Здесь X_+ - инвариантное пространство; $a_+ = \alpha|_{X_+} : X_+ \rightarrow X_+$ - поддействие в X , индуцированное экзосистемой, и $b_+ = b|_{X_+}$.

Теорема Уонэма - коммутативная диаграмма в определённых условиях:

$$\begin{array}{ccc} F(X_+) & \xrightarrow{Ta_+} & F(X_+) \\ Tb_+ \downarrow & & \downarrow Tb_+ \\ F(W) & \xrightarrow{T\bar{a}} & F(W) \end{array}$$

Она означает, что в системе достигается регулируемость выхода, и управляющий элемент содержит динамическую модель некоторой части экзосистемы (регулятор построен в соответствии с ПВМ).

Если теперь принять во внимание, что как экзосистема E , так и управляющий элемент C восприимчивы к присутствию человека – O_E и O_C , то можно определить другую систему, в которой пространствами состояний будут не X и W , а $F(X)$ и $F(W)$, т. е. все «предпочтения», которые может выразить O_E на множестве X_+ и O_C на множестве W , причём динамика этих «предпочтений» T_{a_+} и $T_{\bar{a}}$ совместима с исходной системой.

В теореме утверждается, что когда управляющий элемент построен в соответствии с ПВМ, то O_C (лицо, которое управляет регулятором, например руководитель диагностической системы управления ПНК) должно «чувствовать» предпочтения O_E (лица, управляющего экзосистемой, - главного инженера) для того, чтобы достичь хорошего управления.

При этом состояние управляемого объекта «Система контроля – ПНК» определяется функцией перехода системы диагностического управления из одного состояния в следующее под воздействием управления:

$$d(x, \varepsilon) = \min(\mu(x), \lambda(\varepsilon)), \quad (6.39)$$

где $\mu : X \rightarrow [0, 1]$ – нечёткое подмножество пространства состояний X , $\lambda : \varepsilon \rightarrow [0, 1]$ – нечёткое подмножество допустимых управлений $\bar{\varepsilon}(t)$.

Переходная функция d определяется на основе использования линейной модели – уравнения состояния:

$$\tilde{x}(t+1) = \tilde{x}(t) + \tilde{\varepsilon}(t-1), \quad (6.40)$$

где $\tilde{x}(t) : X \rightarrow [0, 1]$ и $\tilde{\varepsilon}(t-1) : \varepsilon \rightarrow [0, 1]$ – два нечётких множества. Состояние системы определено:

$$\begin{aligned} \tilde{x}(t+1) : (X + \varepsilon) &\rightarrow [0, 1], \\ \tilde{x}(t+1) &= \sup_{(x+\varepsilon) \in (X+\varepsilon)} \min(\tilde{x}(t), \tilde{\varepsilon}(t)). \end{aligned} \quad (6.41)$$

Выражение (6.41) определяет достижение требуемого состояния агрегатов и систем ПНК при минимальных и достаточных затратах.

Отметим, что задание конкретной входной управляющей последовательности означает задание *закона управления*. Если закон управления минимизирует ошибку управления, то оно называется оптимальным, а критерием оптимальности является критерий минимума ошибки. Планируя траекторию в пространстве состояний, можно потребовать, чтобы удовлетворялись другие критерии, например, обеспечивались наименьшие затраты ресурсов. Кроме этого, можно рассматривать критерии наименьшего времени движения, наиболее интенсивного движения или некоторую взвешенную комбинацию этих критериев.

7 ЯЗЫК ПРОГРАММИРОВАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ АВИОНИКИ

7.1 Назначение.

Алфавит и знаки системы МАСКА предназначены для формализации информационного обмена между средствами информационно-технологической подготовки процессов контроля и собственно средствами контроля для выполнения процессов контроля, измерения параметров, диагностики и локализации дефектов и неисправностей, получения и обработки контрольно-измерительной информации и пр. процессов, связанных с контрольно-измерительными операциями.

Алфавит устанавливает формализованное описание процессов контроля объектов (ОК) электротехнического оборудования и последовательности его выполнение, оформленное в виде конечных файлов, описывающих функционирование фрагментов схемы или схемы в целом, оформленных, как кадры контроля и в своей совокупности составляют программу контроля электросборки, блока, системы и т. д.

Буквы и знаки алфавита максимально приближены к алфавиту описания электрических схем по ГОСТу, а идентификация входных и выходных точек ОК описывается в реальных адресах схемы. Комментарии пишутся на русском или другом любом языке.

Арабские или римские цифры при буквах алфавита и их сочетаниях несут общеизвестный их смысл.

7.2 Семантика алфавита

@ - символ визуального контроля.

F, f – обозначение защиты сети или электрической цепи (АЗС, АЗФ, предохранители и др.).

H, h – световая индикация различных процессов.

L, l – операция измерения индуктивности электрической цепи.

N, n – обозначение точки, на которой в корпусном кадре не должно быть "минуса" при опросе.

O, o – обозначение точки отключения сигнала

P, p – обозначение точки контроля ручной операции.

R, r – операция измерения активного сопротивления электрической цепи.

S – ручная операция включения/выключения/переключения, нажатие кнопки и т. п.

T, t - операция контроля трехфазного напряжения.

u – операция измерения напряжения переменного тока.

U – операция измерения напряжения постоянного тока.

v - опрос всех перечисленных адресов выходов считываются со знаком '+'.
V – опрос всех перечисленных адресов выходов считываются со знаком '-'.

W - обозначение точки контроля ручной операции в корпусной цепи.

w – обозначение точки контроля ручной операции - после проведения некоторой операции на точке при опросе должен быть считан "плюс".

д – операция проверки диода.

к – операция контроля корпусной цепи.

C, c - операция измерения емкости электрической цепи.

X, x, – обозначение точки коммутации, разъёмного или неразъёмного соединения, клемма клеммной колодки и т. п.

Ш, ш – Обозначение шины электрического соединения всех приходящих на неё проводников.

7.3 Знаки алфавита

‘*’ – знак обозначения монтажного кадра.

‘.’ – знак разделения номера разъема и номера клеммы, значение которого соответствует пробелу.

/ - знак разделения.

+ - знак полярности напряжения.

