



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ
АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

ФАКУЛЬТЕТ Авиационных систем и комплексов

КАФЕДРА Технической эксплуатации авиационных электросистем и
пилотажно-навигационных комплексов

Направление подготовки 25.06.01 Аэронавигация и эксплуатация
(код и наименование направления подготовки)
авиационной и ракетно-космической техники

Направленность 05.22.14 Эксплуатация воздушного транспорта
(наименование направленности)

НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Тема Интегрированная система управления техническим состоянием
бортового оборудования с разработкой программного обеспечения

Обучающийся:

Венецкий А.А.

(Ф.И.О.)


(Подпись)

Научный руководитель:

д.т.н., профессор, Кузнецов С.В.

(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)


(Подпись)

Рецензенты:

к.т.н., доцент, Савелов А.А.

(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)


(Подпись)

к.т.н., доцент, Демченко А.Г.

(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)

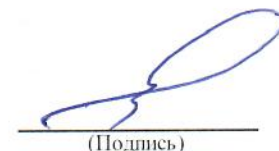

(Подпись)

Работа допущена к защите:

Заведующий кафедрой

д.т.н., профессор, Кузнецов С.В.

(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)


(Подпись)

МОСКВА 2024

Актуальность темы. Во все времена одной из актуальных проблем гражданской авиации является обеспечение безопасности полетов. По этой причине авиационный транспорт считается самым безопасным. Тем не менее, инциденты с авиацией все еще случаются, о чем говорят данные отчетов о безопасности полетов ФАВТ и IATA. По статистическим данным, примерно 20-30% авиационных происшествий случаются по причине отказа авиационной техники.

В связи с этим одним из основных направлений решения проблемы повышения регулярности полетов пассажирских самолетов и обеспечения безопасности полетов в рыночных условиях является современная грамотная эксплуатация комплексов бортового оборудования (КБО). Главным направлением развития авиационных услуг в мире является повышение эффективности эксплуатации гражданских воздушных судов и обеспечение высокого уровня безопасности полетов (БП). Эти две задачи взаимосвязаны, ибо регулярность полетов и их безопасность во многом определяется как архитектурой комплексного бортового оборудования (КБО), так и стратегией его эксплуатации. Поэтому комплексная научная задача по разработке концепции контроля технического состояния КБО на основе получаемой с борта параметрической информации является актуальной.

Объектом исследования является интегрированная система управления техническим состоянием комплекса бортового оборудования (КБО) воздушных судов (ВС).

Предмет исследования – методология, принципы и процедуры, математические модели и средства их реализации, обеспечивающие процессы разработки и испытаний комплекса бортового оборудования

Цель исследования - создание интегрированного комплекса бортового оборудования с проработкой программной функции управления его техническим состоянием бортового оборудования (ИСУТС БО), обеспечивающего повышение безопасности полета пассажирского ВС.

Для этой цели была поставлена комплексная научная задача по разработке концепции контроля технического состояния КБО на основе получаемой с борта параметрической информации, которая позволяет определить следующие задачи для решения:

- разработка принципов сбора, обработки и анализа о техническом состоянии контролируемой функциональной системы ВС в полете и после полета;
- разработка математической модели системы вычисления текущих значений индикаторов технического состояния контролируемой системы;
- разработка требований к функции интегрированной системы с учетом реализации принципов отложенного обслуживания бортового оборудования.
- проведение диагностики контролируемой системы и выявление повреждений с глубиной до конструктивно-съёмного элемента;
- разработка параметров оценки технического состояния контролируемой системы;
- расчет прогнозирования изменения технического состояния контролируемой системы;
- разработка макета интерфейса системы
- разработка рекомендаций по дальнейшей эксплуатации контролируемой системы;

Методология и методы исследования. Для получения основных результатов научно-квалификационной работы использованы базовые методы математического анализа, численные методы решения дифференциальных уравнений. Также, в работе использовалось компьютерное моделирование в пакете прикладных программ

Практическая значимость работы заключается в реализации автоматического процесса мониторинга и диагностики технического состояния бортового оборудования современных отечественных самолетов в рамках приоритетных задач промышленности РФ по импортозамещению и реализации научного потенциала.

Работа состоит из введения, трех глав и заключения.

В первой главе рассматривается история построения архитектуры бортового оборудования, концепция ИМА и протоколы взаимодействия оборудования в составе ИМА.

В период последних нескольких лет российская авиация проходит через активный период реструктуризации, чтобы догнать западных конкурентов в таких направлениях, как производство авиационных двигателей и производство авионики. Термин "авионика" широко используется во всем мире и включает в себя все электронные приборы и оборудование, устанавливаемые на воздушных судах и даже беспилотные летательные аппараты.

