

Т. С. БОРИСОВА, С. К. КИСЕЛЁВ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОННОЙ ИНДИКАЦИИ НА БОРТУ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Рассматриваются вопросы тестирования специального программного обеспечения для формирования картографической информации в системах отображения пилотажно-навигационной обстановки на борту летательного аппарата. Описана система автоматического получения загрузочных тестовых примеров, позволяющая обеспечить в реальном времени идентичность борта и его отладочного имитатора.

Ключевые слова: летательный аппарат, картографическая информация, программное обеспечение.

Современные системы отображения пилотажно-навигационной обстановки представляют экипажу самолёта самую разнообразную информацию: пилотажную и навигационную, о метеобстановке, о рельефе местности и об угрозе опасного сближения с землёй, информацию о наличии воздушных судов в окружающем пространстве и угрозе столкновений с ними, а также рекомендации на маневрирование. Одним из наиболее сложных и комплексных видов информации является картографическая. В настоящее время используются три типа цифровых карт:

- оцифрованные карты;
- базы данных географических координат;
- гибридные карты.

Оцифрованные карты получают из обычных бумажных путём сканирования. При этом электронная карта получается растровой, т. е. является копией оригинала с точностью до элемента (пикселя) сканирования. Затем с помощью операции трассировки или ручной отрисовки получают векторную карту. Далее каждому объекту карты ставится в соответствие информация двух видов: геометрическое и атрибутивное описание объекта.

Преимущество растровых карт – это высокая скорость их изготовления и «узнаваемость». Основной недостаток заключается в невозможности их модификации. Вторым недостатком растровых карт является довольно-таки большой объём занимаемых данных.

Векторные карты доступны для модификации, векторные данные занимают меньший объём. Основное достоинство векторных карт – их

масштабируемость, причём в зависимости от масштаба могут быть доступными только определённые слои векторов. Единственное требование – точность привязки, поскольку точность навигации зависит от точности привязки на оцифрованной карте. Теоретически точность привязки растровой и векторной карт одинакова и сравнима с бумажной эталонной картой.

Гибридные карты – это комбинации оцифрованных карт и цифровых баз данных географических координат объектов на карте. Такими объектами являются: пункты маршрута, радиосредства, взлетно-посадочные полосы, аэродромы, зоны управления воздушным движением, воздушные трассы и т. п. За счёт использования дополнительной информации о координатах объектов, занесённых в базу данных, гибридные карты обладают более высокой точностью, чем просто оцифрованные. Цифровые карты в авиации применяются как для навигации, так и для просмотра любых других участков местности, что даёт возможность пилоту, например, проложить курс.

Для изображения навигационных элементов на карте принята стандартная символика. Вся информация о навигационных элементах собирается в электронную навигационную базу данных, состав которой регламентируется стандартом ARINC 424.

Представление цифровой карты и дополнительной информации на индикаторе в соответствии с местом и условиями полёта является одной из функций специального программного обеспечения (СПО) бортового измерительно-вычислительного комплекса.

© Т. С. Борисова, С. К. Киселёв, 2008

Учитывая сложность и ответственность задач, решаемых СПО, весь процесс его разработки делится на ряд этапов: разработка требований к СПО, разработка проекта СПО, программирование, интеграция модулей, интеграция СПО и аппаратуры. Выполнение каждого этапа сопровождается соответствующей документацией (требование к системе, требование к СПО, проект СПО, коды модулей, коды блоков СПО системы) и проводится верификация СПО – проверка соответствия программного обеспечения тому, что требовалось получить на данном этапе. Верификация включает как просмотр разработанных документов, так и тестирование СПО.

При этом используются тесты двух видов:

1) тесты, проверяющие способность компонента СПО выполнять функции, предписанные требованиями этому компоненту;

2) тесты, основанные на структурных особенностях СПО (правильность реализации всех ветвей алгоритмов работы и интеграции модулей СПО).

Тесты второй группы необходимы для полного охвата контролем всего создаваемого СПО.

Исходными материалами для разработки СПО являются требования к системе в целом – техническое задание, протоколы взаимодействия с сопрягаемыми системами.

После разработки для стендовой проверки СПО должны быть реализованы реальные условия борта, необходима система – имитатор борта летательного аппарата, которая в условиях стенда обеспечивает имитацию реальной бортовой системы, например, вычислительной системы самолётовождения (ВСС). Основная проблема при стендовом тестировании – это обеспечение идентичности борта и имитатора в реальном времени, в полном объёме.

Разработка и тестирование СПО, отвечающего за формирование картографической информации на индикаторе, также проводится в полном соответствии с данными требованиями.

