

ББК 0561.9-5-054,7 +0530-082.051-5-054,7  
УДК 656.7.052.002.5:681.3.06.019.3 (045)

И.Э. Райчев, А.Г. Харченко, Н.А. Яцков

## МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ТЕСТОВЫХ НАБОРОВ ДАННЫХ ПРИ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЯХ КОМПЛЕКСОВ ПРОГРАММ КОНТРОЛЯ ПОЛЕТОВ

*Рассмотрен основной аспект сертификационных испытаний программного обеспечения контроля полетов – создание тестовых наборов данных. Дан анализ основных комплексов контроля полетов и обоснован выбор методов их тестирования. Приведены общие категории тестов, которые применимы на начальной стадии испытаний комплексов программ контроля полетов. Изложены методы динамического тестирования и имитационного моделирования, используемые для углубленного тестирования комплексов контроля наборов данных и обработки результатов тестирования.*

Программное обеспечение контроля полетов допускается к эксплуатации на предприятиях гражданской авиации Украины на основании результатов государственных сертификационных испытаний [1]. Главной задачей сертификационных испытаний является проверка соответствия программного обеспечения контроля полетов требованиям, изложенным в нормативных документах [1; 2] и государственном стандарте [3]. Основными из этих требований являются следующие:

- решение обязательных задач;
- точность воспроизведения зарегистрированной информации;
- достоверность результатов контроля по выявлению опасных отклонений в работе систем воздушного судна и действиях экипажа;
- состав и форма представления входной и выходной информации.

Основным методом проверки соответствия программного обеспечения контроля полетов нормативным требованиям является функциональное тестирование модулей каждого комплекса в целом с использованием специальных тестовых наборов данных. Проблема заключается в правильном подборе стратегии и методов тестирования и создании необходимых тестовых наборов данных. Для решения этих проблем проведен анализ существующих методов тестирования комплексов программ и технологии создания тестовых наборов данных с целью выбора оптимальных методов для каждого из программных комплексов контроля полетов с учетом их особенностей.

Программное обеспечение контроля полетов включает в себя три основных программных комплекса:

- комплекс программ воспроизведения полетной информации;
- комплекс программ допускового контроля полета;
- комплекс программ контроля качества выполнения полета.

Хотя входной информацией для каждого из комплексов контроля полетов служит информация параметрических бортовых регистраторов, однако в каждом из них реализованы различные классы алгоритмов и различные принципы организации программ. Этот факт определяет различные требования к методам тестирования и используемым тестовым наборам данных.

Комплекс программ воспроизведения решает задачу преобразования полетной информации с выдачей графиков или цифровых значений на экран дисплея или печать. В комплек-

се программ воспроизведения реализованы алгоритмы предварительной обработки информации и преобразования кодовых значений параметров в физические. Основным требованием к выполняемым функциям является требование обеспечения заданной точности воспроизведения.

Существенной особенностью тестирования этого комплекса является то, что реализуемый набор алгоритмов при каждом тестовом проходе не зависит от входных данных, а последовательность выполнения алгоритмов является детерминированной. Тестовыми данными для проверки такого комплекса могут быть произвольные последовательности значений из допустимой области. В этом случае для задания тестовых наборов данных удобно использовать значения функций, которые можно легко вычислить. Кроме того, для тестирования этого комплекса рекомендуется использовать тестовую копию полета с полным описанием зарегистрированной информации.

Основной задачей, решаемой при тестировании модулей воспроизведения, является оценка точности выполняемых преобразований, таких, как фильтрация случайных погрешностей, интерполяция, аналогово-цифровые преобразования и др. Поэтому для тестирования программ комплекса воспроизведения можно эффективно применить методы динамического тестирования вне реального времени, методы эквивалентного разбиения, анализа граничных значений и предположения об ошибке.

Комплекс программ допускового контроля должен обеспечивать реализацию алгоритмов контроля, определенных в эксплуатационной документации воздушного судна. Комплекс допускового контроля предназначен для выявления отклонений в работе систем воздушного судна и ошибок пилотирования, которые могут влиять на безопасность полета [4]. Поэтому он должен обеспечивать:

- идентификацию этапов полета и определение событий контроля;
- идентификацию режимов работы систем воздушного судна;
- определение выхода контролируемых параметров за ограничения.

