

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЕРИФИКАЦИИ АВИОНИКИ

© 2024 В.В. Шишкин¹, Е.В. Лапшова², А.С. Хасанов²

¹ Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск, Россия

² Ульяновское конструкторское бюро приборостроения, г. Ульяновск, Россия

Статья поступила в редакцию 06.06.2024

В статье приводятся описание процессов верификации конструкторской документации бортовой информационно-управляющих систем летательных аппаратов в соответствии с квалификационными требованиями КТ-254 и КТ-178С. Рассматриваются, основные методы, цели, этапы, входные данные и результаты процессов верификации, как конструктивной части конструкторской документации, так и программного обеспечения. Представлена актуальность задачи проведения виртуальных испытаний авионики перед проведением натурных испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам. Рассмотрен процесс верификации программного обеспечения для систем с повышенными требованиями к надежности и безопасности. Разработана схема процесса верификации программного обеспечения. Выделены цели и методы верификации. Подробно рассмотрен процесс тестирования программного обеспечения, как наиболее трудоемкий этап процесса верификации. Выделены цели процесса тестирования необходимые для удовлетворения квалификационных требований. Рассмотрены категории тестовых примеров и виды тестирования необходимые для выполнения тестирования в соответствии с авиационными стандартами.

Ключевые слова: верификация, конструкторская документация, конструкция, КТ-254, КТ-178С.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4(3)-400-407

EDN: NRAEQG

Современные летательные аппараты (ЛА) относятся к системам с повышенными требованиями по безопасности и надежности. Это определяется как их выполняемыми функциями, так и их сложностью (включают тысячи составных частей). В свою очередь данное обстоятельство сильно влияет на процессы их разработки и производства. В современных ЛА значительную часть занимают системы авионики, образующие информационно-управляющие системы ЛА, которые обеспечивают выполнение функций с высокой ответственностью за безопасность пилотирования воздушного судна [1].

К информационно-управляющим системам (ИУС) ЛА относятся индикаторы многофункциональные, пульты управления и другие блоки авионики (далее – блоки). Постоянное усложнение ИУС, повышение требований к ним и переход на интегрированную модульную авионику приводит к повышению роли процессов верификации. Это стало возможным, в том числе, и в связи с развитием методологий разработки ЛА, включая внедрение процессных стандартов в авиастроении.

Конструктивно блок представляет собой набор из одного или нескольких модулей, соединителей для подключения к бортовому фидеру и элементов конструкции, объединенных в одно законченное изделие для установки на борт ЛА. Назначение модулей определяется функцией блока на борту ЛА. Кроме функциональных требований к каждому блоку предъявляются жесткие и, как правило, противоречивые требования к его массо-габаритным и эксплуатационно-надежностным характеристикам.

Жизненный цикл (ЖЦ) блоков ИУС регламентируется целым рядом авиационных стандартов. В соответствии со стандартом Р4754А [2] проектирование каждого блока выполняется по методу «пошаговой детализации» в итерационной форме в виде взаимосвязанных процессов. При этом происходит разделение блока на аппаратную и программную части. Для аппаратного обеспечения основным стандартом (квалификационные требования) является КТ-254 [3]. Для программного обеспечения (ПО) для гражданской авиационной техники основным стандартом (квалификационные требования) является КТ-178С [4]. Следование данным стандартам позволяет не только качественно разрабатывать блоки ИУС, но и сертифицировать их для эксплуатации, в том числе и для осуществления международных полетов. Т.е. несоответствие данным стандартам конкретного блока делает невозможным получение на него сертификата летной годности и соответственно его эксплуатацию на борту ЛА.

Шишкин Вадим Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Измерительно-вычислительные комплексы». E-mail: shvv@ulstu.ru

Лапшова Елена Вячеславовна, начальник отдела эксплуатационных и технологических средств контроля. E-mail: e.lapshova@ulstu.ru

Хасанов Андрей Сергеевич, начальник тематической комплексной бригады. E-mail: a.khasanov1996@gmail.com

Процессы верификации играют одну из ключевых ролей в ЖЦ блоков, поскольку гарантируют их качество. Процессам верификации должны подвергаться как процессы разработки блоков, так и все представленные в конструкторской документации (КД) результаты проектной деятельности, включая:

- саму аппаратуру блока (блочные, модульные схемы, печатные платы и пр.);
- конструктивную часть КД (КЧ КД) предназначенную для изготовления элементов конструкции и окончательной сборки в единое законченное изделие;
- проекты программируемых логических интегральных схем (ПЛИС);
- программное обеспечение блока.