Авиация XXI века уже приспосабливается к революционным изменениям в построении бортового оборудования. Это вызвано бурным развитием радиоэлектроники и инновационным процессам в информационных системах. На начало 2000 гг. стала применяться электронная индикация, так называемая «стеклянная» кабина». А в недалеком будущем предполагается применение интегрированной электронной индикации с трехмерной системой индикации «реальной» обстановки.



Рисунок 1 - Изменение кабины экипажа за последние 50 лет

В будущем авионика будет иметь новый вид, который будет соответствовать мировым тенденциям развития бортовых комплексов. Это будет основано на объединении систем и ресурсов программного и аппаратного обеспечения. С одной стороны, будет увеличиваться функциональность оборудования, но при этом будет стремиться к снижению стоимости и эксплуатационных расходов. С другой стороны, благодаря развитию технологий и элементной базы, будет возможна более глубокая интеграция на аппаратном и алгоритмическом уровнях. Такой принцип построения бортового оборудования возможен на архитектуре интегрированной модульной авионики.

Интегральная модульная авионика (ИМА) является средством обеспечения роста выполняемых функций и уменьшения количества электронных блоков на ВС. Это приводит к снижению конструктивной массы систем и оборудования ВС, увеличению надежности и улучшению эксплуатационной технологичности.

Концепция ИМА охватывает следующие группы проектных задач авиаприборостроения:

- цели создания и внедрения ИМА в разработки КБО;
- используемые при разработке КБО технологии
- реализация свойства отказоустойчивости бортового оборудования;
- принципы построения бортовой сети информационного обмена (бортовой сети данных);
- архитектура КБО;
- архитектура программного обеспечения КБО и его компонентов;
- сертификация разработок (аппаратного и программного обеспечения КБО);
- контролепригодность и ремонтпригодность КБО и объекта – ЛА – в целом;
- выбор источников и потребителей данных (абоненты бортовой локальной сети данных).

Система ИМА состоит из платформы ИМА и набора приложений, которые она поддерживает. Платформа ИМА - это набор модулей, включающая базовое программное обеспечение, которое управляет ресурсами для работы хотя бы одного приложения. Ресурсы аппаратных средств и программного обеспечения ИМА организованы таким образом, чтобы обеспечить работу хотя бы одного приложения, включая вычислительный процесс, связи и интерфейс. Платформы не выполняют функции ВС, а создают вычислительную среду, обеспечивают поддержку и платформозависимые возможности, такие как контроль состояния и устранение неисправностей

Концепция ИМА предполагает разделение функциональных компонентов авиационной электроники на три иерархических уровня:

- нижний уровень иерархии представлен унифицированными конструктивно-функциональными модулями (КФМ);
- средний уровень иерархии представлен мультипроцессорными вычислительными системами (крейты), создаваемые из модулей нижнего уровня
- высший уровень иерархии представляет собой бортовую локальную вычислительную сеть на основе центрального сетевого интерфейса высокой пропускной способности, интегрирующую вычислительные средства крейтов среднего уровня.

В качестве стандарта для прикладного программного обеспечения, используемого в авионике, применяется стандарт ARINC-653.

Вторая глава работы посвящена системе управления техническим состоянием бортового оборудования, входящего в архитектуру ИМА, в частности, организации контроля такого оборудования. Основным содержанием главы два является формирование требований к системе контроля в составе ИМА.

Одной из функций КБО класса ИМА обозначена функция встроенного тест-контроля для проведения самодиагностики оборудования на предмет наличия неисправностей или отказов.

Обеспечивая проведение встроенного тест-контроля внутри каждого КБО класса ИМА возможно определение его технического состояния вплоть до

конструктивных элементов, т.е. непосредственно самих функциональных модулей.

Обладая информацией о текущем техническом состоянии КБО через функцию интегрирования с другими системами может обеспечивать передачу данных о своем состоянии, например, в интегрированную систему управления техническим состоянием бортового оборудования (ИСУТС БО).

ИСУТС БО объединяет различные системы управления техническим состоянием воздушного судна в единую платформу. Это позволяет осуществлять всесторонний мониторинг, контроль и прогнозирование технического состояния всех бортовых систем самолета, включая двигатели, авионику, гидравлику и электрические системы. в режиме реального времени. Также ИСУТС БО позволяет планировать и проводить техническое обслуживание для предотвращения отказов и обеспечения надежной работы оборудования.

К основным функциям ИСУТС БО относят:

1. Всесторонний мониторинг и контроль: ИСУТС БО непрерывно отслеживает состояние всех бортовых систем самолета, предоставляя полную картину технического состояния оборудования.

2. Прогнозирование отказов: ИСУТС БО прогнозирует вероятность отказа любого компонента оборудования, позволяя планировать техническое обслуживание заблаговременно и предотвращать отказы.

