

На правах рукописи

Борисова Татьяна Сергеевна

**АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОННОЙ ИНДИКАЦИИ БОРТОВЫХ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ В РЕЖИМЕ ОТОБРАЖЕНИЯ
АЭРОНАВИГАЦИОННОЙ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИИ**

Специальность 05.13.05 – Элементы и устройства
вычислительной техники
и систем управления

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ульяновск – 2013

Работа выполнена на кафедре «Измерительно-вычислительные комплексы» Ульяновского государственного технического университета

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент,
Киселев Сергей Константинович

Официальные оппоненты –
Негода Виктор Николаевич,
доктор технических наук, доцент,
УлГТУ, кафедра «Вычислительная техника»

Дятлов Андрей Юрьевич,
кандидат технических наук,
ООО «Авиакомпания Волга-Днепр»,
директор по качеству

Ведущая организация – **ФГБОУ ВПО «Ульяновское высшее авиационное училище гражданской авиации (институт)», г. Ульяновск**

Защита диссертации состоится 10 апреля 2013 г. в 15 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.277.01 при Ульяновском государственном техническом университете по адресу:

432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32 (ауд. 211, Главный корпус).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ульяновского государственного технического университета.

Автореферат разослан «___»_____ 2013 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, профессор

В.И. Смирнов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Современные системы электронной индикации (СЭИ) бортовых систем управления (БСУ) представляют собой интегрированные аппаратно-программные комплексы с высокой степенью функционального резервирования. Надежность отдельных элементов СЭИ БСУ (аппаратных и программных) и всей системы в целом влияет на безопасность пилотирования летательного аппарата (ЛА), поэтому обеспечение надежности СЭИ БСУ наиболее критично на всех этапах жизненного цикла системы. Проблема повышения надежности, сокращения длительности простоев бортового оборудования, быстрого определения состояния БСУ, выявления отказов и их быстрого устранения решается путем введения в эксплуатацию специальных методов и средств контроля и диагностики состояния БСУ.

Вопросам разработки методов и средств контроля и диагностики сложных технических систем посвящены работы ведущих российских и зарубежных специалистов, в частности, П.П. Пархоменко, Е.С. Согомояна, В.В. Кабирского, Б.М. Кагана, Г.В. Дружинина, В.В. Липаева, В.В. Ключева, Л.Г. Евланова, И.М. Синдеева, Г.М. Гнедова, Р.М. Боровика, В.Д. Кудрицкого, В.И. Ямпольского и др., L. Buckwalter, C.S. Byington, C. Chen, B.P. Donovan, B.K. Dunkin, M. Gooding, A. Helfrick, P.W. Kalgren, E.R. Maher, A.M. Stanley, J.D. Smith, K.R. Toll и др.

Разработка специализированных систем для диагностирования БСУ ведется такими фирмами, как Бета ИР (Россия), Aeronautical Radio Incorporated (Соединенные Штаты Америки), Aeroflex Inc. (Соединенные Штаты Америки), EADS Test & Services (Великобритания), National Instruments (Соединенные Штаты Америки), RADA Electronic Industries (Израиль), Rockwell-Collins (Соединенные Штаты Америки).

В процессе разработки СЭИ БСУ наиболее ответственными являются этапы, связанные с реализацией программы функционирования, определяющей подготовку, обработку и отображение информации. Основным видом представления навигационной информации в современных СЭИ БСУ является синтезированная электронная карта (аэронавигационная картографическая информация). Функционирование СЭИ при отображении аэронавигационной картографической информации является сложным процессом, в котором задействовано большое количество ресурсов БСУ, как аппаратных, так и программных. Следовательно, реализация контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ при отображении аэронавигационной картографической информации является ответственным процессом, результаты которого должны максимально гарантировать надежное функционирование СЭИ БСУ на борту при эксплуатации, обеспечивающее безопасное пилотирование ЛА.

Среда, в которой тестируется программное обеспечение (ПО) СЭИ БСУ, должна быть близка к условиям функционирования системы на борту ЛА. Для обеспечения этого имитация работы бортовых систем контура управления, передающих информацию СЭИ для отображения на индикаторах, должна быть практически идентична работе реальных бортовых систем. Для этого при проведении стендовых контроля и диагностики функционирования СЭИ необходимо использовать тестовые примеры, содержащие полный набор аэронавигационной информации, обрабатываемой и отображаемой в процессе полета. Контроль информации, отображаемой СЭИ, должен быть максимально объективным и учитывать все особенности навигационных и картографических форматов. Поэтому для повышения надежности СЭИ необходима разработка специальных средств автоматизации, позволяющих проводить оперативный контроль и диагностику функционирования, а также необходимы методики их использования на всех этапах жизненного цикла СЭИ БСУ.

Целью диссертационной работы является исследование и разработка средств автоматизации контроля и диагностики СЭИ БСУ, позволяющей увеличить достоверность выявления ошибок функционирования на этапах проектирования, отладки аппаратной и программной составляющих системы, производства и испытаний, эксплуатации, регламентных и ремонтных работ.

Задачи научного исследования:

1. Анализ, формализация и описание процесса контроля и диагностики функционирования СЭИ на разных этапах жизненного цикла БСУ для определения требований к организации и средствам реализации данного процесса.
2. Определение этапов процесса контроля и диагностики функционирования СЭИ, автоматизация которых позволит увеличить достоверность выявления ошибок на разных этапах жизненного цикла БСУ.
3. Моделирование и алгоритмизация этапов процесса контроля и диагностики СЭИ БСУ, автоматизация которых необходима.
4. Разработка средств автоматизации выбранных этапов процесса контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ.
5. Разработка методики использования разработанных средств автоматизации совместно с существующими средствами контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ.

Методы исследования. В ходе выполнения работы использовались теория погрешностей, теория навигации и самолетовождения, методы обработки и анализа изображений, элементы теории множеств и реляционных баз данных. При разработке программного обеспечения использовались языки программирования Microsoft Visual Basic for Applications и объектно-ориентированный Borland Delphi. Программные продукты были разработаны в программных пакетах MS Access и Borland Delphi 7, модели изучаемых процессов - в программном пакете All Fusion Process Modeler r7. При

проведении стендовых исследований применялся программный комплекс «Фрегат» фирмы ОАО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения».