Документ ARINC 424 вводит рекомендуемые авиационные стандарты для подготовки файлов справочной информации для бортовых навигационных систем. Информация, записанная в этих файлах, предназначена для обработки бортовыми вычислителями. Подготовку навигационных данных можно представить в виде процесса, состоящего из 4-х этапов.

Первый этап заключается в создании банка данных.

Второй – заключается в учёте эксплуатационных требований отдельных авиакомпаний.

Третий этап заключается в адаптации данных к операционным системам навигационный вы-

числителей.

На заключительном этапе создаются хранилища, содержащие обработанные данные.

В банках данных содержится мировая навигационная справочная информация, получаемая как из открытых источников (ИКАО, государственные учреждения и т. д.), так и от организаций, эксплуатирующих навигационные системы. Банки могут создаваться и заполняться либо правительственными учреждениями, международными организациями, либо коммерческими структурами, либо теми и другими вместе.

Например, наиболее известны следующие поставщики навигационных баз данных: JEPPI, LIDO, EAG, ЦАИГА. Поставщики обычно предоставляют базу в наиболее распространённом текстовом формате.

Для пояснения принципа формирования входных тестовых массивов в комплексе с программами тестирования СПО рассмотрим, например, общую структуру навигационной базы данных по ARINC 424.

Навигационная информация в базе данных размещена по разделам и подразделам. В каждой строке базы имеется 132 информационных полей (расположение данных по полям строго регламентировано в соответствии с разделами и подразделами и приведено в стандарте ARINC 424).

Основные разделы/подразделы базы данных:

- навигационные средства,
- маршрут,
- аэродромы,
- трассы авиакомпаний,
- воздушное пространство специального назначения,
- таблицы.

В разделе «Навигационные средства» содержится информация по следующим навигационным средствам: навигационные средства диапазона очень высоких частот – ОБЧ (VOR – Very High Frequency Omnidirectional Radio Range, VOR/DME – Distance Measuring Equipment, ILS – Instrument Landing System, MLS – Microwave Landing System, TACAN – Tactical Air Navigation и др.), навигационные средства – отдельные приводные станции – ОПРС (низко- и среднечастотные ОПРС и некоторые морские радиомаяки, определённые в схеме маршрута).

В разделе «Маршрут» содержится информация по следующим элементам: промежуточные пункты маршрута, маркер авиатрассы, схемы полёта в зоне ожидания, воздушные трассы, ограничения воздушных трасс, средства связи.

В разделе «Аэродромы» содержится информация по следующим элементам: контрольные точки, районы входа, контрольные точки аэроузла, стандартная схема вылета по приборам (SID), схемы стандартного маршрута прибытия

(STAR), схемы захода на посадку, взлетно-посадочная полоса, курсовой радиомаяк, микро-волновая система посадки, маркеры курсового маяка, минимальная высота сектора, средства связи, ОПРС аэроузла.

Пример расположения навигационных данных непосредственно для конкретного раздела – раздела «Навигационные средства ОБЧ» приведён в таблице 1.

Система ВСС передаёт системе отображения картографической информации навигационную информацию в соответствии с ARINC 702A для построения карты.

Общую схему проведения тестирования можно представить в следующем виде, представленном на рисунке 1.

Как уже упоминалось, основная проблема при тестировании на стенде – это обеспечение идентичности борта и имитатора в реальном времени, в полном объёме.

Следовательно, формирование реальных корректных тестовых примеров наиболее важно при проведении тестирования.

Имитатор начинается со среды тестирования. Ею может являться как стандартный программный пакет, так и разработанный специализированный пакет, который обеспечивает функциональные потребности стенда.

В любом случае среда тестирования наряду с протоколом взаимодействия с системой ВСС диктует формат загрузочных массивов тестовых примеров.

ВСС поставляет информацию в чередующихся блоках из 64 слов фоновых и динамических данных. Максимально массив фоновых данных может быть запрограммирован с количеством слов до 1024. Фоновые данные для каждого элемента карты расположены в своих группах, которые имеют свой восьмеричный адрес.

Например, информация о настроенных АРК (автоматический радиоконпас) в соответствии с протоколом имеет следующий перечень:

Адрес 244,
φ, λ – координаты АРК;
наименование;
частота.

Данное расположение информации в соответствии с протоколом взаимодействия с системой ВСС диктует строгое следование информации во входных тестовых массивах картографической информации.