7.4 Общие сведения о программе контроля

Программа контроля электросборки (в дальнейшем ПК) представляет собой текстовый файл, состоящий из строк длиной не более 80 символов. ПК может быть составлена с использованием автоматизированной подготовки программ контроля, либо вручную с использованием любого редактора текста, например, WORD.

Каждая электросборка имеет шифр - индивидуальное обозначение, позволяющее однозначно ее идентифицировать. Именем файла, содержащего ПК, является шифр сборки по КД (не более 20 символов), расширение имени файла - pk.

Например, sborka.pk - файл, содержащий программу контроля сборки с наименованием "sborka".

7.5 Структура, типы и форматы кадров контроля (проверок)

7.5.1 Структура ПК.

Структуру ПК составляют кадры контроля. Каждый кадр содержит несколько текстовых строк. В каждой строке ПК описывается действие, осуществляемое в процессе контроля либо программой "МАСКА-ПК" - автоматически, либо оператором, если он выбрал ручной режим. В частности, для каждого кадра задается перечень клемм на разъемах в реальных адресах (адреса по КД) контролируемого объекта с описанием воздействия на каждую клемму, и перечисляются адреса точек выхода контрольно-стимулирующего сигнала и адреса точек измерительных сигналов с указанием их номиналов.

7.5.2 (He)Зависимость кадров.

Кадр называется независимым, если результат его выполнения не зависит от предыдущих кадров. (Действия, указанные в строках данного кадра, гарантированно приводят электросборку в состояние, необходимое для проверки, целью которой является данный кадр, без каких-либо дополнительных условий). Перед выполнением независимого кадра программа системы МАСКА проводит предварительные действия с целью отключения всех запитанных ранее точек. Исключение - если в независимом кадре подлежит стимулированию точка, запитанная ранее. Тогда в целях "экономии действий" эта точка остается.

Независимые кадры могут выполняться в любой последовательности, в любой момент времени в силу своей независимости.

Кадр зависим от предыдущего, если для приведения сборки в состояние, необходимое для проверки, необходимы действия, указанные в строках не только данного кадра, но и предыдущего (или нескольких предыдущих). Таким образом, зависимые кадры могут образовывать непрерывную цепочку. Перед выполнением зависимого кадра никаких действий программа МАСКА не производит.

Зависимые кадры обеспечивают объективность контроля только при условии их последовательного выполнения.

Автоматизированный способ составления программ контроля, реализованный в САПР ПК, обеспечивает независимость всех кадров. При ручном формировании ПК по желанию составителя возможна как та, так и другая идеология, равно как и совмещение в одной ПК цепочек зависимых кадров с независимыми.

7.5.3 Типы признаков кадров.

Первый символ первой строки кадра определяет его тип и называется "признаком кадра".

Программа "МАСКА" обрабатывает кадры следующих типов:

- '*' - монтажный (обычный),
- 'к' - монтажный - контроль корпусной цепи,
- 'U' - контрольно-испытательный - контроль спец. напряжений,
- 'Т' - контрольно-испытательный - контроль трехфазного напряжения,
- 'd' - кадр проверки диода,
- 'г' - кадр измерения сопротивления,
- 'l' - кадр измерения индуктивности,
- 'с' - кадр измерения емкости,
- 'u' - кадр измерения постоянного напряжения.

Пример кадра, описанного одной строкой:

U x1.18 x1.19 ~115

Особенности построения кадров каждого типа будут изложены ниже по тексту.

7.5.4 Признаки (не)зависимости ('s','z').

Вторым символом в кадре, вслед за признаком кадра, идет "признак независимости". Зависимый кадр обозначается символом "z", независимый - "s".

Пример первой строки независимого кадра:

*s+ 27 x1.3

Пример первой строки зависимого кадра:

*z+ 27 x1.2

Правила построения строк ПК описаны ниже по тексту.

7.5.5 Типы и признаки строк.

Каждая строка ПК, кроме первой, начинается символом "признак строки", определяющим конкретный тип воздействия на объект контроля. В первой строке признак строки располагается в третьей позиции – после признака кадра и признака независимости.

Признаки строк обозначаются следующими символами:

- 1) '+', '-', 'O', 'v', 'V', 'w', 'W', 'p', 'P', 'N', 'o'
- 2) 'S', '@', '/', " ", '<', '>', '=', '!'.

Признаки строк логически подразделены на 2 группы (по строкам): в строке 1) представлены "типы точек", т.е. варианты возможных воздействий на конкретный адрес в проверяемом объекте, в строке 2) - "типы действия", т.е. варианты некоторых общих действий или описания чего-либо.

7.5.6 Признаки строк – типы точки.

При описании воздействий на конкретную точку сборки указывается шифр разъема, номер клеммы в нем и признак действия.

Символы первой группы классифицируют принадлежность адреса к одному из следующих типов:

- '+' - подключить точку на шину "плюс",
- '-' - подключить точку на шину "минус",
- 'O' - отключить точку от шины, к которой она была ранее подключена,
- 'v' - считать с точки при опросе "плюс",
- 'V' - считать "минус",
- 'w' - точка контроля ручной операции - после проведения некоторой операции на точке при опросе должен быть считан "плюс",
- 'W' - точка контроля ручной операции в корпусной цепи – должен быть считан "минус",
- 'p' - точка контроля ручной операции - должен исчезнуть "плюс",
- 'P' - точка контроля ручной операции - должен исчезнуть "минус",
- 'N' - точка, на которой в корпусном кадре не должно быть "минуса" при опросе,

‘o’ - точка отключения (на точку подается сигнал +27в, а затем в том же кадре сбрасывается).

Например, в файле кадр записан следующим образом:

```
*z- 27 x1.1  
+27 x1.2  
+27 x1.6  
+27 x1.26  
vx2.23  
vx1.2
```

Это значит, что

- 1) кадр зависим от предыдущего,
- 2) на 1 клемму разъема x1 необходимо подать -27в;
- 3) на 2 ,6 и 26 клеммы того же разъема необходимо подать +27в;
- 4) ответные сигналы должны появиться на 23 клемме разъема x2 и 2 клемме разъема x1.

7.5.7 Признаки строк – типы действия.

Во второй группе представлены признаки строк, в которых задаются либо воздействия не на конкретный адрес, а на сборку в целом, либо описание чего-либо. После каждого типа действия следует соответствующий текст, выражающий смысл действия:

символ - тип действия: содержание последующего текста.