В программном комплексе допускового контроля реализованы алгоритмы вычисления сложных логических функций, определенных на множестве непрерывных взаимосвязанных параметров, которые описывают траекторию движения динамической системы. Характерной особенностью этого комплекса является зависимость набора алгоритмов и последовательности их реализации от входных данных. Поэтому при тестировании комплекса необходимо обеспечить полноту тестовых наборов данных, которые должны покрывать все алгоритмы контроля. Для создания тестовых наборов данных при тестировании комплекса допускового контроля целесообразно использовать комплексные имитационные стенды, где по разработанному сценарию производится коррекция информации штатного полета с целью моделирования контролируемых нарушений и выходов за ограничения. Задание конкретных значений параметров в модели должно осуществляться с учетом обеспечения требуемой достоверности объектов контроля.

Комплекс программ контроля качества полета осуществляет контроль за выполнением экипажами воздушных судов режимов и правил летной эксплуатации. Для решения задач контроля качества полета программное обеспечение комплекса должно выполнять следующие функции:

- формирование информационного «портрета» этапов полета;
- определение значений показателей качества пилотирования.

Комплекс контроля качества полета включает в себя алгоритмы, характерные как для комплекса воспроизведения, так и для комплекса допускового контроля. Комплекс контроля качества полета реализует алгоритмы поиска контролируемых ситуаций в копии полета и алгоритмы воспроизведения значений параметров в контролируемых точках полета или на его участках. Кроме того, реализованные алгоритмы функций определяют значения пара-

метров пилотирования. В качестве тестовых наборов данных можно использовать тестовые данные для комплекса воспроизведения и полную информацию штатного полета, которую при проверке показателей качества пилотирования необходимо откорректировать с целью внесения выходов за ограничения. Такая коррекция может быть проведена с использованием имитационного моделирования (см. таблицу).

#### Методы тестирования комплексов программ контроля полетов

Методы тестирования комплексов программ	Комплекс программ		
	воспроизведения	допускового контроля	контроля качества полета
Методы динамического тестирования	+	+	+
Метод имитационного моделирования		+	+

Тестирование комплексов программ контроля полетов имеет свою специфику и отличается от простого тестирования модулей ввиду сложности и многообразия связей между модулями, программами и системами, входящими в состав каждого комплекса. Выделим общие категории тестов, которые могут быть применены для оценочного тестирования комплексов программ контроля полетов [5; 6].

При тестовых испытаниях комплексов контроля полетов на *первом этапе* следует проверить данный комплекс на соответствие его спецификациям, которые должны содержать точное описание поведения программ, составляющих комплекс, с точки зрения «внешнего мира». Спецификации на каждый программный модуль должны содержать описания, типы и характеристики следующих компонент:

- внешние переменные ( глобальные );
- внутренние переменные ( локальные );
- входную предметную область ( входные данные );
- выходные данные ( границы ожидаемых интервалов );
- вызываемые модули ( ожидаемые результаты ).

Цель тестирования спецификаций состоит в проверке соответствия результатов выходным данным, описанным в спецификациях. Если информация на входах и выходах программных модулей, взаимодействующих между собой в составе комплекса программ, однозначно соответствует друг другу согласно своим спецификациям, то такие программы удовлетворяют требованиям спецификаций [7].

На *втором этапе* тестирования комплексов программ контроля полетов оценивается полнота перечня функций, выполняемых комплексом, согласно спецификациям. Для определения полноты перечня функций необходимо составить тестовые наборы данных по каждой из решаемых комплексом задач, обеспечить прохождение каждого теста и оценить результаты тестирования. В случае удовлетворительной оценки комплекс программ считается функционально полным.

*Третьим этапом* тестирования комплексов программ контроля полетов является тестирование программных модулей. Основной целью тестирования модулей является проверка качества обработки информации, поступающей на вход модулей, для чего осуществляется оценка информации на их выходе. Кроме того, при тестировании модулей, логика каждой программы проверяется по методу комбинаторного покрытия условий, а оценка входных и

выходных классов эквивалентности дается согласно методу анализа граничных значений для каждого модуля.

