

## **Методы создания тестовых наборов данных при сертификационных испытаниях комплексов программ контроля полетов**

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 ПО КП требованиям, изложенным в нормативных документах [1], [2] и государственном стандарте [8]. Основными из этих требований являются следующие:

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

Основным методом проверки ПО КП на соответствие требованиям является функциональное тестирование модулей каждого комплекса с использованием специальных тестовых наборов данных. Проблема заключается в правильном подборе стратегии и методов тестирования, а также в создании необходимых ТНД. Для решения этих задач проведен анализ существующих методов тестирования и технологий создания ТНД, с целью выбора оптимальных методов для каждого из программных комплексов КП с учетом их особенностей.

### **1. Тестирование программных комплексов контроля полетов**

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 ТНД.

Комплекс программ воспроизведения решает задачу преобразования ПИ с выдачей графиков или цифровых значений на экран дисплея или печать. В комплексе 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 ТНД 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, а также методы эквивалентного разбиения, анализа граничных значений и предположения об ошибке [6].

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

- идентификация этапов полета и определение событий контроля;
- идентификацию режимов работы систем ВС;
- 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 ТНД, которые должны покрывать все алгоритмы контроля. Для создания ТНД при тестировании комплекса допускового контроля целесообразно использовать комплексные имитационные стенды, где по заранее 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. Вопросы применения метода имитационного моделирования для создания ТНД рассмотрены в разделах 3 и 4.

Комплекс программ контроля качества полета осуществляет контроль за выполнением экипажами ВС режимов и правил летной эксплуатации. Для решения задач контроля качества выполнения полета ПО 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 реализует алгоритмы поиска контролируемых ситуаций в копии полета, а также алгоритмы воспроизведения значений параметров в контролируемых точках полета или на его участках. Кроме того, здесь реализованы алгоритмы функций, определяющих значения параметров пилотирования. В качестве ТНД можно использовать тестовые данные для комплекса воспроизведения, а также ПИ 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.

Предпочтительные методы тестирования комплексов программ контроля полетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

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

## 2. Этапы оценочного тестирования комплексов программ контроля полетов

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 КП ([5], [6]).

При тестовых испытаниях комплексов КП 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 );
- входная предметная 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 считается, что такие программы удовлетворяют требованиям спецификаций [7].

В качестве второго этапа при тестировании комплексов программ контроля полетов выступает оценка полноты 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 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 входным и выходным классам эквивалентности дается согласно метода анализа граничных значений для каждого модуля.

Четвертым этапом является тестирование функциональных групп программ (подсистем), которое производится в целях проверки информационных и управляющих связей между модулями, программами и подсистемами, входящими в состав комплекса КП. Здесь производится тестирование межмодульных, а также человеко-машинных интерфейсов. Для тестирования структуры подсистем и путей прохождения информации рекомендуется воспользоваться детерминированным динамическим тестированием с применением стохастического подхода. Корректность функционирования подсистем контролируется путем прохождения исходных эталонных данных и оценки отклонения результатов от эталонных значений.

Пятый этап заключается в тестировании комплекса программ КП 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, наличие защиты данных и устойчивость комплекса к сбоям аппаратуры и ОС;
- контролируется структурная схема комплекса программ, которая определяет логику взаимодействия программ, а также информационные потоки внутри комплекса.

### **3. Динамическое тестирование комплексов программ контроля полетов в реальном времени и имитационное моделирование**

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, взаимодействию с другими программами и модулями. В случае несовпадения результатов с эталонными, фиксируется время наступления ошибки, определяется модуль ее вызвавший, и 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, а также эталонных выходных значений для оценки результатов тестирования. Поскольку создание такого объема данных вручную практически невозможно, для генерации ТНД 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 ТНД и имитаторы внешней среды можно использовать отдельно с тестируемым комплексом программ, заранее подготавливая и записывая ТНД 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:

- 1) генерация входных ТНД;

- 2) функционирование тестируемого комплекса программ;
- 3) оценка 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 ТНД содержат логические величины, связанные с другими переменными, в том числе с целыми, переменными с плавающей точкой, а также 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 ТНД.
- 3) Следует обеспечить генерацию таких ТНД, которые включают в себя модифицированные эталонные наборы входных и ожидаемые наборы выходных данных с характеристиками внесенных искажений по входным данным.
- 4) Необходимо обеспечить повторяемость ТНД при обнаружении отклонений в поведении комплекса с целью локализации ошибок. Проблема здесь заключается в большом количестве ТНД, сгенерированных за время испытаний комплекса.

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



Рисунок 1. Функциональная организация процесса тестирования при помощи имитационно-моделирующего стенда

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

#### 4. Технология создания тестовых наборов данных при сертификационных испытаниях комплексов программ контроля полетов

При тестировании комплексов программ контроля полетов можно успешно применить принципы динамического тестирования в реальном времени, изложенные в разделе 3. Для наземных АСКП 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 ПИ, отображающую поведение ВС во внешней среде.

При тестировании модулей воспроизведения для отдельных АП и РК 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 ТНД является использование реальной полетной информации.

Изготовление аппаратуры, имитирующей ПИ, например, в виде набора датчиков-имитаторов, управляемых компьютером, является непростой задачей. Поэтому для имитации ПИ предлагается использовать штатные копии полетов, записанные бортовыми средствами регистрации во время полета ВС [3]. 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 ТНД и обработки результатов тестирования, который входит в качестве основной компоненты в систему сертификационных испытаний ПО КП (Рисунок 2).