‘/’ - комментарий: /ПК составлена Ивановым И.И./.

‘S’ - контроль ручной операции: /переключи тумблер А1 в положение 2/.

‘@’ - визуальный контроль: /горит табло "шасси выпущено"/.

“ ” - описание цепи и перечень точек цепи согласно принципиальной схеме.

‘<’ - проверка реле времени: 25 - сигнал сбрасывается после указанного в тексте срока секундах.

‘>’ - то же: сигнал устанавливается после указанного срока 20 с.

‘=’ - то же: в течение заданного времени 15 с временного промежутка сигнал отсутствует.

‘!’ - установочная операция над эл.сборкой: /Тумблер SA1 должен быть включен !!!/.

7.5.8 Монтажные кадры.

Кадры типа ‘*’ предназначены для проверки правильности монтажа электрической цепи. Монтажный кадр может содержать строки следующих типов:

- 1) ‘+’, ‘-’, ‘O’, ‘v’, ‘V’, ‘w’, ‘W’, ‘p’, ‘P’, ‘o’,
- 2) ‘S’, ‘@’, ‘/’, “ “, ‘<’, ‘>’, ‘=’.

Строки типов 1), т.е. от ‘+’ до ‘o’, содержат следующие поля:

<тип точки>
<номинал напряжения> (для типа точки '+')
<наличие/отсутствие спец. напряжения>
<шифр разъема>
<номер клеммы>
<признак принадлежности точки к цепи проверки изоляции>

Пример 1:

tx1.2
+ 27 x2.3 - x1.3

Если номинал напряжения для типа точки + соответствует уровню 27 В, то номинал напряжения можно не указывать, т. е. пример 1 можно записать:

Пример 1:

tx1.2
+x2.3 - x1.3

Символом 't' отмечено, что на клемму 2 разъема x1 подается спец. напряжение. Особенности ПК для эл.сборок со спец. напряжениями описаны ниже по тексту.

Если в конце строки типа 1) присутствует символ 'i', это означает, что точка является входной в цепи проверки изоляции.

Строки типов 2) описаны выше.

7.5.9 Особенности употребления пробелов разделителей.

Между шифром разъема и номером клеммы **ОБЯЗАТЕЛЕН ПРОБЕЛ** или **ТОЧКА** для идентификации адреса! Остальные поля разделять пробелами необязательно - только по желанию составителя ПК для повышения ее читабельности.

Пример 1:

+27tx1 2 - правильно,
+27tx1.2 - правильно,
+27tx12 - неправильно, т.к. программа поймет данное выражение следующим образом: шифр разъема "x12", номер клеммы не указан.

РЕКОМЕНДУЕТСЯ указывать пробел на месте отсутствующего спец. напряжения.

Пример 2:

+27 x1.2

Пробелы могут присутствовать между любыми полями в любом количестве. Строка из примера 1 может выглядеть, например, так:

Пример 3.

+ 27 t x1 2

Итак, пробел **ОБЯЗАТЕЛЕН** между шифром разъема и номером клеммы, **ЖЕЛАТЕЛЕН** на месте отсутствующего спец. напряжения и **ВОЗМОЖЕН** между любыми другими полями.

7.5.10 Монтажный кадр с контролем ручной операции.

Данный кадр предназначен для проверки срабатывания выключателей, тумблеров и т.п.

В строке типа 'S' должна содержаться информация о проверяемом объекте (например, "тумблер S1") и о выполняемом над ним действии (например, "включи", "выключи", переключи").

После строки типа 'S' **ОБЯЗАТЕЛЬНА** строка, содержащая точку одного из следующих типов:

'w' - точка контроля ручной операции - после проведения некоторой операции на точке при опросе должен быть считан "плюс",

'W' - точка контроля ручной операции в корпусной цепи – должен быть считан "минус",

'р' - точка контроля ручной операции - должен исчезнуть "плюс",

'Р' - точка контроля ручной операции - должен исчезнуть "минус".

Пример монтажного кадра с контролем ручной операции:

*z+ 27 x1.3

0x1.2

S Тумблер S1: Включи

wx1.4

Клемма 4 разъема x1 является контрольной для проверки включения тумблера.

В кадре не может быть более одной контрольной точки - при любом числе ручных операций!

В некорпусном кадре не может быть контрольных точек типа 'W' и 'Р'.

Особенности выполнения кадра с контролем ручной операции - см. "Руководство оператора".

7.5.11 Монтажный кадр с визуальным контролем.

Данный кадр предназначен для проверки срабатывания сигнальных, ламп, табло и т.п.

В строке типа '@' должно содержаться **ТОЛЬКО НАЗВАНИЕ** проверяемого объекта (например, табло "пристегните ремни"). В случае неисправности при анализе данного кадра программа **МАСКА** добавляет перед текстом, указанным в строке '@', слова "Не горит".

Пример монтажного кадра с визуальным контролем:

*s- x1.15
+ 27 x1.12
vx1.17
@ Горит лампа Л1

7.5.12 Монтажный кадр с реле времени.

При наличии в цепи реле времени может проверяться одно из следующих условий:

- '<' сигнал сбрасывается после указанного в тексте срока,
- '>' сигнал устанавливается после указанного срока,
- '=' в течение заданного временного промежутка сигнал отсутствует.

Строка любого из указанных типов должна располагаться ПОСЛЕ точки, являющейся контрольной для данного реле времени.

После типа реле следует указать время в секундах в формате вещественного числа.

Пример кадра с реле времени.

*s-x1 21
+ 27 x1 23
+ 27 x1 20
v x1 22
>20.
v x1 24
<25.

Контрольное время срабатывания 20 сек проверяется проверкой появления ответного сигнала от точки x1 22, а время 25 сек контролируется точкой x1 24.

7.5.13 Кадр контроля корпусной цепи 'k'.

Кадры типа 'k' предназначены для проверки правильности монтажа электрической цепи, имеющей выход на корпус. Подобный кадр может содержать строки таких же типов, как и монтажный.