Научная новизна работы заключается в следующем.

1. Функциональная модель подготовки тестовых примеров для отображения аэронавигационной картографической информации при проведении контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ. Модель позволяет определить состав исходных данных, условия и ресурсы, необходимые для получения тестового примера, определить основные этапы выделения и подготовки аэронавигационной картографической информации, сформировать последовательности действий при обработке информации и подготовке примера.

2. Унифицированный алгоритм подготовки аэронавигационной картографической информации и формирования тестовых примеров для проведения контроля и диагностики СЭИ БСУ, основанный на обработке множества точек мировой навигационной базы данных, позволяющий формировать тестовые примеры для следующих типов навигационных схем: стандартная схема вылета, маршрут, стандартная схема прибытия, стандартная схема захода на посадку.

3. Алгоритмическое обеспечение обработки и анализа отображаемой СЭИ БСУ аэронавигационной картографической информации, обеспечивающее ее представление в формате входных данных, которое может быть использовано как в тестах при контроле и диагностике, так и в реальных условиях работы системы индикации на борту.

Практическая ценность.

1. Программное обеспечение для автоматизации формирования тестовых примеров для контроля и диагностики СЭИ БСУ. За счет достаточной сложности тестовых примеров, содержащих большое количество разнообразной аэронавигационной картографической информации и обеспечения гибкости их формирования достигается максимальное подобие условий контроля и диагностики условиям реальной работы СЭИ на борту.

2. Программное обеспечение для обработки и анализа изображений, содержащих аэронавигационную картографическую информацию, отображаемую СЭИ БСУ.

3. Методика использования разработанных средств автоматизации совместно с программным комплексом управления наземной автоматизированной станцией контроля (НАСК), которая обеспечивает сквозную автоматизацию контроля и диагностики СЭИ без использования дополнительной обработки и анализа каких-либо данных.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы, научные и практические результаты исследований докладывались и получили положительную оценку на ежегодных научно-технических конференциях УлГТУ «Вузовская наука в современных условиях» (г. Ульяновск, 2006–2011 гг.).

Результаты докладывались и обсуждались на всероссийской научно-практической конференции с элементами научной школы для молодежи «Проведение научных исследований в области информационно-телекоммуникационных технологий: материалы» (г. Москва, 2010 г.) и 1-й всероссийской научно-практической конференции «Устройства измерения, сбора и обработки сигналов в информационно-управляющих комплексах» (г. Ульяновск, 2011 г.).

Внедрение результатов работы. Разработанные алгоритмическое и программное обеспечения применяются в ОАО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения» при контроле и диагностике функционирования следующих систем: КСЭИС-В1 (вертолет Ми-171А2), КЭИС-204Е (самолет Ту-204 и его модификации), КСЭИС-148 и ее модификации (самолет Ан-148), КСЭИС-100 (самолет Ту-334), СЭИ-85-2МТВ (самолеты Ил-96-300, Ту-214).

Разработанные алгоритмическое и программное обеспечения внедрены в ОАО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения» в процесс контроля и диагностики функционирования систем типа КСЭИС на этапах проектирования, отладки аппаратной и программной составляющих системы, производства и испытаний, эксплуатации, регламентных и ремонтных работ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 печатных работ, в том числе 1 статья в научном журнале из перечня ВАК РФ, 2 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Функциональная модель процесса получения тестовых примеров для контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ в режиме отображения аэронавигационной картографической информации.
2. Унифицированный алгоритм подготовки аэронавигационной картографической информации и формирования тестовых примеров для проведения контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ.
3. Алгоритмическое обеспечение обработки и анализа (общий алгоритм анализа и алгоритмы реализации всех его этапов) аэронавигационной картографической информации, отображаемой СЭИ БСУ.
4. Средства автоматизации контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ и методика их совместного использования с существующими средствами контроля и диагностики - наземными автоматизированными станциями контроля, обеспечивающие совместно сквозную автоматизацию данного процесса.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав с выводами, заключения и 3 приложений. Основная часть работы изложена на 232 листах машинописного текста и 60 листах приложений. Работа содержит 91 рисунок и 30 таблиц. Библиография включает 186 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследований, сформулирована цель работы и задачи научного исследования, определены направления ее решения, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен обзор и анализ предметной области исследования.

Анализ состава и функций СЭИ в современных БСУ показывает, что их использование не ограничивается отображением структурно-сложных видов пилотажной, аэронавигационной картографической и других специальных видов информации в процессе полета и при подготовке к нему, а включает также ввод, специальную обработку, контроль и выдачу различной информации в смежные бортовые системы. Это существенно усложняет аппаратную часть СЭИ, их алгоритмическое и программное обеспечения. Анализ информации, отображаемой СЭИ на основных форматах (командно-пилотажной информации, комплексной информации о навигационной обстановке, информации о состоянии систем), позволяет провести контроль работоспособности системы и диагностику выполнения ею требуемых функций. При этом может быть проконтролирована работоспособность и аппаратной и алгоритмическо-программной составляющих системы.

Обзор основных видов испытаний аппаратной и программной частей СЭИ БСУ на различных этапах ее жизненного цикла показывает, что контроль систем индикации в настоящее время осуществляется, в основном, путем визуального сопоставления оператором информационного кадра, отображаемого на экране индикатора, с априорно известным эталонным изображением. Сложность визуального контроля оказывает большую психофизическую нагрузку на оператора; часто не позволяет объективно протоколировать и сохранять результаты контроля и тестирования; требует привлечения, наряду с оператором тестирования, представителя службы технического контроля (или заказчика); влечет за собой существенное увеличение времени, затрачиваемого на выполнение операций контроля; снижает достижимую глубину тестирования.