Входной информационный массив в текстовом формате представляется в виде двумерного массива. Картографические параметры в двумерном массиве расположены следующим образом:

```
330 2 56.0106 37.657 0.1 0 0 0 0 #CI25R
0 0 55.986 37.502 20.3 0 0 0 0 #AD
```

Первый столбик содержит восьмеричный адрес для каждой группы, во втором расположено

Колонка	Имя поля
1	Тип записи
2 – 4	Код пользователя/зоны
5	Код раздела
6	Код подраздела
7 – 10	Идентификатор аэропорта ИКАО
11 – 12	Код ИКАО
13	Пробел (интервал)
14 – 17	Идентификатор VOR
18 – 19	Пробел (интервал)
20 – 21	Код ИКАО
22	Номер записи продолжения
23 – 27	Частота VOR
28 – 32	Класс нав. средства
33 – 41	Широта VOR
42 – 51	Долгота VOR
52 – 55	Идентификатор DME
56 – 64	Широта DME
65 – 74	Долгота DME
75 – 79	Склонение станции
80 – 84	Превышение DME
85	Чувствительность
86 – 87	Смещение ILS / DME
88 – 90	Защита частоты
91 – 93	Код исходной точки
94 – 123	Название VOR
124 – 128	Номер записи файла
129 – 132	Дата цикла

количество элементов данной группы, в последующих столбцах по порядку в соответствии с протоколом взаимодействия расположены навигационные параметры для каждого элемента.

Из приведённого выше примера видно, что порядок и состав навигационных параметров в протоколе взаимодействия с ВСС отличается от порядка и состава навигационной базы данных.

Следовательно, необходимо определённым образом формировать загрузочный массив навигационной информации в соответствии с протоколом с ВСС из навигационной базы данных. Для выполнения данной операции разработана система автоматического получения загрузочных тестовых примеров, представляющая собой совокупность базы данных и программы на языке VB, реализованных в программном пакете MS Access.

В рабочую базу данных загружается общесамолётная база данных. Далее с помощью систем запросов и программ автоматически получается загрузочный тестовых массив входных навигационных данных.