Особенностью кадра для проверки корпусной цепи является наличие строк, начинающихся символом 'N' и описывающих точки, в которых при опросе не должен считываться '-'. Поскольку опрос на минус в корпусной цепи выявляет множество ответных сигналов, контрольными являются точки, на которых он отсутствует, т.е. точки типа 'N'. В остальном с точки зрения построения корпусной кадр идентичен монтажному.

7.5.14 Кадр проверки диода 'd'.

Первая строка кадра проверки диода имеет следующий формат:

<d> <признак (не)зависимости> <адрес_1> <тип_1> <адрес_2> <тип_2>

<d> - признак кадра проверки диода,

<s> или <z> - признак (не)зависимости кадра,

<адрес 1> и <адрес 2> - шифры разъемов и номера клемм анода и катода,

<тип 1> и <тип 2> -указатель анода (<a>) или катода (<k>).

Пример: первая строка кадра для проверки диода:

```
ds x1 1 a x1 3 k
```

В данном примере клемма 1 разъема x1 является анодом, а клемма 3 того же разъема, соответственно, катодом.

Анод и катод могут быть описаны в произвольном порядке, т.е. фрагмент из приведенного выше примера может выглядеть следующим образом:

```
ds x1.3 k x1.2 a
```

Анод и катод НЕ МОГУТ БЫТЬ ОДНОВРЕМЕННО подключены к шинам '+' или '-'.

В кадре проверки диода могут присутствовать также строки со следующими признаками: '+', '-', 'O', 'v', 'V', '/'.

7.5.15 Измерительные кадры.

Система МАСКА обрабатывает измерительные кадры следующих типов:

'r' - кадр измерения сопротивления,

'l' - кадр измерения индуктивности,

'c' - кадр измерения емкости,

'u' - кадр измерения постоянного напряжения.

Первая строка измерительного кадра содержит следующие поля:

<тип измерения>

<номинал измеряемого параметра>

<допустимое отклонение от номинала в процентах>

<код>

<адрес 1 точки цепи>

<адрес 2 точки цепи>

Адреса двух точек разделяются пробелом.

Первая из указанных точек будет подключена либо к шине '+27 В', либо '-27 В' - в зависимости от кода. Вторая точка подключается к измерительной шине.

Измерительный кадр всегда независим, более того – перед его выполнением система МАСКА производит "общий сброс", т.е. все ранее запитанные точки отрываются от соответствующих шин, поэтому в структуре измерительного кадра не предусмотрено поля для (не)зависимости кадра.

Например, в файле кадр представлен следующим образом:

```
r200 10 % + x1.2 x1.11
+x2.2 -x1.17 -x2.8 -x1.23
```

Это значит, что необходимо произвести замер сопротивления, выбрав и подав соответствующие сигналы на указанные точки. Результат измерения будет считаться нормальным, если полученное значение лежит в интервале 180 - 220 Ом.

7.5.16 Контрольно-испытательные кадры.

Кадр контроля спец. напряжений.

Формат первой строки контрольно-испытательного (К-И) кадра для контроля спец. напряжений:

```
<U> <адрес_1> <адрес_2> <~> <номинал>
<U> - признак К-И кадра,
<адрес_1> и <адрес_2> - адреса двух точек цепи,
<~> (< >) - признак переменного (постоянного) напряжения,
<номинал> - номинал измеряемого спец. напряжения.
```

Пример:

```
U x1 18 x1 19 ~115
```

В строках К-И кадра с номерами > 2 могут быть только строки типа '+' или '-'.

Контроль трехфазного напряжения.

Формат первой строки контрольно-испытательного (К-И) кадра для контроля трехфазного напряжения:

```
<T> <адрес_1> a <адрес_2> b <адрес_3> c <номинал>.
<T> - признак К-И кадра для контроля трехфазного напряжения,
<адрес_1> <...2> <...3>- адреса точек фаз a,b,c соответственно,
<номинал> - номинал напряжения.
```

Пример:

```
T x1.4 a x1.5 b x1.6 c 200
+x2.4 -x2.2
```

Строки К-И кадра с номерами > 2 могут быть только типов '+' или '-'.

8. ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

8.1 Основные критерии оценки

При организации процессов диагностирования естественно возникают вопросы оценки качества используемых тестов и диагностических процедур. Наиболее важными и часто используемыми оценками являются: полнота контроля, глубина поиска неисправностей, достоверность контроля.

В ГОСТ 20911-89 даются следующие определения этих оценок.

Полнота контроля – характеристика, определяющая возможность выявления отказов (неисправностей) в объекте при выбранном методе его диагностирования (контроля).

Глубина поиска места неисправностей – характеристика, задаваемая указанием составной части объекта с точностью, до которой определяется место отказа (неисправности).

Достоверность контроля – степень объективного соответствия результатов диагностирования (контроля) действительному техническому состоянию объекта.

Рассмотрим, как получают численные значения выше указанных оценок.

8.2 Полнота контроля

Полнота контроля – основной критерий оценки качества тестов, процедур контроля и тестовой информации, применяемых на практике. Обычно она вычисляется в виде процента проверяемых неисправностей по формуле:

$$П_1 = [(G - G_1) / G] \times 100 \%,$$

где G – число всех допустимых неисправностей;

G_1 – число непроверяемых неисправностей.

С увеличением сложности ОД обычно возрастает число условно проверяемых неисправностей. Причем их поиск – наиболее неприятная и сложная проблема.

При наличии условно проверяемых неисправностей для оценки полноты контроля целесообразно дополнительно применять еще две формулы:

$$П_2 = \left\{ \left[G - \left(G_1 + \sum_{k=1}^{G_2} m_k \right) \right] / G \right\} \times 100 \%,$$

$$П_3 = \left\{ \left[G - (G_1 + G_2) \right] / G \right\} \times 100 \%,$$

где G_2 – число условно проверяемых неисправностей;

m_k – вероятность непроверки k -ой неисправности из числа условно проверяемых.

Фактически оценки $П_1$ и $П_3$ дают верхнюю и нижнюю границы возможных значений полноты проверки. Значение $П_2$ ($П_3 < П_2 < П_1$) определяется с учетом вероятностей непроверки условно проверяемых неисправностей. При большом числе условно проверяемых неисправностей $П_2$ может стать основной оценкой.

Если имеются данные (например, в виде ТФН) о поведении исправного ОД и с неисправностью, то достаточно легко определить число непроверяемых и условно проверяемых неисправностей и вычислить Π_1 и Π_3 . Для вычисления Π_2 необходимо дополнительно уметь определять значения m_k .