3. Планирование технического обслуживания: ИСУТС БО создает планы технического обслуживания на основе прогнозов отказов, требований к безопасности и эксплуатационных условий.

4. Оповещение экипажа и наземного персонала: ИСУТС БО предупреждает экипаж и наземный персонал о любых проблемах с оборудованием, требующих принятия мер.

5. Поддержка принятия решений: ИСУТС БО предоставляет экипажу, наземному персоналу и инженерно-техническим работникам информацию для принятия обоснованных решений относительно технического обслуживания и эксплуатации оборудования.

Внедрение ИСУТСО приносит как разработчикам ВС, так и эксплуатирующим организациям (авиакомпаниям) следующие преимущества:

- Повышение безопасности эксплуатации ВС: ИСУТС БО позволяет своевременно выявлять потенциальные проблемы с оборудованием, что снижает риск отказов и аварий.
- Улучшение эксплуатационной эффективности: ИСУТС БО позволяет планировать техническое обслуживание на основе технического состояния КБО, что снижает эксплуатационные расходы и повышает надежность оборудования.
- Увеличение времени безотказной работы: ИСУТС БО помогает предотвратить сбои и отказы оборудования, что приводит к увеличению времени безотказной работы и снижению задержек рейсов.
- Оптимизация технического обслуживания: ИСУТС БО нацеливает техническое обслуживание на компоненты, которые действительно нуждаются в обслуживании, что снижает затраты на техническое обслуживание и повышает готовность самолета.
- Улучшенное управление запчастями: ИСУТС БО помогает авиакомпаниям планировать и управлять запасами запчастей, уменьшая затраты на хранение и снижая риски нехватки деталей.
- Повышение ситуационной осведомленности: ИСУТС БО предоставляет экипажу и наземному персоналу полную картину технического состояния самолета, что повышает ситуационную осведомленность и помогает принимать более обоснованные решения.

В рамках работы сформированы основные требования, предъявляемые к ИСУТС БО:

1. Требования к архитектуре программно-аппаратной части системы
Функция ИСУТС БО реализуется в виде программного приложения, установленного в вычислительные мощности оборудования на платформе ИМА.
2. Функциональные требования к встроенным средствам контроля бортовых систем со стороны.

3. Функциональные требования к получению и обработке данных.
4. Функциональные требования к мониторингу состояния.
5. Функциональные требования к расчетным параметрам Системы.
6. Функциональные требования к формированию отчетности.
7. Требования к управлению и индикации состояния.
8. Требования к каналу передачи данных.
9. Требования к возможности программирования на борту.
10. Требования к наземному вспомогательному программному средству.

Реализация вышеприведенных требований может быть представлена в виде технического задания на систему ИСУТС БО, устанавливаемой на гражданском воздушном судне.

В третьей главе детально рассматривается вариант программного обеспечения ИСУТС БО для подсистемы автоматического регулирования давления (САРД) в составе системы кондиционирования воздуха (СКВ).

Для настройки функционала ИСУТ БО для подсистемы САРД проведена разработка диагностической модели системы САРД самолета SSJ-100 (рис.2).