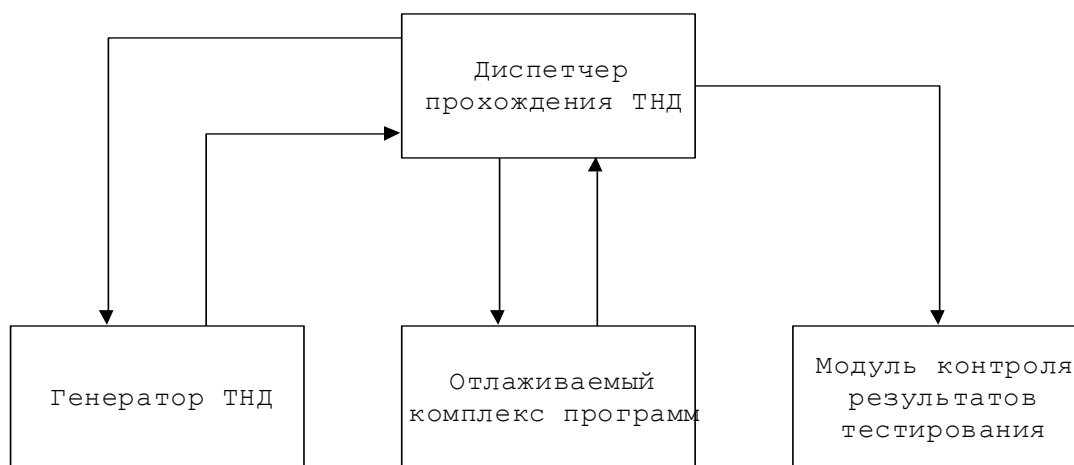


Рисунок 2. Функциональная организация процесса тестирования в комплексе создания ТНД и обработки результатов тестирования.

Программный комплекс создания ТНД и обработки результатов тестирования базируется на следующих принципах:

- 1) Для построения тестовых наборов данных в реальных копиях полетов моделируются контролируемые события, а также вносятся искажения (выбросы, шумы и т.п.).
- 2) События контроля вносятся в копию полета специально разработанными модулями, причем величины отклонений контролируемых физических параметров определяются с учетом фактора достоверности контроля.
- 3) Модули, определяющие наступление событий контроля, строятся с применением логики предикатов, уравнений конечных автоматов и аппарата магазинных грамматик.

- 4) В процессе подготовки ТНД предоставляются возможности по коррекции копий полетов записанных различными типами БР. Реализованы функции редактирования аналоговых параметров, разовых команд, времени и опознавательных данных (номер борта, номер рейса, дата полета и т.п.).

Предложенный подход к созданию ТНД назовем методом имитационного моделирования [3]. Приведем основные правила, определяющие этот метод :

- 1) Для создания ТНД используется технологический компьютер со специальным ПО – программным комплексом генерации ТНД и обработки результатов испытаний.
- 2) Поскольку наземная обработка ПИ может проводиться вне реального времени, тестирование комплексов программ обработки ПИ проводится также вне реального времени с использованием принципов динамического тестирования.
- 3) Предметной областью тестируемых АСКП и иного ПО КП является информация, записанная БР в реальном времени на борту ВС во время полета.
- 4) Тестовые наборы данных должны имитировать копии полетов ВС. Такая имитация внешней среды достигается при помощи применения в качестве ТНД отредактированных штатных копий полетов ВС с опознавательными данными и временными отметками.
- 5) Программный комплекс создания ТНД обеспечивает редактирование копий полетов различных типов ВС, записанных разными марками БР.
- 6) Выходы за ограничения моделируются в штатных копиях полетов при помощи программного комплекса создания ТНД, который используется также и для оценки результатов испытаний ПО КП.
- 7) Оценка результатов тестовых испытаний ПО КП производится на технологическом компьютере по результатам испытаний комплекса воспроизведения, определения достоверности объектов контроля в комплексе допускового контроля, качеству предварительной обработки и другим показателям.

#### **Использованные сокращения**

АСКП	автоматизированная система контроля полетов
АП	аналоговый параметр
БР	бортовой регистратор
ВС	воздушное судно
КП	контроль полетов
ПИ	полетная информация
ПО КП	программное обеспечение контроля полетов
РК	разовая команда
ТНД	тестовые наборы данных

#### **Литература**

1. Порядок збирання та практичного використання інформації бортових систем реєстрації на підприємствах цивільної авіації України. АПУ-3. Експлуатація повітряних суден. Київ-96.
2. Единые требования МАК к системам обработки и анализа полетной информации. Москва. МАК. 1993.
3. Разработать на базе IBM-совместимых ПК технологию сертификационных испытаний программного обеспечения автоматизированного контроля ВС ГА по информации бортовых регистраторов, Отчет по НИР, №ГР0195и011733, Киев, КМУГА, 1995.
4. Н.А.Яцков. Основы построения автоматизированных систем контроля полетов воздушных судов. Киев, КИИГА, 1989. – 344с.
5. В.В.Липаев. Проектирование программных средств. Москва, “Высшая школа”, 1990. – 303с.
6. Г.Майерс. Искусство тестирования программ. / Пер. с англ. Москва, “Мир”, 1982. – 176с.
7. Р.Гантер. Методы управления проектированием программного обеспечения. / Пер. с англ. Москва, “Мир”, 1981. –392с
8. ДСТУ 3275-95. Системи автоматизованого оброблення польотної інформації наземні. Загальні вимоги.