Для повышения достоверности результатов контроля и диагностики функционирования СЭИ условия их проведения должны быть приближены к условиям функционирования системы на борту летательного аппарата. Для этого необходимо использовать при проведении стендовых испытаний тестовые примеры, содержащие полный набор пилотажно-навигационной и других видов информации, обрабатываемой БСУ в процессе реального полета. Следовательно, для повышения надежности работы СЭИ БСУ необходима разработка специальных средств автоматизации получения тестовых примеров, обеспечивающих максимально полную имитацию информационных потоков от бортовых систем, взаимодействующих с СЭИ, при проведении стендовых

проверок. Необходима также автоматизация средств обработки и анализа изображений, формируемых СЭИ в ходе тестирования. Автоматизация процесса контроля и диагностики функционирования СЭИ позволит в части подготовки тестовых примеров делать их достаточно насыщенными для формирования максимально широкого состава различной информации, обрабатываемой и отображаемой системой, а в части анализа и обработки отображаемой информации снимет ограничения по количеству проводимых тестов. Использование средств автоматизации контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ позволит повысить не только качество выявления ошибок при работе системы, но и позволит сократить сроки и повысить качество ее проектирования, так как позволит оперативно проводить тестирование различных элементов и вносить требуемые изменения в архитектуру, аппаратное, алгоритмическое и программное обеспечения.

Во второй главе рассматривается процесс контроля и диагностики функционирования СЭИ на разных этапах жизненного цикла БСУ (проектирование и отладка аппаратной и программной составляющих, производство и испытания, эксплуатация, регламентные и ремонтные работы), определяются общие и специальные требования и задачи организации и автоматизации процесса применительно к аппаратной части и программному обеспечению системы.

С целью формализации требований к процессу контроля и диагностики функционирования СЭИ на разных этапах жизненного цикла БСУ построена его функциональная модель, представляющая собой совокупность иерархически упорядоченных и взаимосвязанных диаграмм в нотации IDEF0. В модели показано, что для получения высокой достоверности контроля функционирования СЭИ БСУ процесс контроля и диагностики функционирования должен осуществляться путем управляемого взаимодействия встроенных средств контроля (контрольно-проверочных программ) и внешних средств диагностики – наземных автоматизированных станций контроля. Для определения требований к средствам автоматизации контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ используется диагностическая модель и модель дефектов.

Диагностическая модель функционального уровня представлена в виде множества:

$$MIF = \{f_i, f_h, f_d, f_o\}, \quad (1)$$

где f_i – множество функций приема информации, f_h – множество функций преобразования и обработки информации, f_d – множество функций индикации, f_o – множество функций выдачи информации.

Моделью дефектов функций (МДФ) СЭИ БСУ данного уровня является множество моделей дефектов функций, соответственно, приема Df_i , обработки Df_h , индикации Df_d и выдачи Df_o информации:

$$DIF = \{Df_i, Df_h, Df_d, Df_o\}. \quad (2)$$

Так как для реализации контроля и диагностики СЭИ БСУ выбран режим отображения аэронавигационной картографической информации (совокупность унифицированных символов в виде линий, дуг и других навигационных элементов таких, как пункты маршрута, радиосредства, взлетно-посадочные полосы, аэродромы и др.), то модели дефектов функций индикации Df_d , независимо от принятых и обработанных данных, имеют следующий вид: 1) графический элемент не отображается ($E_i/0$), 2) отображается произвольный графический элемент (E_i/E_j), 3) отображается константный графический элемент (E_i/E_k), 4) координата X отображаемого графического элемента неверна ($X_i, Y_i/X_j, Y_i$), 5) координата Y отображаемого графического элемента неверна ($X_i, Y_i/X_i, Y_j$), 6) цвет отображаемого элемента неверен (C_i/C_j), 7) ширина отображаемого элемента неверна (W_i/W_j), 8) высота отображаемого элемента неверна (H_i/H_j), 9) форма отображаемого элемента не соответствует функции (F_i/F_j), 10) угол поворота графического элемента неверен (A_i/A_j), 11) дополнительные атрибуты отображаемого графического элемента неверны (Dp_i/Dp_j), 12) вид соединения графических элементов в маршруте неверен (Z_i/Z_j), 13) порядок соединения графических элементов в маршруте неверен (Pr_i/Pr_j), 14) графическая интерпретация значения сигнала не изменяется во времени.

Аналогичным образом определены и модели дефектов Df_h , Df_i и Df_o .

Оценка функциональной работоспособности СЭИ БСУ производится по результатам выполнения данных функций, признаком функциональной комплексной исправности СЭИ БСУ является отсутствие описанных дефектов.

Общая схема информационных потоков при функционировании СЭИ на борту и при стендовом контроле и диагностике (рис. 1) определяет необходимость при разработке средств автоматизации выполнения преобразования: 1) навигационных данных, закодированных в формате ARINC 424 из навигационных баз данных (БД) любых фирм-поставщиков, в формат ARINC 702A (имитация работы вычислительной системы самолетовождения (ВСС)); 2) изображения аэронавигационных картографических элементов и признаков в формат ARINC 702A.

В этом случае возможно автоматическое сопоставление входа и выхода СЭИ и оформление протокола контроля и диагностики с указанием выявленных ошибок и их причин.

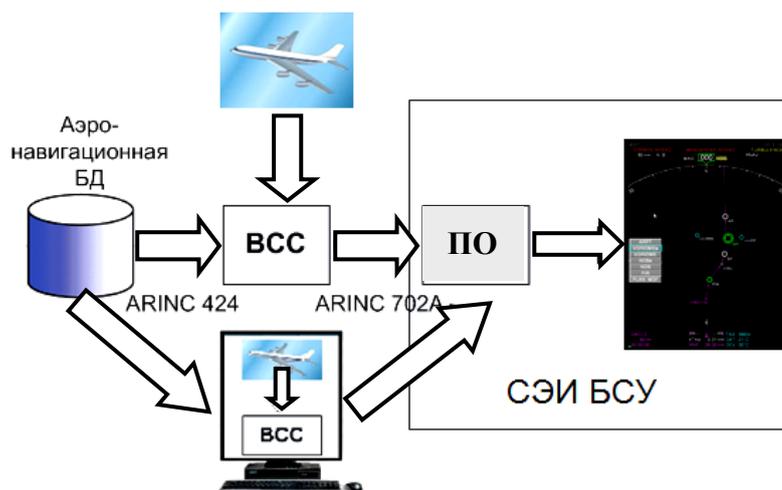


Рис. 1. Информационные потоки при функционировании СЭИ, отображающей аэронавигационную картографическую информацию, на борту и на стенде

Третья глава посвящена разработке функциональной модели процесса получения тестового примера для контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ при отображении аэронавигационной картографической информации, алгоритмизации и программной реализации данного процесса.