В качестве основных методов верификации процессов разработки выступают рассмотрение и анализы процессов разработки на соответствие стандартам, утвержденным процедурам, инструкциям и т.п. Рассмотрение – это качественный метод оценки планов, требований, данных конструирования, технического проектирования и производства блока. Все рассмотрения, используемые при сертификации, должны быть определены в плане обоснования и верификации и должны проводиться в течение всего жизненного цикла проектирования аппаратуры..

Рассмотрим более подробно организацию верификации результатов проектной деятельности в соответствии с приведенным выше списком.

Процесс верификации КД регламентируется стандартом КТ-254 и обеспечивает гарантию соответствия блока утвержденным требованиям к нему. Результатом процесса верификации является предоставление объективных доказательств соответствия аппаратуры требованиям, предъявляемым к ней. При этом аспекты безопасности конструирования аппаратуры принимают форму требований по безопасности, которые должны удовлетворяться при разработке аппаратуры.

Целями процесса верификации аппаратуры, в соответствии с КТ254, являются:

1. Доказательство полноты, корректности и непротиворечивости требований;
2. Доказательство трассируемости между требованиями к аппаратуре, документацией, опытным образцом, процедурами верификации и результатами;
3. Доказательство измеримости и соответствия выбора критериев приемочных испытаний уровням гарантии конструирования аппаратуры;
4. Обеспечение возможности возврата проектного решения в процессы разработки или корректировки КД в случае выявления ошибок.

В процессе верификации аппаратуры согласно КТ254 необходимо обеспечить тщательность выполнения и документированность всех этапов верификации.

К входным данным процесса верификации КЧ КД относятся:

- требования ТЗ, содержащие требования к внешним воздействующим факторам;
- нормативная документация;
- комплект КД для изготовления блока;
- программы и методики испытаний изготовленного образца;
- план верификации;
- опытный образец блока;
- спецификация требований к блоку, прошедшая валидацию;
- данные процесса оценки безопасности;
- результаты верификации ПО.

Результатами процесса верификации по КТ254 является предоставление объективных доказательств соответствия требованиям, предъявляемым к аппаратуре:

- матрицы верификации;
- протоколы верификации;
- результаты верификации;
- акты испытаний;
- протоколы испытаний;
- заключение по верификации.

Верификация аппаратуры согласно КТ254 включает в себя следующие этапы:

1. Разработка плана верификации, в котором определяются методы и средства, необходимые для проверки правильности и полноты реализации требований к аппаратному обеспечению. План верификации должен быть согласован с заказчиком и регулирующими органами.

2. Верификация требований. На этом этапе проверяется корректность, полнота и непротиворечивость требований к аппаратному обеспечению. Данный этап может включать в себя проведение анализа требований, проверку соответствия стандартам и проведение моделирования.

3. Верификация проектирования. На этом этапе проверяется, что разработанное аппаратное обеспечение корректно реализует предъявляемые к нему требования. Данный этап может включать в себя проведение анализа проектирования, проверку соответствия стандартам, проведение моделирования и проверку на соответствие требованиям к производительности.

4. Верификация опытного образца. На этом этапе проверяется, что аппаратное обеспечение, изготовленное на основе разработанного проекта, корректно реализует требования. Данный этап может включать в себя проведение тестирования аппаратного обеспечения, проверку соответствия стандартам и проведение анализа отказов.

5. Верификация интеграции. На этом этапе проверяется, что аппаратное обеспечение кор-

ректно интегрировано в систему авионики ЛА и функционирует в соответствии с требованиями. Данный этап заключается в проведении тестирования интеграции, проверке соответствия стандартам и проведении анализа отказов.