Рассмотрим, как определять значения m_k для цифровых и аналоговых КП. При этом будем считать значения КП случайными величинами, так как нам неизвестны техническое состояние ОД и точные значения характеристик его элементов.

Пусть на ОД подается последовательность $E = e_1, \dots, e_n$ тестовых наборов, $S = \{s_1, \dots, s_r\}$ – множество допустимых неисправностей, $W = \{w_1, \dots, w_m\}$ – множество КП.

8.3 Глубина поиска неисправностей

Для численной оценки глубины поиска неисправностей, которую можно получить при диагностировании, применяются различные формулы.

Рассмотрим три оценки, отражающие различные стратегии ремонта.

$$R = \sum_{j=1}^r p_j m_j \text{ – разрешающая способность диагностирования.}$$

$$N(I) = \sum_{j=1}^r p_j g_j \text{ – риск оператора.}$$

$$H = \sum_{j=1}^r p_j \log_2 m_j \text{ – энтропийный показатель.}$$

В приведенных формулах p_j – вероятность неисправности $s_j \in S$ ($j = 1, \dots, r$); m_j – среднее число неисправностей в СПН при наличии неисправности s_j ; I – заданная последовательность анализа неисправностей в СПН; g_j – среднее число неисправностей, анализируемых в СПН до неисправности s_j .

Общим для всех анализируемых критериев является то, что с уменьшением их значений увеличивается глубина поиска неисправности. Это означает, что из множества анализируемых вариантов оптимальным является тот, для которого получено минимальное значение. Процессы диагностирования и ремонта объектов на практике могут осуществляться по-разному. Ограничимся рассмотрением двух наиболее распространенных способов реализации этих процессов. Первый из них заключается в определении СПН и замене всех компонентов, связанных с неисправностями из СПН. Заметим, что некоторые из заменяемых компонентов могут быть исправными, например, в силу неразличимости неисправностей или из-за несовершенства теста. При этом, очевидно, трудоемкость и экономичность такого способа определяется мощностью СПН. Нетрудно заметить, что данный способ полностью согласуется с критерием R . Действительно, разрешающая способность диагностирования численно равна среднему числу неисправностей в одном СПН, и, следовательно, оптимизация по критерию R ведет к уменьшению числа

устанавливаемых в процессе диагностирования и устраняемых в процессе ремонта дефектных компонентов объекта.

Смысл критериев достаточно прост. Значение R , названного разрешающей способностью диагностирования, численно равно среднему числу неисправностей в одном СПН и находится в пределах от 1 (все неисправности различимы) до r (все неисправности неразличимы). Этот критерий соответствует такой технологии ремонта, когда после формирования СПН заменяются все подозреваемые на неисправность компоненты. Значение критерия $N(I)$, названного риском оператора, равно среднему числу неисправностей в одном СПН с номерами, меньше номера фактической неисправности объекта. Это значение изменяется от 0 (все неисправности различимы) до $(r - 1)/2$ (все неисправности неразличимы).

Второй критерий (в отличие от первого) предполагает, что замене подлежат только неисправные компоненты. Для этого необходимо после нахождения СПН уточнить место фактической неисправности объекта. На практике определение фактической неисправности может заключаться в поочередном просмотре элементов СПН до тех пор, пока неисправность не будет установлена. При этом просмотр неисправностей осуществляется в некотором заданном порядке, например, в порядке возрастания схемных номеров подозреваемых на неисправность элементов. Значение N численно равно среднему числу неисправностей из СПН, которые необходимо проанализировать оператору для точного установления неисправного элемента.

Критерий N численно равен среднему числу шагов, за которое можно выделить любую неисправность в СПН путем последовательного деления (на каждом шаге) множества неисправностей СПН пополам. Если определение фактической неисправности из СПН выполняется именно таким образом и затраты на реализацию каждого шага (деления множества неисправностей пополам) равноценны, то оценку качества теста целесообразно проводить с использованием критерия N . Его значение равно среднему значению логарифма по основанию 2 от числа неисправностей в одном СПН и находится в пределах от 0 (все неисправности различимы) до $\log_2 r$ (все неисправности неразличимы).

Остановимся более подробно на правилах вычисления R , $N(I)$ и N . В их формулы входят аргументы m_j и g_j , которые, в свою очередь, могут быть вычислены по формулам:

$$m_j = \sum_{i=1}^r m_{ij} \quad \text{и} \quad g_j = \sum_{s_i \in C_j} m_{ij},$$

где m_{ij} – вероятность включения s_i в СПН при наличии в ОД неисправности $s_j \in S$; C_j – список неисправностей, перечисленных в СПН до s_j (например, пусть $СПН = \{s_5, s_4, s_3, s_2, s_1\}$, тогда $C_3 = \{s_5, s_4\}$).

Таким образом, для вычислений всех рассматриваемых оценок необходимо уметь вычислять m_{ij} .

Рассмотрим правила вычисления значения m_{ij} . Они аналогичны тем, которые применялись при вычислении вероятности m_k (то есть вероятности непроверки неисправности s_k , использовавшейся для оценки полноты контроля).

Очевидно, что здесь также $0 < m_{ij} < 1$. Если неисправности s_i и s_j различимы, то $m_{ij} = 0$; если неисправности неразличимы – $m_{ij} = 1$.

8.4 Достоверность контроля

Достоверность контроля есть мера определенности результатов контроля. Любая система контроля работает с ошибками. Кроме того, контролю подвергается только часть параметров ОД. Поэтому получаемая в результате контроля информация содержит неопределенность. Достоверность контроля зависит от точности измерений и объема контроля.

Решение о техническом состоянии ОД принимается на основе сравнения показателя качества с допусками. Показатель качества вычисляется по измеренным значениям контролируемых параметров. Поэтому достоверность контроля есть достоверность принятия решений по показателям качества.

Наряду с достоверностью по показателю качества рассматривают понятие достоверности по параметру. Достоверность по показателю качества выражается через достоверности по параметрам.

Существует несколько различных численных оценок достоверности (абсолютная, относительная, методическая и т.п.). Мы рассмотрим формулы для определения абсолютной достоверности и ее основных составляющих, которые используются при вычислениях и других видах достоверности.