Функциональная модель процесса получения тестового примера служит для:

- определения состава исходных данных, условий, ресурсов, необходимых для получения тестового примера, реализуемого посредством пакета тестов, разработанного в среде ПО наземной автоматизированной станции контроля;
- определения основных этапов выделения и подготовки навигационной картографической информации, необходимой для построения тестового примера;
- формирования последовательности действий при обработке навигационной картографической информации;
- разработки унифицированного алгоритма получения тестового примера;
- определения требований к средствам реализации алгоритма получения тестового примера на этапе разработки программного обеспечения.

Предложено рассматривать (рис. 1) навигационную картографическую информацию в БСУ (содержащуюся в навигационной БД в формате ARINC 424 и передаваемую вычислительной системой самолетовождения СЭИ в формате ARINC 702A) в виде множества навигационных точек, обладающих различными признаками. Формирование тестового примера для контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ описано операциями над следующими множествами: контрольные точки; навигационные средства; маршруты; трассы авиакомпаний; стандартные схемы взлета, прибытия и посадки; аэродромы; дополнительная информация. Частный случай

функциональной модели формирования тестового примера «Схема вылета» представлен на рис. 2.

На основе функциональной модели разработан унифицированный алгоритм подготовки навигационной картографической информации и формирования тестового примера для контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ средствами наземной автоматизированной станции контроля, состоящий из следующих этапов:

1. Выделение из общей навигационной БД множества схем, принадлежащих к определенному типу (схемы взлета SID (standard instrument departure), маршрутные схемы, схемы прибытия STAR (standard terminal arrival route), схемы захода на посадку APPR (approach)).
2. Выделение из множества выбранного типа схем подмножества навигационных точек, принадлежащих выбранной схеме.
3. Разбиение подмножества точек выбранной схемы на контрольные точки и рекомендуемые радионавигационные средства.
4. Определение для каждой контрольной точки и для каждого рекомендуемого радионавигационных средств признака принадлежности к конкретному типу навигационных точек и получение основной навигационной информации.
5. Формирование интегрального признака для каждой точки (рекомендуемое навигационное средство в данном случае рассматривается тоже как точка), определяющего вид элемента (набора элементов), при помощи которых она будет отображаться на индикаторе СЭИ.
6. Получение навигационной информации для каждой навигационной точки выбранной схемы по интегральному признаку из соответствующих множеств.
7. формирование блока навигационной информации по средствам связи (для схем SID, STAR, APPR), радионавигационным средствам в районе схемы, аэродрому (для схем SID, STAR, APPR) и взлетно-посадочной полосе (ВПП) (для схем SID, STAR, APPR).
8. Преобразование информации, полученной по всем навигационным точкам выбранной схемы, к унифицированному виду для последующей обработки ПО наземной автоматизированной станцией контроля.

В примере, приведенном на рис. 2, процесс формирования дополнительной информации для контрольных точек схемы вылета распадается на 7 параллельных ветвей формирования дополнительных блоков параметров: навигационных средств очень высоких частот, навигационных средств отдельных приводных радиостанций, промежуточных пунктов, аэродрома, зон ожидания, взлетно-посадочной полосы, маркерных маяков.

Предложенный унифицированный алгоритм подготовки аэронавигационной картографической информации позволяет формировать тестовый пример в виде структуры адресных групп, обеспечивая преобразование навигационных данных, закодированных в формате ARINC 424 из навигационных БД любых фирм-поставщиков, в формат ARINC 702A,

рис. 1. План полета (тестовый пример) строится на основе групп с адресами 100_8 и 330_8 , в которых передается основная навигационная информация о промежуточных пунктах маршрута (ППМ). Так, группа с адресом 330_8 содержит: географические координаты ППМ, признак, наименование, заданный путевой угол, расстояние между соседними ППМ, высоту пролета, время пролета. Географические координаты ППМ, признак, наименование, расстояние между соседними ППМ, высоты пролета, заданный путевой угол берутся из навигационной БД, остальные же параметры являются расчетными и определяются из реальных (имитируемых) условий полета.

За счет достаточной сложности тестовых примеров, получаемых в автоматизированном режиме, содержащих большое количество разнообразной навигационной картографической информации, и возможности их гибкого формирования достигается максимальное подобие условий контроля и диагностики функционирования, обеспечиваемых средствами наземной автоматизированной станции контроля, условиям реальной работы СЭИ на борту.

На разработанное программное обеспечение для автоматизации формирования тестовых примеров для контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ было получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011616858 РФ.