*Четвертым этапом* тестирования комплексов программ контроля полетов является тестирование функциональных групп программ (подсистем), которое производится для проверки информационных и управляющих связей между модулями, программами и подсистемами, входящими в состав комплекса контроля полетов. На этом же этапе производится тестирование межмодульных и человеко-машинных интерфейсов. Для тестирования структуры подсистем и путей прохождения информации рекомендуется воспользоваться детерминированным динамическим тестированием с применением стохастического подхода. Корректность функционирования подсистем контролируется прохождением исходных эталонных данных и оценкой отклонения результатов от эталонных значений.

*Пятый этап* заключается в тестировании комплекса программ контроля полетов в целом, при котором осуществляются следующие действия :

- оценка комплекса программ на соответствие технической документации;
- оценка поведения подсистем в критических условиях на предельных (критических) наборах данных;
- оценка затрат ресурсов, защиты данных и устойчивости комплекса к сбоям аппаратуры и ОС;
- контроль структурной схемы комплекса программ, которая определяет логику взаимодействия программ и информационные потоки внутри комплекса.

Тестирование любого комплекса программ в реальном времени представляет собой выполнение программ, входящих в его состав, с учетом времени прохождения тех или иных групп тестов, длительности обработки, взаимодействия с другими программами и модулями. В случае несовпадения результатов с эталонными фиксируется время наступления ошибки и определяется вызвавший ее модуль. Далее необходимо перейти к детерминированному тестированию этого модуля для локализации и исправления ошибки.

При тестировании комплексов программ контроля полетов требуется задавать большое количество исходных данных сложной структуры и эталонных выходных значений для оценки результатов тестирования. Поскольку создание такого объема данных вручную практически невозможно, для генерации тестового набора данных и эталонных значений обычно используют программные модели и имитаторы. Программные модели представляют собой программные продукты, которые обеспечивают создание тестов, покрывающих множество допустимых входных данных, описывающих поведение объектов во внешней среде.

Генераторы тестового набора данных и имитаторы внешней среды можно использовать раздельно с тестируемым комплексом программ, заранее подготавливая и записывая тестовый набор данных на магнитные носители, откуда эти наборы, синхронизируемые в соответствии с реальным временем, будут поступать на вход тестируемого комплекса. В процессе всеобъемлющего тестирования комплексов программ особое значение приобретает генерация и ввод тестовых наборов данных в темпе реального времени. Для решения этой задачи требуется соотнести во времени следующие процессы:

- генерацию входных тестовых наборов данных;
- функционирование тестируемого комплекса программ,
- оценку результатов тестирования текущей подсистемы или программы.

Динамическое тестирование комплексов программ в реальном времени является сложной задачей, а имитация внешней среды и генерация тестовой информации в процессе динамического тестирования может быть эффективно обеспечена только при условии максимальной автоматизации этого процесса.

Основными характеристиками динамического тестирования являются следующие.

1. Большинство вновь генерируемых тестов может зависеть от предыдущих порций выходной информации тестируемого комплекса. Такие тесты должны генерироваться за минимальные временные отрезки, чтобы быть введенными в комплекс в темпе реального времени.

2. Многие тестовые наборы данных содержат логические величины, связанные с другими переменными, в том числе с целыми, переменными с плавающей точкой и булевскими. Такими зависимостями связаны переменные, описывающие поведение физических объектов во внешней среде. В этом случае задача заключается в корректной имитации всех взаимосвязанных между собой переменных при создании тестового набора данных.

3. Тестовые наборы данных включают в себя модифицированные эталонные наборы входных и ожидаемые наборы выходных данных с характеристиками внесенных искажений по входным данным.

4. Проблема обеспечения повторяемости тестовых наборов данных при обнаружении отклонений в поведении комплекса с целью локализации ошибок заключается в большом количестве тестовых наборов данных, сгенерированных за время испытаний комплекса.

Масштабные задачи такого рода могут быть решены с привлечением мощных вычислительных систем. Как правило, для создания тестовых наборов данных выделяется специальный технологический компьютер, на котором установлено программное обеспечение генерации тестовых наборов данных и обработки результатов испытаний. Технологический компьютер соединяется с помощью средств коммутации с компьютером, на котором функционирует тестируемый комплекс программ. Такие вычислительные установки называются имитационно-моделирующими стендами (рис. 1).