Абсолютная достоверность результатов контроля – вероятность принятия правильного решения:

$$D = 1 - P_{\text{ош}} = 1 - (a + b),$$

где a – риск изготовителя (вероятность того, что работоспособный объект признан негодным);

b – риск заказчика (вероятность того, что неработоспособный объект признан годным).

В процессе определения технического состояния сложной системы при контроле каждого параметра возможны следующие независимые и единственно возможные события: годный параметр оценивается системой контроля как годный; годный параметр оценивается системой контроля как негодный; негодный параметр оценивается системой контроля как негодный; негодный параметр оценивается системой контроля как годный.

Под годным понимается параметр, находящийся в пределах установленного допуска, под негодным – параметр, вышедший за пределы допуска.

Введем следующие обозначения: A_i – i -ый параметр годный; A_i^* – i -ый параметр негодный; B_i – i -ый параметр оценивается системой контроля как годный; B_i^* – i -ый параметр оценивается системой контроля как негодный.

Тогда перечисленные выше сложные события можно записать в виде $A_i B_i$, $A_i B_i^*$, $A_i^* B_i$, $A_i^* B_i^*$, а вероятности – соответственно $P(A_i B_i)$, $P(A_i B_i^*)$, $P(A_i^* B_i)$, $P(A_i^* B_i^*)$. Выражение $A_i B_i^*$ означает, например, что годный параметр оценивается системой контроля как негодный.

Указанные события составляют полную группу событий, поэтому сумма их вероятностей равна единице:

$$P(A_i B_i) + P(A_i B_i^*) + P(A_i^* B_i) + P(A_i^* B_i^*) = 1.$$

Неправильная оценка параметров системой контроля имеет место при наступлении событий $A_i B_i^*$ и $A_i^* B_i$. Тогда достоверность контроля параметра (D_i), под которой понимается вероятность правильной оценки системой контроля состояния i -го параметра, выражается формулой:

$$D_i = P(A_i B_i) + P(A_i^* B_i^*).$$

Вероятность неправильной оценки состояния i -го параметра представляет собой сумму ошибок первого рода ($P(A_i B_i^*)$ – риск изготовителя) и второго рода ($P(A_i^* B_i)$ – риск заказчика).

Вышеуказанные вероятности можно определить по характеристикам параметра и системы контроля (величине допуска, среднему квадратическому отклонению, точности измерения).

Например, вероятность того, что годный параметр оценивается как годный

$$P(A_i B_i) = \int_{a_i}^{b_i} f(x_i) \left[\int_{a_i - x}^{b_i - x} f_1(t_i) dt_i \right] dx_i,$$

где $f(x_i)$ и $f_1(t_i)$ – соответственно плотности распределения параметра x_i и ошибки измерений t_i ;

a_i и b_i – соответственно нижняя и верхняя границы допуска на i -ый параметр.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990.
2. ГОСТ 27002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990.
3. Микропроцессорная автоматизированная система контроля авионики МАСКА: отчет о НИР (заключ.): № гос. регистрации 01200701841; рук. А. А. Коптев; исполн. В. А. Прилепский и др.- Самара. 2009. – 72с.
4. Пат. 2377585 Российская Федерация, МПК G01R31/02. Автоматизированная система контроля монтажа, параметров электрических цепей и диагностики неисправностей сложных устройств электроаппаратуры и токораспределительных сетей/Прилепский В. А., Коптев А. Н., Прилепский И. В.; Заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью “2ПР”. - №2008114722/28; заявл. 14.04. 08; опубл. 20.10.09

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Стыковочная карта

“БВП Системы воздушных сигналов СВС-72 Ан-74”

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА:

СБОРОЧНЫЙ ЧЕРТЁЖ:

КАТАЛОГ:

РАЗРАБОТЧИК:

ПЕРЕЧЕНЬ МОДИФИКАЦИЙ И СЕРИЯ ДЕЙСТВИЯ

№ пункта перечня	Имя файла программы контроля	Серия действия						
1.	Проверка БВП							
МАСКА	СТЫКОВОЧНАЯ КАРТА						На 1 листе	
СГАУ	ЭЛ. СБОРКА БВП ВЕРСИЯ Проверка БВП.ТХТ						Лист 1	
№	Разъём, стыковочный элемент изделия			Переходной жгут		Тип и разъём коммутатора		
	Обознач. в эл. схеме	Тип разъёма, бирка провода	Конт.	№ жгута	№ перех. раз.	Тип	Обоз.	Конт.
	X1	РПКМ1-57Ш1В	57Ш	ПК1	1	МКУ	1-1	1-50
	X2	РПКМ1-57Ш1В	57Ш	ПК2	1	МКУ	1-2	1-50

Исходное состояния системы:

1 Установить на авиационной тестирующей станции значения

$$P_{ст} = 760 \text{ мм. рт. ст.}$$

$$P_{п} = 760 \text{ мм. рт. ст.}$$

2 Установить на источнике питания значения

$$U_{вых} = 115 \text{ В}$$

$$f_{вых} = 400 \text{ Гц.}$$

Исходное состояния системы:

1 Установить на авиационной тестирующей станции значения

$$P_{ст} = 760 \text{ мм. рт. ст.}$$

$$P_{п} = 760 \text{ мм. рт. ст.}$$

2 Установить на источнике питания значения

$$U_{вых} = 115 \text{ В}$$

$$f_{вых} = 400 \text{ Гц.}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Программа контроля СВС1-72

1 Проверка правильности монтажа

Проверка правильности монтажа элементов в модуле 11

/1/

*s +27 x21.8;

vх21.44;

/2/

*s +27 x21.8;

S Кнопку МК2: Нажать;

wх21.4;

/Кнопка МК2 – Кнопка Контроль/

/3/

*s – 27 x21.44;

+27 x20.16;

S Кнопку МК2: Нажать;

@ Лампа Л1: Горит;

/Кнопка МК2 – Кнопка Контроль

Лампа Л1 – Лампа H_{abc} /

/4/

*s – 27 x21.44;

+27 x20.17;

S Кнопку МК2: Нажать;

@ Лампа Л2: Горит;

/Кнопка МК2 – Контроль

Лампа Л2 – Лампа $V_{пр}$ /

/5/

*s – 27 x21.44;