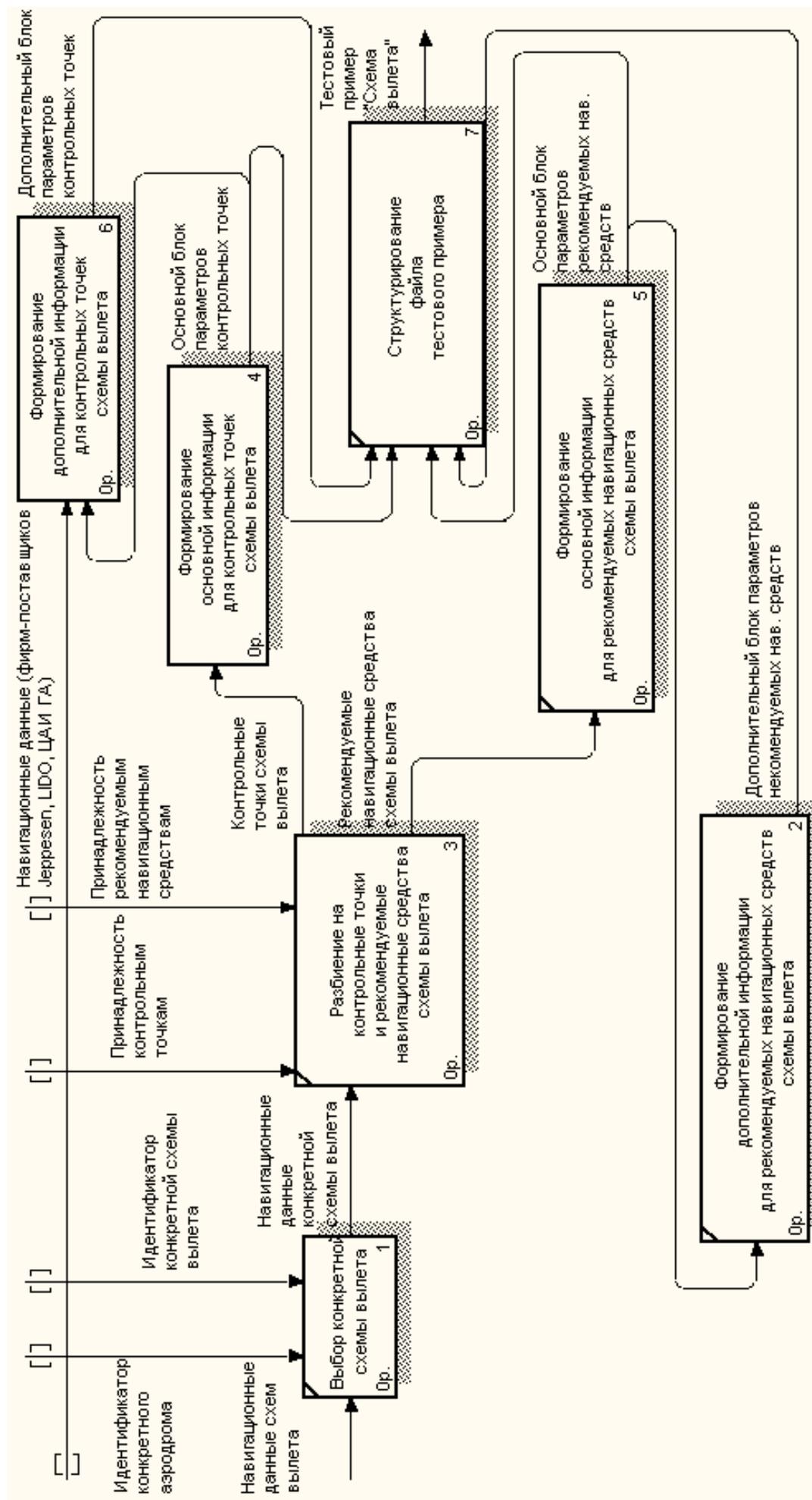


Рис. 2. Модель формирования тестового примера «Схема вылета»

Четвертая глава посвящена разработке алгоритма обработки и анализа отображаемой СЭИ аэронавигационной картографической информации. Определены условия формирования динамических и статических аэронавигационных картографических данных, передаваемых СЭИ БСУ для ее контроля и диагностики функционирования, на основе использования тестового примера при имитации работы ВСС на базе наземной автоматизированной станции контроля. Установлен состав и параметры всех элементов, используемых в СЭИ БСУ для отображения аэронавигационной картографической информации. Элементы описаны в формате, удобном для их дальнейшей автоматической обработки средствами анализа изображений. Реализовано преобразование изображения аэронавигационных картографических элементов и признаков в формат ARINC 702A, проведены сравнение и анализ несовпадений файлов навигационной информации, полученных со входа и с выхода СЭИ БСУ с помощью средства обработки и анализа отображаемой аэронавигационной информации.

Алгоритм обработки и анализа отображаемой СЭИ БСУ аэронавигационной информации состоит из следующих этапов:

1. Создание библиотеки картографических элементов.
2. Выгрузка формата картографической информации, построенного СЭИ на основе тестового примера.
3. Разделение навигационного формата на две зоны: окантовочную и центральную (навигационная информация окантовочной зоны отображается в виде счетчиков с соответствующими обозначениями и единицами измерения; в центральной зоне навигационного формата отображается картографическая информация, непосредственно касающаяся маршрута полета ЛА).
4. Поиск на формате картографических элементов из библиотеки и определение координат их центров.
5. Разбиение картографических элементов на маршрутные и немаршрутные.
6. Восстановление последовательности следования элементов в маршруте.
7. Определение типа соединения между элементами маршрута: прямая, дуга, прямая + дуга, дуга + прямая, прямая + дуга + прямая.
8. Нахождение масштаба отображения картографической информации.
9. Поиск на формате наименований картографических элементов.
10. Поиск на формате неиспользуемых в библиотеке символов.
11. Диагностика функций формирования навигационного формата при отображении аэронавигационной картографической информации.
12. Пересчет экранных координат картографических элементов в географические.
13. Формирование выходного файла распознанной навигационной информации для последующего сравнения с входным файлом данных.
14. Анализ полученных несовпадений сравнения входа и выхода и оформление протокола тестирования ПО СЭИ БСУ с указанием выявленных ошибок и их причин.

Формирование состава группы с адресом 100_8 , в которой передается основная информация о плане полета, производится в зависимости от типа соединения картографических элементов в маршруте, выявленного в соответствии с п. 7 алгоритма. Отличия в формировании группы с адресом 100_8 для наиболее простых вариантов – соединения прямой и дугой следующие:

1. три элемента маршрута соединены прямой, рис. 3.

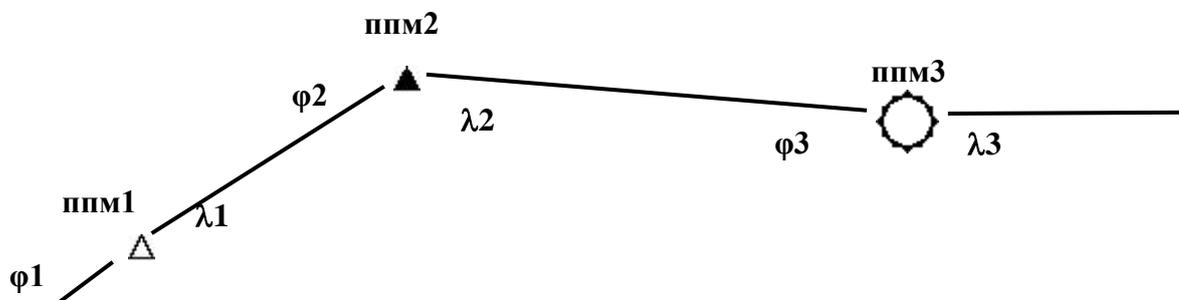


Рис. 3. Порядок следования в маршруте: ппм1 – ппм2 – ппм3, координаты ппм1 - ϕ_1, λ_1 , координаты ппм2 – ϕ_2, λ_2 , координаты ппм3 – ϕ_3, λ_3

ГРУППА 100_8 будет иметь следующую структуру:

100	3	ϕ_1	λ_1
0	0	ϕ_2	λ_2
0	0	ϕ_3	λ_3

2. первый и второй элементы соединены дугой, рис. 4.