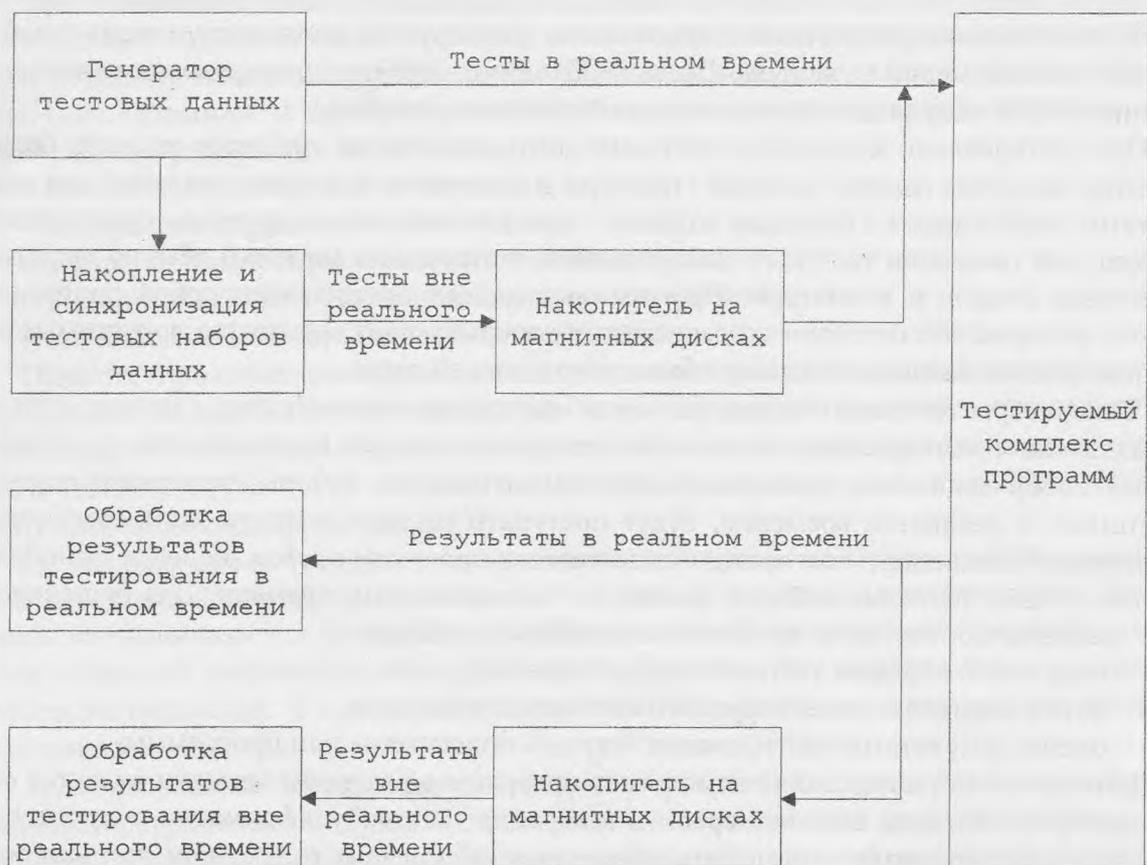


Рис. 1. Функциональная организация процесса тестирования с помощью имитационно-моделирующего стенда

Имитационно-моделирующие стенды можно применять для тестирования комплексов и систем обработки полетной информации, записанной бортовыми регистраторами. Этот процесс требует больших материальных вложений, так как для имитации реальной полетной информации необходима разработка специальной аппаратуры.

При тестировании комплексов программ контроля полетов можно успешно применить принципы динамического тестирования в реальном времени. Для наземных автоматизированных систем контроля полетов фактор реального времени не является определяющим, поскольку информацию бортовых средств регистрации полета можно обрабатывать вне реального времени. Однако существенным является вид тестовой информации, которая должна имитировать реальную полетную информацию, отображающую поведение воздушного судна во внешней среде.

При тестировании модулей воспроизведения для отдельных аналоговых параметров и разовых команд можно использовать заранее подготовленные эталонные выборки входных величин с известной формой графического представления. Однако при тестировании модулей допускового контроля, где оцениваются группы взаимосвязанных физических параметров в динамике их изменения, самым рентабельным решением для создания тестовых наборов данных является использование реальной полетной информации.