+27 x21.4;

S Кнопку МК1: Нажать;

@ Лампы Л1, Л2: Горят;

wх20.16;

wх20.17;

/Кнопка МК1 – Кнопка Контроль ламп

Лампа Л1 – Лампа H_{abc}

Лампа Л2 – Лампа $V_{пр}$ /

Проверка правильности монтажа элементов в модуле 12

/6/

*s +27 x21.20;

vx21.21;

/7/

*s +27 x21.24;

vx21.25;

/8/

*s +27 x21.41;

vx21.42;

Проверка правильности монтажа элементов в модуле 2

/9/

*s +27 x21.35;

vx21.33;

vx21.34;

Проверка правильности монтажа элементов в модуле 3

/10/

*s +27 x21.31;

vx21.30;

vx21.32;

Проверка правильности монтажа элементов в модуле 4

/11/

*s +27 x20.2;

vx20.1;

vx20.3;

Проверка правильности монтажа элементов в модуле 5

/12/

*s +27 x20.6;

vx20.4;

vx20.5;

Проверка правильности монтажа элементов в модуле 6

/13/

*s +27 x20.24;

vx20.22;

vx20.23;

Проверка правильности монтажа элементов в модуле 8

/14/

*s +27 x21.36;

vx21.33;

vx21.37;

Проверка правильности монтажа элементов в модуле 9

/15/

*s +27 x20.15;

vх20.13;

vх20.14;

Проверка правильности монтажа элементов в модуле 10

/16/

*s +27 x20.9;

vх20.7;

vх20.8;

2 Измерение параметров цепи

Измерение параметров цепи в модуле 11

/17/

d x21.4 а x20.16 к; - проверка диода Д2 прямым напряжением

S Кнопку МК1: Нажать;

/18/

d x21.4 к x20.16 а; - проверка диода Д2 обратным напряжением

S Кнопку МК1: Нажать;

/19/

d x21.4 а x20.17 к; - проверка диода Д3 прямым напряжением

S Кнопку МК1: Нажать;

/20/

d x21.4 к x20.17 а; - проверка диода Д3 обратным напряжением

S Кнопку МК1: Нажать;

/21/

d x21.4 к x2.8 а; - проверка диода Д4 прямым напряжением

S Кнопку МК2: Нажать;

/22/

d x21.4 а x21.8 к; - проверка диода Д4 обратным напряжением

S Кнопку МК2: Нажать;

/23/

Ri 20 10% x21.4 x21.44 x20.16 x20.17;

S Кнопку МК1: Нажать;

S Кнопку измерения: Нажать;

S Кнопку передачи в компьютер: Нажать;

Измерение параметров цепи в модуле 12

/24/

150 5% x21.20 x21.21; - измерение индуктивности вторичной обмотки Тр3

/25/

140 5% x21.24 x21.25; - измерение индуктивности вторичной обмотки Тр1

/26/

140 5% x21.41 x21.42; - измерение индуктивности вторичной обмотки Tr2

/27/

Ri20 10% x21.12 x21.14 x20.20 x20.21 x20.24 x20.25 x20.41 x20.42;

S Кнопку измерения: Нажать;

S Кнопку передачи в компьютер: Нажать;

Измерение параметров цепи в модуле 13

/28/

c150 5% x21.30 x21.39; - измерение емкости конденсатора C1

/29/

c150 5% x21.22 x21.23; - измерение емкости конденсатора C2

/30/

IE P760 Pp760;

/К следующему кадру перейти только после того, как генератор давления создаст заданные значения/

/31/

Q x21.12 x21.14;

/Перейти к следующему кадру только после того, как система отработает заданные значения/

Измерение параметров цепи в модуле 2

/32/

r220 10% x21.33 x21.34; - измерение суммарного сопротивления

/33/

r15 10% x21.34 x21.35; - сопротивление участка потенциометра П2 при Pст=760 мм. рт. ст.

/34/

r135 10% x21.33 x21.35; - сопротивление участка П2 и R8*

/35/

Ri20 10% x21.33 x21.34 x21.35;

S Кнопку измерения: Нажать;

S Кнопку передачи в компьютер: Нажать;

Измерение параметров цепи в модуле 3

/36/

r140 10% x21.31 x21.30; - измерение сопротивления R10 и П3

при 760 мм. Рт.ст

/37/

r90 10% x21.31 x21.32; - измерение сопротивления R9 и П3

при 760 мм. Рт.ст

/38/

Ri20 10% x21.30 x21.31 x21.32;

S Кнопку измерения: Нажать;

S Кнопку передачи в компьютер: Нажать;

Измерение параметров цепи в модуле 4

/39/

r90 10% x20.2 x20.1; - измерение сопротивления R11 и П4
при 760 мм. Рт.ст

/40/

r140 10% x20.2 x20.3; - измерение сопротивления R12 и П4
при 760 мм. Рт.ст

/41/

Ri 20 10% x20.1 x20.2 x20.3;

S Кнопку измерения: Нажать;

S Кнопку передачи в компьютер: Нажать;

Измерение параметров цепи в модуле 5

/42/

r90 10% x20.6 x20.4; - измерение сопротивления R13 и П5
при 760 мм. Рт.ст

/43/

r140 10% x20.6 x20.5; - измерение сопротивления R14 и П5
при 760 мм. Рт.ст

/44/

Ri 20 10% x20.4 x20.5 x20.6;

S Кнопку измерения: Нажать;

S Кнопку передачи в компьютер: Нажать;

Измерение параметров цепи в модуле 6

/45/

r90 10% x20.24 x20.23; - измерение сопротивления R29 и П6
при 760 мм. Рт.ст

/46/

r140 10% x20.24 x20.22; - измерение сопротивления R28 и П6
при 760 мм. Рт.ст

/47/

Ri 20 10% x20.22 x20.23 x20.24;

S Кнопку измерения: Нажать;

S Кнопку передачи в компьютер: Нажать;

Измерение параметров цепи в модуле 8

/48/

r90 10% x21.36 x21.33; - измерение сопротивления R21 и П8
при 760 мм. Рт.ст

/49/

r140 10% x21.36 x21.37; - измерение сопротивления R22 и П8
при 760 мм. Рт.ст

/50/

Ri 20 10% x21.33 x21.36 x21.37;

S Кнопку измерения: Нажать;
S Кнопку передачи в компьютер: Нажать;
Измерение параметров цепи в модуле 9

/51/

r90 10% x20.15 x20.13; - измерение сопротивления R24 и П9
при 760 мм. Рт.ст

/52/

r140 10% x20.15 x20.14; - измерение сопротивления R25 и П9
при 760 мм. Рт.ст

/53/

Ri 20 10% x20.13 x20.14 x20.15;
S Кнопку измерения: Нажать;
S Кнопку передачи в компьютер: Нажать;
Измерение параметров цепи в модуле 10

/54/

r90 10% x20.9 x20.7; - измерение сопротивления R26 и П10
при 760 мм.