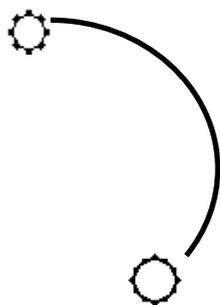


Рис. 4. Порядок следования в маршруте: ппм1 – ппм2, координаты ппм1 - ϕ_1, λ_1 , координаты ппм2 – ϕ_2, λ_2 , координаты центра дуги - ϕ_0, λ_0 , азимут дуги – А, радиус дуги – R, направление разворота в дуге – Разворот, стягивающий угол дуги - Стяг угол

ГРУППА 100_8 будет иметь следующую структуру:

100	2	ϕ_1	λ_1	1	ϕ_0	λ_0	А	R	разворот	Стяг угол
0	0	ϕ_2	λ_2							

Формирование всех групп навигационной информации происходит по разработанному алгоритму в соответствии с ARINC 702A.

При автоматизации контроля и диагностики функционирования разработанные алгоритмы позволяют представить отображаемую СЭИ БСУ аэронавигационную картографическую информацию в формате входных данных для обеспечения сравнения. Алгоритм позволяет определять правильность представления данных, принимаемых СЭИ БСУ как в тестовых

примерах при контроле и диагностике, так и в реальных условиях работы системы на борту.

Разработанное ПО, реализующее обработку и анализ изображений (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012660996 РФ), содержащих аэронавигационную картографическую информацию, отображаемую СЭИ БСУ, используется совместно со средствами автоматизированного формирования тестовых примеров и программным комплексом (ПК) «Фрегат» управления наземной автоматизированной станцией контроля (НАСК). Совместно они обеспечивают полную автоматизацию контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ.

В пятой главе рассмотрена методика совместного использования разработанных средств автоматизации контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ со средствами НАСК и ПК «Фрегат», приведены примеры и результаты опытной эксплуатации и оценки эффективности данных средств.

Методика использования разработанных средств автоматизации состоит из ряда операций настройки, подготовки, редактирования и обработки данных, обеспечивающих корректное взаимодействие средств автоматизации с получением протокола контроля и диагностики. Она состоит из следующих основных этапов.

1. Запуск и настройка средств автоматизации контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ. На данном этапе проводится настройка исходных параметров формируемого тестового примера, параметров выгрузки формата СЭИ по каналу Ethernet, процесса анализа аэронавигационной карты. При необходимости, также осуществляется правка библиотеки картографических символов, проверка даты последнего обновления навигационной БД, ее обновление, работа с руководством оператора и др.
2. Получение набора тестовых примеров, необходимого для проведения проверки функционирования СЭИ БСУ на НАСК. Для проведения полноценного тестирования необходимо получить набор тестовых примеров, содержащий: схему вылета (SID), схему маршрута, схему прибытия (STAR), схему захода на посадку (APPR). Тип схемы для формируемого теста задается оператором в специальной форме интерактивного интерфейса ПО средств автоматизации, им также определяется аэродром, к которому принадлежит схема, и ее идентификатор. Требуемая для этого информация берется из авиационного сборника. После автоматического формирования теста он сохраняется в формате, необходимом для его загрузки в ПК «Фрегат».
3. Подготовка и редактирование тестов проверки функционирования СЭИ БСУ средствами ПК «Фрегат». В состав ПК «Фрегат» входят следующие компоненты: подсистема взаимодействия с пользователем; интерпретатор тестовых заданий (управление процессом выполнения тестов); программа управления БД (создание и редактирование БД, документирование результатов

контроля); программы взаимодействия с аппаратурой средств контроля; справочная система.

Тест проверки функционирования СЭИ БСУ, подготовленный в среде ПК «Фрегат», представляет собой программу, обеспечивающую совместно с аппаратной частью стенда имитацию работы системы ВСС на борту. Разработанная тестовая программа состоит из следующих модулей:

- модуль загрузки тестового примера,
- модули навигационной информации для конкретных картографических элементов в соответствии с протоколом взаимодействия ВСС и СЭИ БСУ (ARINC 702A),
- модуль формирования навигационного формата,
- модуль разбиения навигационной информации на блоки в соответствии с протоколом взаимодействия,
- модуль поочередной выдачи блоков навигационной информации по кодовым линиям связи в индикатор СЭИ БСУ,
- модуль распечатки выдаваемой по кодовым линиям связи навигационной информации для осуществления контроля.

В зависимости от модификации системы электронной индикации БСУ и системы выдачи картографической информации необходимо проведение редактирования общего состава навигационной информации в тесте в соответствии с конкретным протоколом их взаимодействия.

4. Получение набора навигационных форматов, соответствующих набору входных тестовых примеров, как результата функционирования СЭИ БСУ при контроле. Каждый полученный формат в виде битовой матрицы выгружается на стендовый компьютер через канал Ethernet.

5. Загрузка навигационного формата в программу обработки и анализа картографической информации. Загружаемый навигационный формат при необходимости автоматически масштабируется под разрешение, на работу с которым настроены средства.

6. Автоматическая обработка и анализ навигационного формата, в ходе которых происходит преобразование отображенной на нем аэронавигационной картографической информации в форму, идентичную поступающей от ВСС информации с характеристиками ARINC 702A.