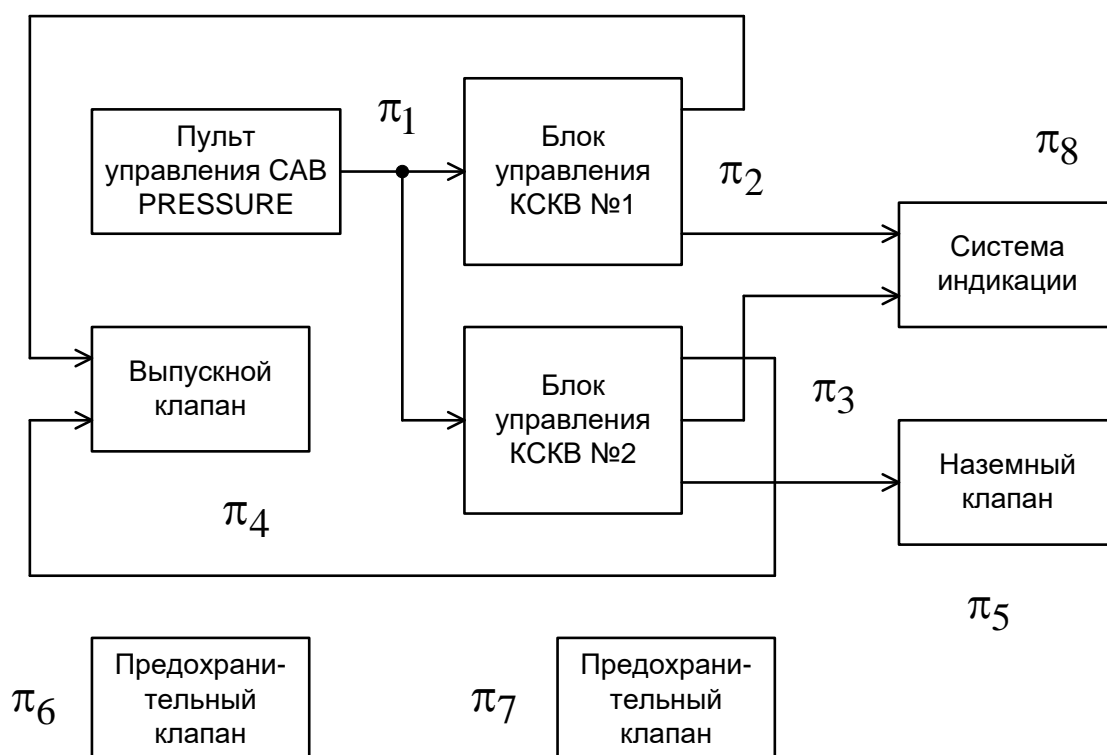


Рисунок 2 - Диагностическая модель САРД

На рис.2. обозначено:

На основании полученных сведений, для оценки уровня надежности компонентов САРД произведено математическое моделирование надежности компонентов САРД СКВ в среде RAM COMMANDER, используя метод марковских моделей надежности ее систем и подсистем. Результат расчет представлен в виде граф-модели надежности САРД на рис.3.

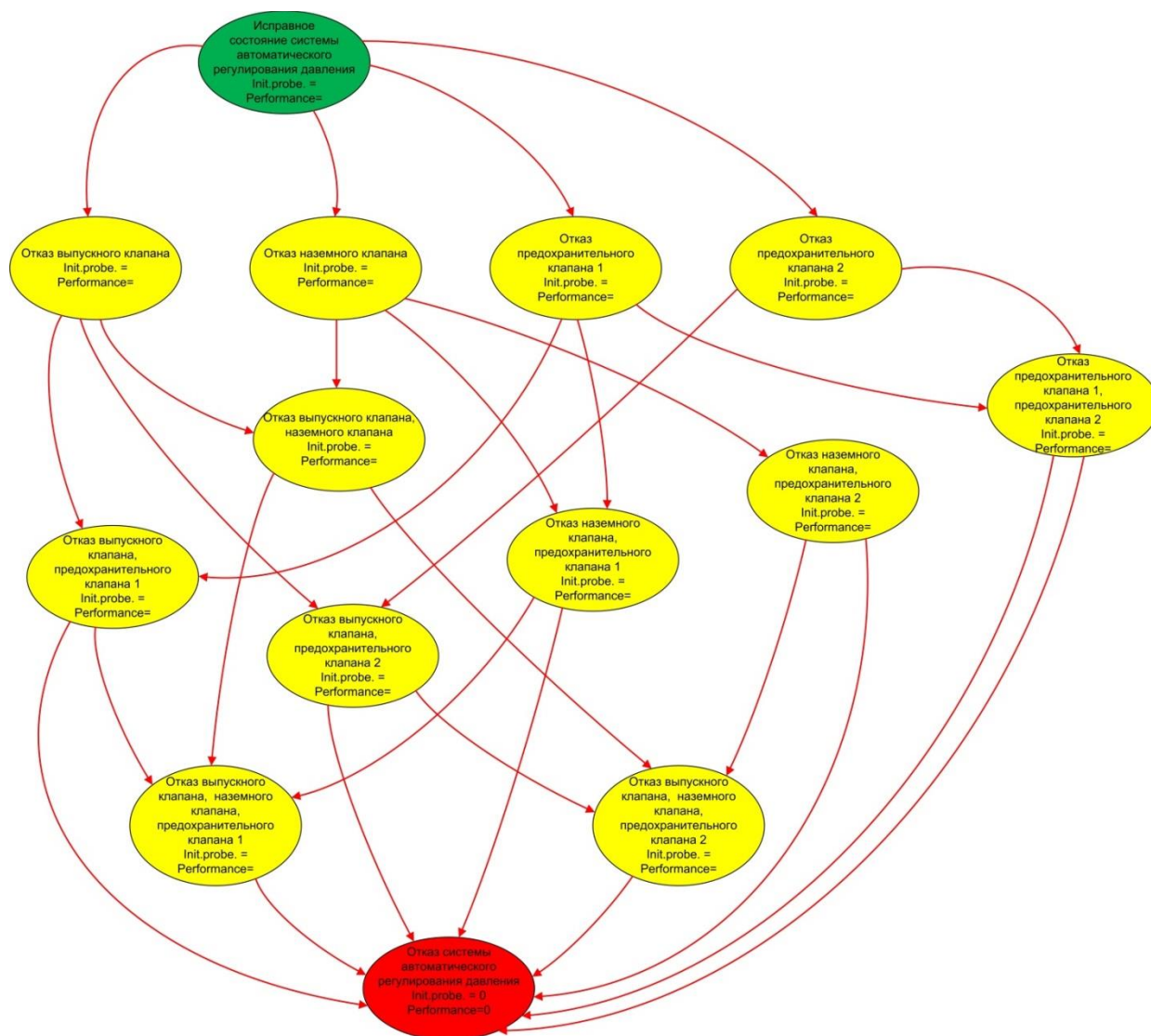


Рисунок 3 - Граф-модель надёжности системы автоматического регулирования давления