Рис. 1. Схема тестирования СПО

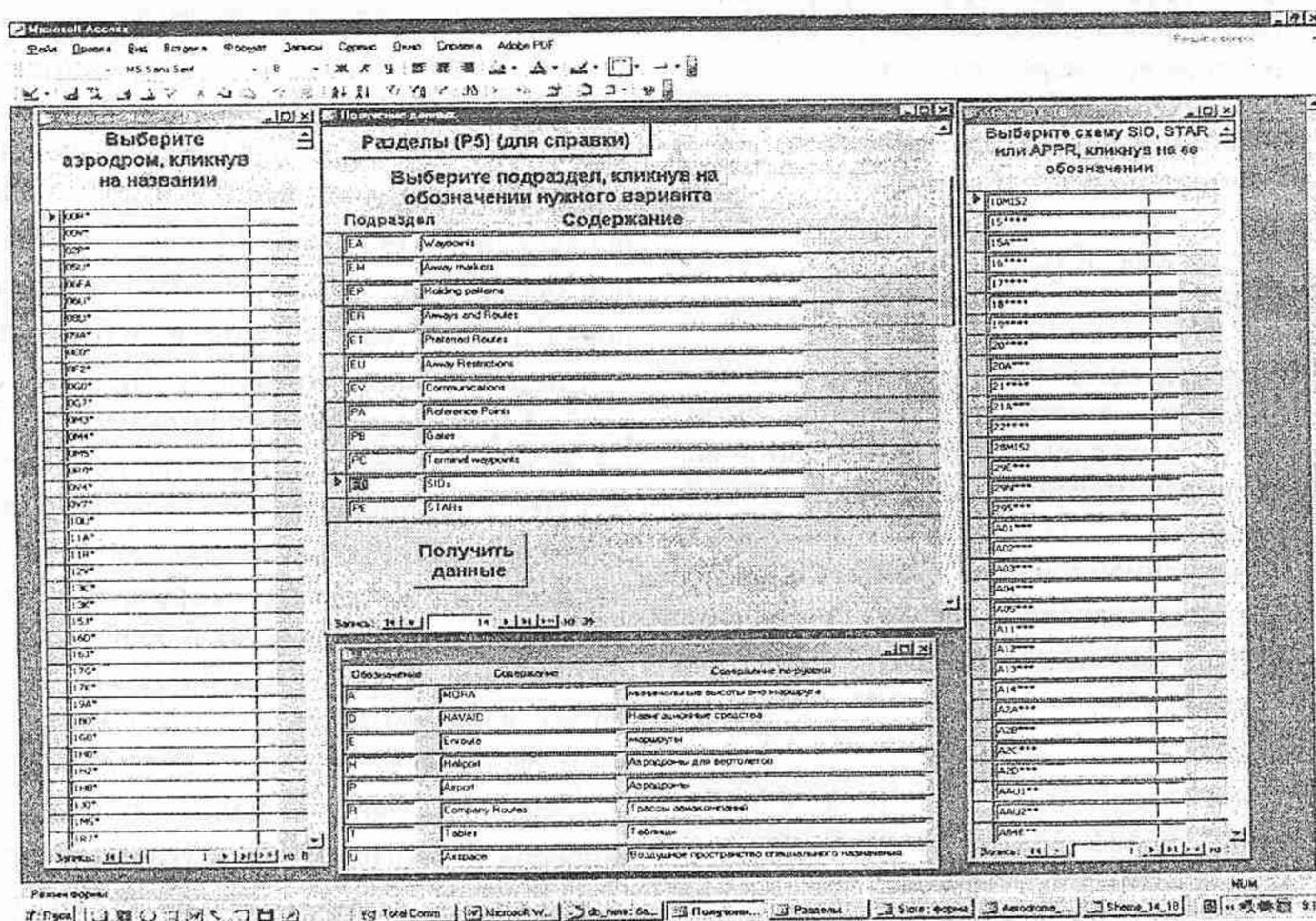


Рис. 2. Интерактивный интерфейс системы формирования тестовых примеров

Для удобства работы с автоматизированной системой разработан наглядный интерфейс, который содержит интерактивные формы (рис. 2).

Запросы отсортировывают навигационную базу данных по разделам и подразделам, а также по схемам: маршрут, схема захода на посадку, взлёт и т. д.

Полученный входной тестовый массив обрабатывается тестовыми программами, которые форматируют и выдают навигационные данные по кодовым линиям в индикатор. Далее визуально происходит сравнение отображённых картографических форматов с реальными навигационными картами из навигационных сборников.

Разработанная автоматизированная система получения входных тестовых массивов в ком-

плексе с программами тестирования обеспечивают идентичность борта и имитатора в реальном времени. Она проста в обращении и повышает эффективность и производительность стендовых проверок, так как значительно экономит время получения реальных загрузочных тестовых массивов.

.....

Борисова Татьяна Сергеевна, инженер ОАО «УКБП», аспирант кафедры ИВК УлГТУ.

*Киселёв Сергей Константинович, доктор технических наук, заместитель проректора по научной работе ГОУ ВПО УлГТУ,
E-mail: ksk@ulstu.ru.*

УДК 621.224-523.3

А. Н. ШЛАМБИРОВ, М. Ю. СОРОКИН

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ГИДРОАГРЕГАТА И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОТУРБИНОЙ

С целью проведения математического моделирования системы автоматического управления гидроагрегатом разработаны математические модели сервопривода направляющего аппарата, сервопривода рабочего колеса и 4-лопастной турбины Головного гидроагрегата Зарамагской ГЭС.

Ключевые слова: гидроагрегат, гидротурбина, система автоматического управления.

В настоящее время в России на действующих ГЭС используются системы регулирования и управления электрогидромеханического типа, которые практически выработали свой ресурс и требуют замены. В связи с развитием электроники и вычислительной техники, созданием новых программных продуктов целесообразно использование электронных средств регулирования. Для перехода на более качественную ступень регулирования необходимо создание новых математических моделей гидроагрегатов и систем управления к ним, которые бы учитывали множество факторов, влияющих на качество процесса управления в соответствии с нормами международной электротехнической комиссии, в частности, «Международного руководства по испытанию регуляторов частоты вращения для гидравлических турбин» [1]. Проведение математического моделирования позволяет избежать многочисленных испытаний на объекте, сократить время пусконаладочных работ за счёт того, что функционирование системы автоматического управления (САУ) отлаживается при математическом моделировании и при полунатурном моделировании.

© А. Н. Шламбиров, М. Ю. Сорокин, 2008

На рис. 1 приведена структурная схема замкнутой системы: САУ на основе ошибки Δf между заданной частотой вращения $f_{зад}$ и частотой вращения турбины гидроагрегата (ГА) формирует уставку $S_{уст}$ по положению штока сервопривода направляющего аппарата (СП НА), регулируя тем самым подачу воды на турбину, а, следовательно, изменяя частоту вращения f последней. На основе уставки $S_{уст}$ по положению штока СП НА формируется комбинатором уставка $f_{уст}$ поворота угла лопастей рабочего колеса, которая подаётся на сервопривод рабочего колеса (СП РК). За счёт изменения угла поворота лопастей рабочего колеса увеличивается КПД турбины. В данном случае формирование управляющего сигнала $S_{уст}$ производится по ПИД-закону, который выбран как наиболее подходящий [2]. Сервоприводы НА и РК имеют местную жёсткую обратную связь. Большинство механических регуляторов имеют изодромную характеристику. Предлагаемый регулятор обладает лучшими динамическими и статическими характеристиками по сравнению с механическими регуляторами.