Для корректной работы ПО анализа навигационного формата оператор интерактивно вводит значения текущих географических координат ЛА. Последовательность отработки этапов процесса анализа отображается в специальном окне интерактивной формы в виде результирующих таблиц после завершения каждого этапа. Обрабатываемые на формате элементы выделяются и подсвечиваются, обеспечивая контроль оператором корректности работы ПО.

В случае сбоя обработки (например, ошибка в составе библиотеки картографических символов или шрифтов, неправильно выбранный масштаб отображения и т. п.) выводится соответствующее сообщение.

7. Получение отчета по результатам контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ. После проведения анализа полученная навигационная информация преобразовывается в соответствии с протоколом взаимодействия ВСС и СЭИ БСУ и приводится в формат, идентичный формату загружаемого тестового примера. По результатам сравнения входного файла, полученного с помощью ПО формирования тестовых примеров из навигационной БД, и выходного файла, полученного с помощью ПО анализа картографической информации из навигационного формата, формируется отчет о несовпадениях, которые дополняются выводами о предполагаемых источниках ошибок, выявленных в ходе проверки функционирования СЭИ БСУ. Полученный отчет используется при последующем устранении ошибок функционирования СЭИ БСУ, что обеспечивает повышение эффективности и объективности процесса контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ в целом.

Результаты опытной эксплуатации разработанных средств автоматизации в соответствии с предложенной методикой показали, что процесс подготовки тестов и анализ результатов контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ осуществляется в интерактивном режиме и не требует дополнительной обработки и анализа каких-либо данных. Опыт использования разработанных средств показал, что они могут быть эффективно использованы на этапе разработки СЭИ БСУ для выявления общих ошибок приема и отображения аэронавигационной картографической информации. Для этого проведена классификация основных ошибок в работе СЭИ, указаны причины их появления, описаны примеры их проявления и способы их определения при реализации контроля с использованием разработанных средства автоматизации.

Для оценки эффективности разработанных средств автоматизации контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ по результатам экспериментов более чем на 70 примерах произведен расчет вероятностей возникновения ошибок первого и второго рода. Они составили, соответственно 6% и 5%.

Разработанные средства автоматизации контроля и диагностики функционирования могут быть также эффективно использованы на ранних стадиях разработки и отладки алгоритмического обеспечения СЭИ совместно с эмулятором работы ПО. Такой режим эксплуатации разработанных средств дал положительные результаты на ранних стадиях при разработке и отладке системы КСЭИС-В1 (ОАО «УКБП», сентябрь 2012 г.). Одной из схем, использованных при разработке и отладке КСЭИС-В1, была схема посадки APPR I25R, рис. 5.



Рис. 5. Часть схемы посадки APPR I25R

Данная схема имеет довольно большой перечень одновременно отображающихся элементов карты, а также имеет не только прямолинейные участки линии захода на посадку (ЛЗП), но и дугу разворота. Пример групп ошибок функционирования СЭИ БСУ, выявленных средствами автоматизации контроля и диагностики: 1) неправильная организация приема навигационной информации, 2) сбой в алгоритме первичного преобразования принятой от ВСС навигационной информации, 3) неправильный алгоритм преобразования входной навигационной информации в соответствии с изменением перечня выдаваемой ВСС информации и общего количества принимаемых КСЭИС-В1 слов, 4) ошибка алгоритма построения ЛЗП, 5) ошибка алгоритма отображения маршрутных ППМ, 6) ошибка отображения признаков маршрутных ППМ, 7) ошибка вида отображаемого символа картографического элемента и др.

Результатом проведенных экспериментов явилась общая классификация ошибок, выявляемых в процессе проведения тестирования функционирования СЭИ БСУ при отображении аэронавигационной картографической информации на полунатурном стенде, и локализация их возможных причин: 1) ошибки приема информации (возможные причины: отказ модуля ввода – вывода индикатора СЭИ БСУ, либо неверная программная реализация приема информации, ошибки кодирования); 2) черный экран (возможные причины: отказ аппаратуры индикатора); 3) неверное построение картографического формата (возможные причины: ошибки алгоритма построения, ошибки программной реализации алгоритма построения, ошибки кодирования); 4) построение картографического формата с неправильными характеристиками (возможные ошибки: ошибки преобразования принятой информации (не в соответствии с протоколом взаимодействия), ошибки кодирования).

Разработанные средства автоматизации контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ также использованы при разработке и отладке следующих систем:

- КСЭИС-В1 (вертолет Ми-171А2),
- КЭИС-204Е (самолет Ту-204 и его модификации),
- КСЭИС-148 и ее модификации (самолет Ан-148),
- КСЭИС-100 (самолет Ту-334),

- СЭИ-85-2МТВ (самолеты Ил-96-300, Ту-214).

Их использование обеспечило:

- автоматизацию и унификацию процесса контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ при отображении аэронавигационной картографической информации и получения отчетов о результатах;
- сокращение временных затрат на проведение контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ;
- достоверную имитацию работы бортовой вычислительной системы, передающей аэронавигационную картографическую информацию в процессе контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ с использованием наземного автоматизированного стенда контроля;
- простой интуитивно-понятный интерфейс подготовки тестовых примеров достаточной сложности;
- исключение человека из процесса анализа отображения сложной аэронавигационной картографической информации при контроле и диагностировании функционирования СЭИ БСУ;
- повышение эффективности и объективности контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ.

В заключении представлены основные результаты диссертационной работы.

В соответствии с поставленными целями и задачами в работе получены следующие основные результаты.

1. Проведен анализ состава и функций СЭИ современных БСУ, определены свойства, характеристика и особенности информации, принимаемой, обрабатываемой и отображаемой ими.
2. Проведены анализ, формализация и описание процессов контроля и диагностики функционирования СЭИ на разных этапах жизненного цикла БСУ и определены требования к организации и средствам реализации данного процесса.
3. Определены этапы процесса контроля и диагностики функционирования СЭИ, автоматизация которых позволяет максимально повысить качество контроля и достоверность выявления ошибок на этапах проектирования, отладки аппаратной и программной составляющих системы, производства и испытаний, эксплуатации, регламентных и ремонтных работ.
4. Проведено моделирование и алгоритмизация этапов процесса контроля и диагностики СЭИ БСУ, автоматизация которых необходима.
5. Разработаны средства автоматизации выполнения этапов процесса контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ, определенных ранее.
6. Предложена методика использования разработанных средств автоматизации совместно с существующими средствами обеспечения контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ.