На базе проведенного математического моделирования надежности САРД СКВ построены алгоритмы реализации различных технических состояний комплектующих изделий САРД для макета ПО функции ИСУТС БО.

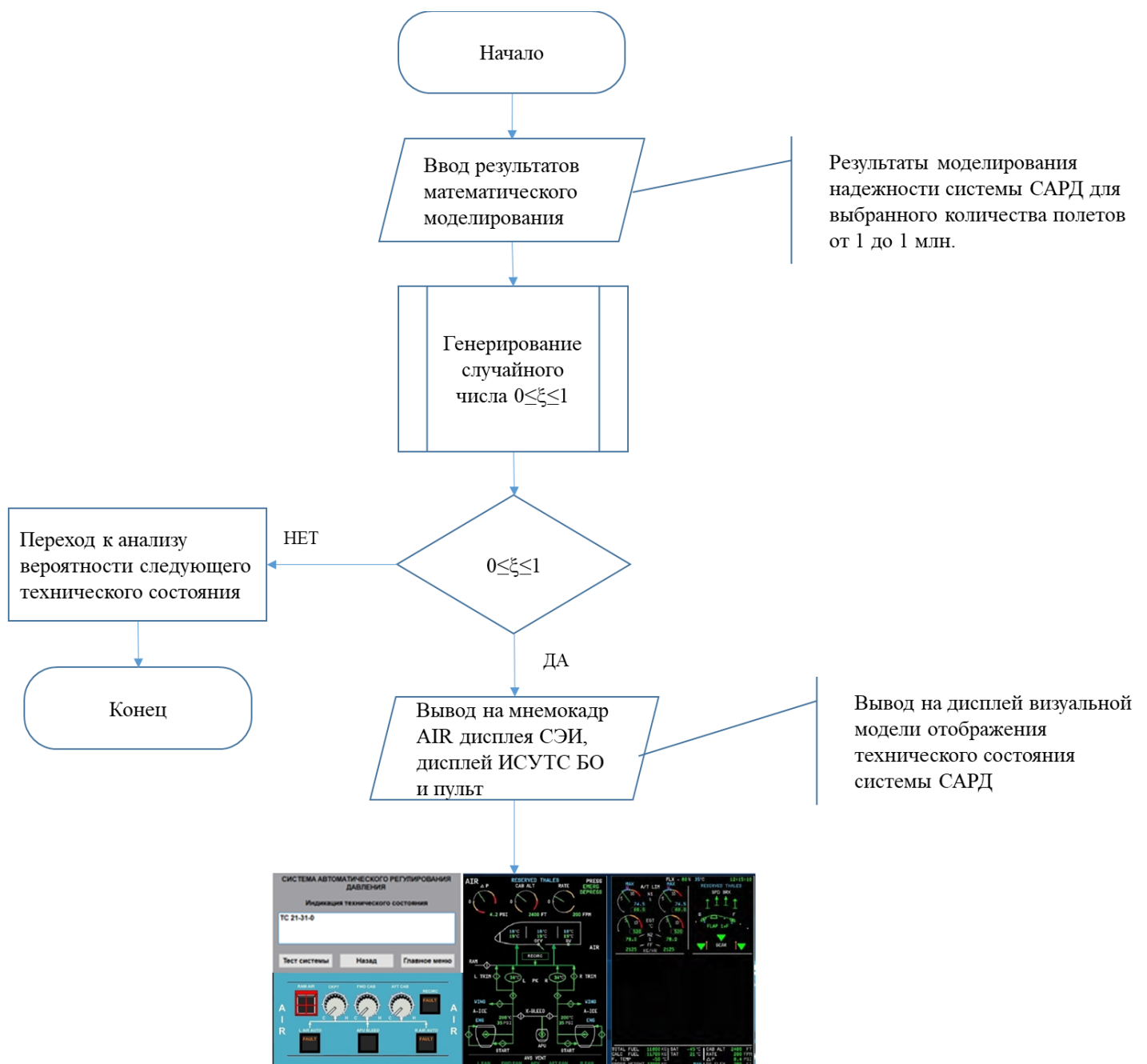


Рисунок 4 – Алгоритм реализации различных технических состояний САРДСКВ

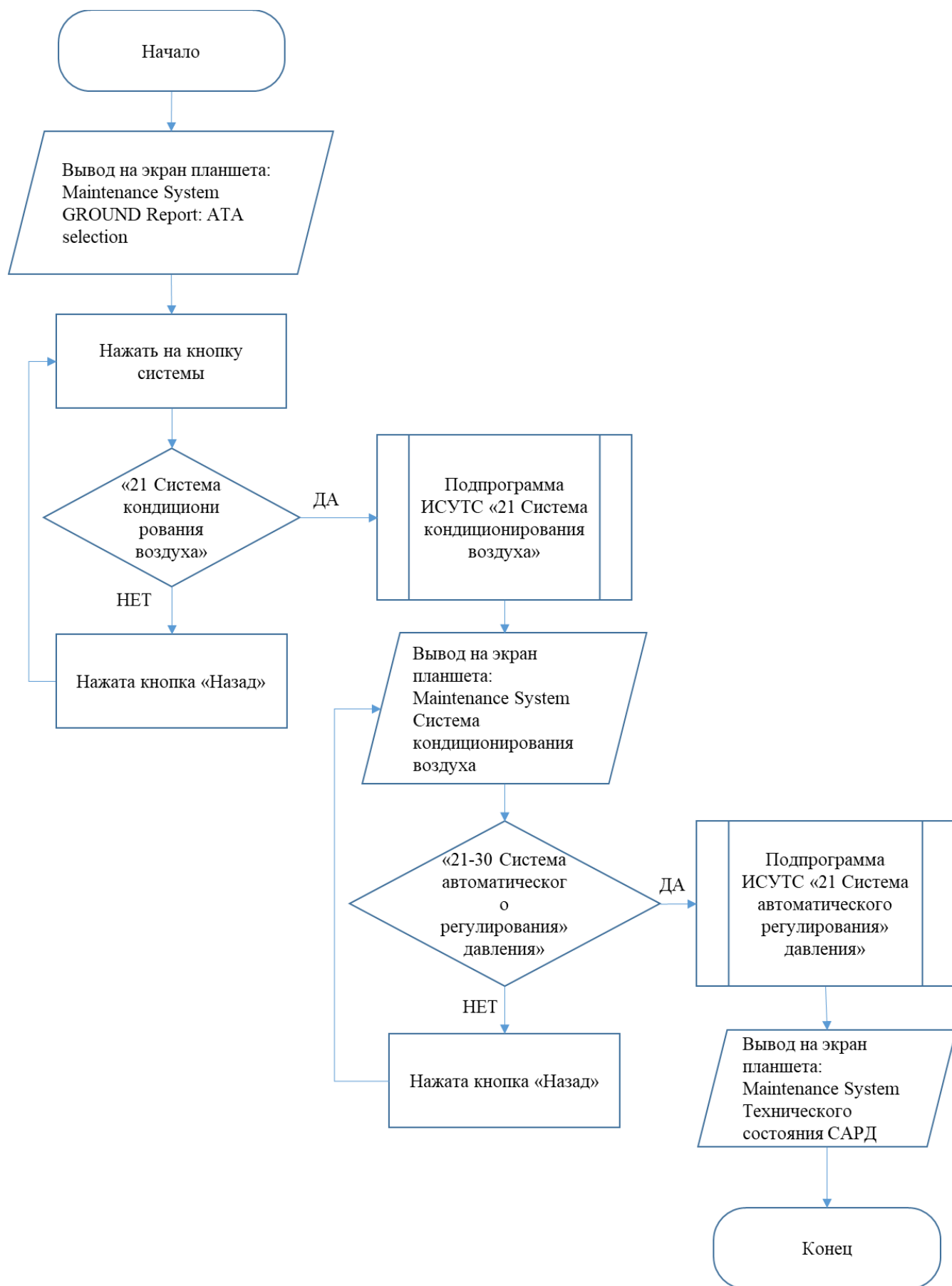


Рисунок 1 - Алгоритм интерфейса ИСУТС БО для САРД СКВ

На основании построенных алгоритмов работы ИСУТС БО подготовлены макеты интерфейса системы для работы инженерно-техническому персоналу. Устройством взаимодействия персонала с системой является планшет EFB (от англ. Electronic Flight Bag – электронный полётный планшет) в функции ТО. Варианты макетов интерфейса ИСУТС БО для САРД СКВ представлены на рис. 6 и рис. 7.