Первые два этапа, как правило, особых проблем не вызывают. Рассмотрим третий, наиболее важный этап – проектирование. К блокам предъявляются противоречивые требования высоких технических характеристик при минимальном весе и габаритах, высокой эксплуатационной надёжности в условиях внешних воздействующих факторов (ВВФ), таких как значительные перепады давления, температуры, знакопеременные ускорения и вибрации, электромагнитная совместимость с другими электронными системами на борту. Блоки ИУС характеризует высокая техническая сложность и плотная компоновка монтажа. От проектных решений, принимаемых в процессе проектирования блока, будет зависеть удовлетворение всех перечисленных выше предъявляемых требований.

Согласно КТ254 укрупненно жизненный цикл конструирования аппаратуры включает в себя этапы эскизного и технического проектирования аппаратуры (рис. 1).

В процессе эскизного проектирования формируется концепция проектирования, которую можно оценить, для того чтобы определить возможности реализации блока в соответствии с требованиями. На данном этапе на основе таких элементов проектной документации, как описания конструкции, архитектуры, схем и корпусов, могут быть верифицированы полнота и непротиворечивость представления требований в документации, их трассируемость в конкретные проектные решения, а также оптимальность, функциональность, конструктивность, технологичность и другие характеристики конкретных проектных решений.

В процессе технического проектирования, как правило, разрабатывается комплекс конструкторских документов, содержащий окончательные проектные решения и достаточный для подготовки и изготовления опытного образца. На данном этапе, на основе подготовленной в соответствии с ГОСТ конструкторской документации, могут быть верифицированы не только полнота и непротиворечивость представления требований в документации и их трассируемость в конкретные проектные решения, но и их соответствие предъявляемым требованиям. Для этого в дополнение к методам рассмотренных и анализа должны использоваться методы расчетов в рамках анализа и испытания.

Под испытанием понимается метод, в рамках которого на блок подаются определенные воздействия и оценивается его реакция, например устойчивость конструкции к вибрационным и ударным нагрузкам. Испытания могут быть натурными или виртуальными, ручными или автоматизированными. Очевидно, что на данном этапе, в силу отсутствия опытного образца, следует говорить о виртуальных испытаниях, т.е. моделировании. При этом следует учитывать принципы «безшовной автоматизации», согласно которым необходимо оптимизировать комплекс инструментальных средств проектирования и моделирования с целью минимизации искажений проектных данных при переходе от одного инструментального средства к другому. Также нужно учитывать, что для признания данных моделирования корректными, программный инструмент должен быть квалифицирован на соответствующие требования.

Под анализом понимается аналитический метод оценки характеристик блока для определения их соответствия заданным требованиям, например анализ нагрузок, анализ запасов конструкции, анализ отказов общего режима, анализ самого неблагоприятного варианта, анализ