7. Разработанные средства автоматизации контроля и диагностики функционирования СЭИ БСУ использованы при разработке и отладке ряда систем, результаты опытной эксплуатации подтвердили их эффективность.

В приложениях приведены таблица соответствия навигационной информации, поступающей от ВСС (ARINC 702A) и содержащейся в навигационной БД (ARINC 424), таблица соответствия изображений символов картографических элементов, признака и групп навигационной информации, результаты экспериментов для определения ошибок первого и второго рода разработанных средств контроля и диагностики.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ

1. Борисова, Т.С. Обеспечение достоверности отображения аэронавигационной картографической информации в системах электронной индикации летательных аппаратов/ В.А. Мишин, Т.С. Борисова, С.К. Киселев, // Датчики и системы.- Москва. – 2010. - № 6.- С.2-7.

Публикации в других изданиях

2. Борисова, Т.С. Повышение качества программного обеспечения представления картографической информации в системах электронной индикации/ Т.С. Борисова, С.К. Киселев // Вузовская наука в современных условиях: сборник докладов XL научно-технической конференции УлГТУ.- Ульяновск : УлГТУ, 2006. – С. 71-72.

3. Борисова, Т.С. Автоматизация тестирования специального программного обеспечения формирования картографической информации в системах электронной индикации на борту летательного аппарата/ Т.С. Борисова, С.К. Киселев // Вестник Ульяновского государственного технического университета.- 2008. - № 2. – С. 59-63.

4. Борисова, Т.С. Картографическая информация в системах электронной индикации: средства автоматизации получения тестовых примеров/ Т.С. Борисова // Вузовская наука в современных условиях: сборник докладов 42-й научно-технической конференции УлГТУ.- Ульяновск : УлГТУ, 2008. – С. 113-114.

5. Борисова, Т.С. Разработка специального программного обеспечения систем электронной индикации/ Т.С. Борисова // Вузовская наука в современных условиях: сборник докладов 42-й научно-технической конференции УлГТУ.- Ульяновск : УлГТУ, 2008. – С. 115-116.

6. Борисова, Т.С. Анализ использования электронных средств отображения информации на борту летательных аппаратов/ Т.С. Борисова, С.К. Киселев // Информационные технологии: межвузовский сборник научных трудов.- Ульяновск : УлГТУ, 2008. – С. 39-41.

7. Борисова, Т.С. The Analysis of Advanced Approaches in Modern Avionics/ Т.С. Борисова // Роль иностранного языка в научной,

профессиональной и межкультурной коммуникации: межвузовская конференция аспирантов.- Ульяновск : УлГТУ, 2009. – С. 23-27.

8. Борисова, Т.С. Быстрое тестирование СПО формирования картографической информации в СЭИ ЛА/ Т.С. Борисова // Вузовская наука в современных условиях: сборник докладов 43-й научно-технической конференции УлГТУ.- Ульяновск : УлГТУ, 2009. – С. 258.

9. Борисова, Т.С. Новые тенденции отображения экипажу пилотажной, навигационной, радиолокационной и синтезированной информации на МФИ/ Т.С. Борисова // Вузовская наука в современных условиях: сборник докладов 43-й научно-технической конференции УлГТУ.- Ульяновск : УлГТУ, 2009. – С. 259.

10. Борисова, Т.С. Сравнительный анализ вариантов построения структуры информационного комплекса бортового оборудования/ Т.С. Борисова // Вузовская наука в современных условиях: сборник докладов 43-й научно-технической конференции УлГТУ.- Ульяновск : УлГТУ, 2009. – С. 260.

11. Борисова, Т.С. Анализ тенденций развития индикаторов и основных характеристик отображения для авиационных СЭИ/ Т.С. Борисова // Вузовская наука в современных условиях: сборник докладов 44-й научно-технической конференции УлГТУ.- Ульяновск : УлГТУ, 2010. – С. 103.

12. Борисова, Т.С. Разработка методов и средств ввода, передачи, обработки и представления картографической информации в системах электронной индикации интегрированных бортовых комплексов/ Т.С. Борисова, С.К. Киселев // Проведение научных исследований в области информационно-телекоммуникационных технологий: материалы Всероссийской научно-практической конференции с элементами научной школы для молодежи.- М.: МСП ИТТ, 2010.

13. Борисова, Т.С. Разработка программного обеспечения для проверки корректности построения электронных карт в СЭИ ЛА/ Т.С. Борисова // Вузовская наука в современных условиях: сборник докладов 45-й научно-технической конференции УлГТУ.- Ульяновск : УлГТУ, 2011. – С. 153.

14. Борисова, Т.С. Автоматизация тестирования отображения картографической информации в комплексных системах электронной индикации самолета/ Т.С. Борисова, С.К. Киселев // Устройства измерения, сбора и обработки сигналов в информационно-управляющих комплексах: тезисы докладов 1-й Всероссийской научно-практической конференции.- Ульяновск : УлГТУ, 2011. – С. 206-208.

Патенты

15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011616858 РФ. Программа автоматического получения тестовых примеров для стендовой проверки системы отображения пилотажно-навигационной информации в части отображения картографической информации/ Борисова Т.С., Зеленцова Р.А.; заявл. 06.07.11; зарег. 02.09.11.

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для

ЭВМ № 2012660996 РФ. Программа автоматического распознавания изображения картографической информации, получаемой от вычислительной системы самолетовождения ВСС, для стендовой проверки систем типа КСЭИС/ Борисова Т.С., Землянов А.В.; заявл.:25.10.2012; зарег. 05.12.12.

Борисова Татьяна Сергеевна
Автоматизация контроля и
диагностики систем электронной индикации
бортовых систем управления
в режиме отображения аэронавигационной
картографической информации

Автореферат

Подписано в печать 05.03.2013. Формат 60×84 1/16.

Усл. печ. л. 1,40. Тираж 100 экз. Заказ

Типография УлГТУ. 432027, Ульяновск, ул. Северный Венец, 32.