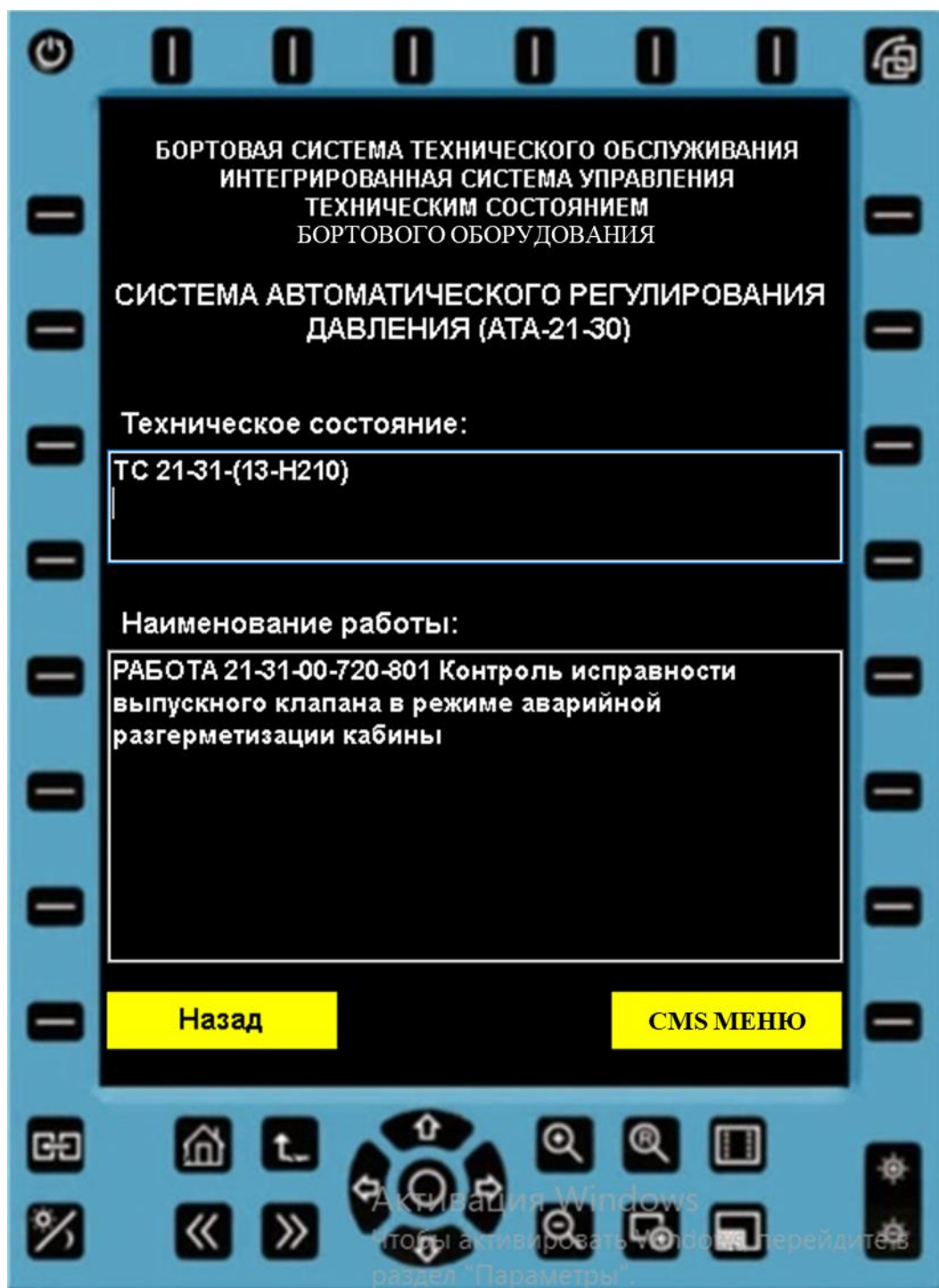


Рисунок 6 - Макет экрана на планшете EFB при неисправности выпускного клапана САРД СКВ в режиме аварийной разгерметизации кабины