/55/

r140 10% x20.8 x20.9; - измерение сопротивления R27 и П10
при 760 мм.

/56/

Ri20 10% x20.7 x20.8 x20.9;
S Кнопку измерения: Нажать;
S Кнопку передачи в компьютер: Нажать;

3 Проверка токов и напряжений

Проверка встроенного контроля СВС

/57/

*s +27 x21.8;
-27 x21.44;

/Источник давления должен создать $P = 760$ мм, $P_{II} = 760$ мм/

/58/

Qz x21.12 x21.14; - подать напряжение ~115 В
@ Лампы Л1, Л2: Не горят; - система обрабатывает контрольные значения

/59/

*s +27 x21.4;
-27 x21.44;

/60/

Qz x21.12 x21.14; - подать напряжение ~115 В
S Кнопку МК2: Нажать;
@ Лампы Л1, Л2: Горят;

/Кнопку МК2 Отпустить ТОЛЬКО после перехода в следующий кадр, к следующему кадру перейти ТОЛЬКО после отработки системой заданного давления/

Измерение параметров при встроенном контроле

/61/

r150 10% x21.33 x21.34; - измерение суммы сопротивлений при встроенном контроле и 760 мм. Рт.ст

/62/

r50 10% x21.34 x21.35; - измерение сопротивления R9 и ПЗ при встроенном контроле и 760 мм. Рт.ст

/63/

r100 10% x21.33 x21.35; - сопротивление участка П2 и R8*

/64/

r100 10% x21.31 x21.30; - измерение сопротивления R10 и ПЗ при 760 мм. Рт.ст

/65/

r130 10% x21.31 x21.32; - измерение сопротивления R9 и ПЗ при 760 мм. Рт.ст

/66/

s130 10% x20.2 x20.1; - измерение сопротивления R11 и П4 при 760 мм. Рт.ст

/67/

r100 10% x20.2 x20.3; - измерение сопротивления R12 и П4 при 760 мм. Рт.ст

/68/

r130 10% x20.6 x20.4; - измерение сопротивления R13 и П5 при 760 мм. Рт.ст

/69/

r100 10% x20.6 x20.5; - измерение сопротивления R14 и П5 при 760 мм. Рт.ст

/70/

r130 10% x20.24 x20.23; - измерение сопротивления R29 и П6 при 760 мм. Рт.ст

/71/

r100 10% x20.24 x20.22; - измерение сопротивления R28 и П6 при 760 мм. Рт.ст

/72/

r130 10% x21.36 x21.33; - измерение сопротивления R21 и П8 при 760 мм. Рт.ст

/73/

r100 10% x21.36 x21.37; - измерение сопротивления R22 и П8
при 760 мм. Рт.ст
/74/

r130 10% x20.15 x20.13; - измерение сопротивления R24 и П9
при 760 мм. Рт.ст

/75/

r100 10% x20.15 x20.14; - измерение сопротивления R25 и П9
при 760 мм. Рт.ст

/76/

r130 10% x20.9 x20.7; - измерение сопротивления R26 и П10
при 760 мм.

/77/

r100 10% x20.8 x20.9; - измерение сопротивления R27 и П10
при 760 мм.

Измерение параметров при заданном давлении

/78/

IE P353 Pp800;

/К следующему кадру перейти только после того, как генератор давления создаст заданные значения/

/79/

Q x21.12 x21.14; - подать напряжение ~115 В

/Перейти к следующему кадру только после того, как система отработает заданные значения/

/80/

r100 10% x21.33 x21.34; - измерение суммы сопротивлений
при встроенном контроле и 323 мм. Рт.ст

/81/

R120 10% x21.34 x21.35; - измерение сопротивления R9 и П3
при встроенном контроле и 323 мм. Рт.ст

/82/

r100 10% x21.33 x21.35; - сопротивление участка П2 и R8*

/83/

r100 10% x21.31 x21.30; - измерение сопротивления R10 и П3
при 323 мм. Рт.ст

/84/

r130 10% x21.31 x21.32; - измерение сопротивления R9 и П3
при 323 мм. Рт.ст

/85/

s130 10% x20.2 x20.1; - измерение сопротивления R11 и П4
при 323 мм. Рт.ст

/86/

г100 10% x20.2 x20.3; - измерение сопротивления R12 и П4
при 323 мм. Рт.ст

/87/

г130 10% x20.6 x20.4; - измерение сопротивления R13 и П5
при 323 мм. Рт.ст

/88/

г100 10% x20.6 x20.5; - измерение сопротивления R14 и П5
при 323 мм. Рт.ст

/89/

г130 10% x20.24 x20.23; - измерение сопротивления R29 и П6
при 323 мм. Рт.ст

/90/

г100 10% x20.24 x20.22; - измерение сопротивления R28 и П6
при 323 мм. Рт.ст

/91/

г130 10% x21.36 x21.33; - измерение сопротивления R21 и П8
при 323 мм. Рт.ст

/92/

г100 10% x21.36 x21.37; - измерение сопротивления R22 и П8
при 323 мм. Рт.ст

/93/

г130 10% x20.15 x20.13; - измерение сопротивления R24 и П9
при 323 мм. Рт.ст

/94/

г100 10% x20.15 x20.14; - измерение сопротивления R25 и П9
при 323 мм. Рт.ст

/95/

г130 10% x20.9 x20.7; - измерение сопротивления R26 и П10
при 323 мм.

/96/

г100 10% x20.8 x20.9; - измерение сопротивления R27 и П10
при 323 мм.

/97/

Окончание проверки.