Изготовление аппаратуры, имитирующей полетную информацию, например, в виде набора датчиков-имитаторов, управляемых компьютером, является непростой задачей. Поэтому для имитации полетной информации предлагается использовать штатные копии полетов, записанные бортовыми средствами регистрации во время полета воздушного судна [8]. Таким образом, на базе технологического компьютера предлагается построить программный имитационно-моделирующий стенд без использования специальной аппаратуры.

В соответствии с этим подходом построен программный комплекс создания тестовых наборов данных и обработки результатов тестирования, который входит в качестве основного компонента в систему сертификационных испытаний программного обеспечения контроля полетов (рис. 2).

Программный комплекс создания тестовых наборов данных и обработки результатов тестирования базируется на следующих принципах:

- для построения тестовых наборов данных в реальных копиях полетов моделируются контролируемые события и вносятся искажения (выбросы, шумы);
- события контроля вносятся в копию полета специально разработанными модулями, причем величины отклонений контролируемых физических параметров определяются с учетом фактора достоверности контроля;



Рис. 2. Функциональная организация процесса тестирования в комплексе создания тестовых наборов данных и обработки результатов тестирования

– модули, определяющие наступление событий контроля, строятся с применением логики предикатов, уравнений конечных автоматов и аппарата магазинных грамматик;  
– в процессе подготовки тестовых наборов данных предоставлена возможность по коррекции копий полетов, записанных различными бортовыми регистраторами, реализованы функции редактирования аналоговых параметров, разовых команд, времени и опознавательных данных (номер борта, номер рейса, дата полета и т.п.).

Предложенный подход к созданию тестовых наборов данных назовем методом имитационного моделирования [8] и приведем основные правила, определяющие этот метод.

Для создания тестовых наборов данных используется технологический компьютер со специальным программным обеспечением – программным комплексом генерации тестовых наборов данных и обработки результатов испытаний.

Поскольку наземная обработка полетной информации может проводиться вне реального времени, тестирование комплексов программ обработки полетной информации проводится вне реального времени с использованием принципов динамического тестирования.

Предметной областью тестируемых автоматизированных систем контроля полетов и иного полетного обеспечения контроля полетов является информация, записанная бортовым регистратором в реальном времени на борту воздушного судна во время полета.

Тестовые наборы данных должны имитировать копии полетов воздушных судов. Такая имитация внешней среды достигается применением в качестве тестовых наборов данных отредактированных штатных копий полетов воздушных судов с опознавательными данными и временными отметками.

Программный комплекс создания тестовых наборов данных обеспечивает редактирование копий полетов различных типов воздушных судов, записанных разными марками бортовых регистраторов.

Выходы за ограничения моделируются в штатных копиях полетов с помощью программного комплекса создания тестовых наборов данных, который используется также и для оценки результатов испытаний программного обеспечения контроля полетов.

Оценка результатов тестовых испытаний программного обеспечения контроля полетов производится на технологическом компьютере по результатам испытаний комплекса воспроизведения, определения достоверности объектов контроля в комплексе допускового контроля, качеству предварительной обработки и другим показателям.

#### Список литературы

1. *Порядок збирання та практичного використання інформації бортових систем реєстрації на підприємствах цивільної авіації України. АПУ-3. Експлуатація повітряних суден.* – К., 1996.
2. *Единые требования МАК к системам обработки и анализа полетной информации.* – М.: МАК, 1993.
3. *ДСТУ 3275-95. Системи автоматизованого оброблення польотної інформації наземні. Загальні вимоги.*
4. *Яцков Н.А. Основы построения автоматизированных систем контроля полетов воздушных судов.* – К.: КИИГА, 1989. – 344 с.
5. *Луцаев В.В. Проектирование программных средств.* – М.: Высш. шк. 1990. – 303 с.
6. *Майерс Г. Искусство тестирования программ / Пер. с англ.* – М.: Мир, 1982. – 176 с.
7. *Гантер Р. Методы управления проектированием программного обеспечения / Пер. с англ.* – М.: Мир, 1981. – 392 с.
8. *Разработка на базе IBM совместимых ПК технологии сертификационных испытаний программного обеспечения автоматизированного контроля ВС ГА по информации бортовых регистраторов; Отчет о НИР/КМУГА. № ГРО195и011733.* – К., 1995.