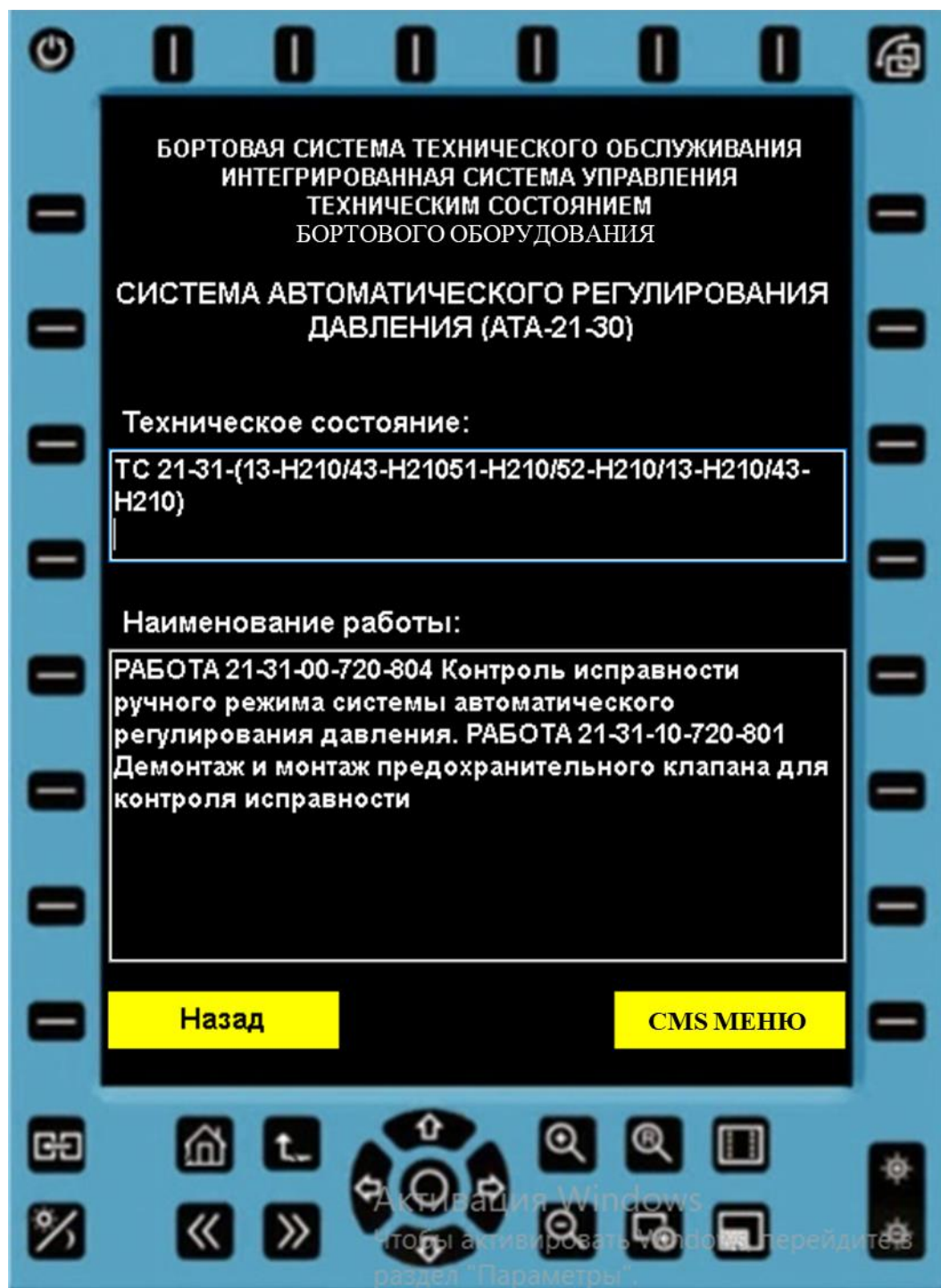


Рисунок 72 - Макет экрана на планшете ЕФВ при неисправности ручного режима САРД СКВ

Основные результаты НКР. Проведенный анализ систем оценки технического состояния показал, что использование интегрированной системы управления техническим состоянием бортового оборудования (ИСУТС БО), построенной по принципу ИМА позволяет автоматизировать процессы мониторинга и диагностики, повышает оперативность выявления и устранения неисправностей, уменьшает риски возникновения аварийных ситуаций и

обеспечивает более эффективное планирование технического обслуживания. Кроме того, ИСУТС БО позволяет сократить издержки на обслуживание и увеличить доступность воздушных судов благодаря оптимизации процессов технического обслуживания и ремонта.

Программное обеспечение функции ИСУТС БО ориентировано на реализацию, в режиме реального времени, задач, позволяющих оперативно оценивать техническое состояние ФС ВС и принимать решения о возможности продолжения их технической эксплуатации.

Состав ПО предопределен бортовой и наземной частями ИСУТС ФС с учетом их взаимосвязей и принят как основа для формирования макета ПО ИСУТС.

Содержание ПО основывается на использовании системы объективно-ориентированного программирования, предусматривающего разработку визуализированных элементов графического интерфейса программы и разработку программного кода в «процедурных языках».

В рамках работы проведены выполнены задачи:

- определения функции ИСУТС БО для системы автоматического давлений из состава СКВ самолета SSJ-100;
- обеспечено методическое сопровождение решения задачи;
- проанализирована исходная информация для разработки алгоритма на основе формализованного описания решения задачи и последующего программирования разработанного алгоритма;
- проведена реализация алгоритма с использованием средств вычислительной техники
- подготовлены макеты интерфейсов системы ИСУТС БО для САРД СКВ.