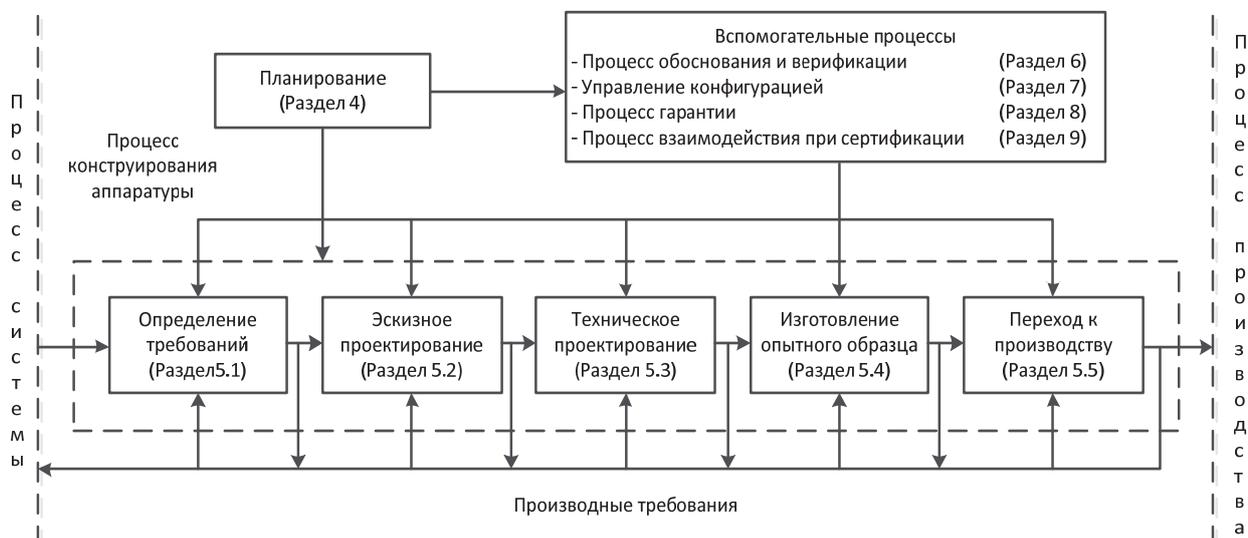


Рис. 1. Жизненный цикл проектирования аппаратуры

полноты испытаний и др. Основой для анализа могут выступать описания процессов, проектная документация, результаты эксплуатации и др. Анализ (иногда в комбинации с другими методами) показывает реализацию того или иного требования.

Анализ может проводиться в совокупности с виртуальными испытаниями (моделированием). Моделирование может использоваться для анализа влияния изменений параметров аппаратуры, которые трудно определить, используя другие средства проверки. Поскольку результаты зависят от качества применяемых моделей, сами по себе результаты моделирования не могут быть использованы для сертификации без доказательства их корректности.

Примерами анализа являются:

1. Термический анализ, обеспечивающий проверку соответствия реализации проекта установленным требованиям при воздействии тепловой среды.

2. Анализ нагрузок, обеспечивающий проверку соответствия блока критериям выхода номинальных показателей за заданный диапазон работы.

3. Анализ надежности, обеспечивающий проверку соответствия опытного образца блока требованиям к надежности.

4. Анализ запасов конструкции, обеспечивающий проверку соответствия реализации конструкции установленным функциональным требованиям с учетом изменяемости компонентов.

5. Анализ подобия, обеспечивающий проверку соответствия характеристик блока с характеристиками ранее сертифицированных блоков.

6. Анализ моделирования, обеспечивающий проверку соответствия результатов моделирования прогнозируемым результатам.

Для верификации функциональных требований может быть применен такой метод виртуальных испытаний, как тестирование принципиальных схем в системах логического (электронного) моделирования, обычно имеющих в используемом комплексе средств автоматизированного проектирования. Теория тестирования электронных устройств к настоящему времени достаточно разработана.

Сложнее дело обстоит с конструкционными характеристиками (надежность, прочность и др.). В начале может быть проведена предварительная верификация в форме инженерных расчетов конструкции (прочностные, тепловые, на собираемость конструкции и др.). Также комплект КД также должен пройти различные виды контроля (технический, метрологический, нормоконтроль) на выявление технической и технологической возможностей изготовления конструкции

блока в рамках имеющегося производства с учетом соответствия нормативной базе.

Для организации виртуальных испытаний требуется наличие квалифицированных систем моделирования. На данный момент существуют программные инструменты, которые частично способны при правильной постановке задачи со стороны конструктора выполнить некоторый спектр виртуальных испытаний на ВВФ блоков:

- ANSYS – программное обеспечение для инженерного анализа, позволяющее проводить виртуальные испытания на прочность, тепловые и гидродинамические характеристики изделий;

- SolidWorks Simulation – программное обеспечение, интегрированное с САПР SolidWorks и предоставляющее возможность проводить различные виды виртуальных испытаний, такие как статический и динамический анализ, теплопроводность и т.д.;

- Abaqus – программное обеспечение, позволяющее проводить сложные виртуальные испытания на усталость, прочность и деформации;

- Comsol Multiphysics – программное обеспечение для моделирования процессов механики, электромагнетизма и теплообмена;

- Siemens Simcenter – программное обеспечение инженерного анализа на прочность, динамику и теплообмен;

- LS-DYNA – программное обеспечение для моделирования динамических процессов (столкновения и взрывы);

- АСОНИКА-М – программное обеспечение анализа конструкций блоков на механические и тепловые воздействия;

- ЛОГОС – программное обеспечение для анализа напряжений и деформаций с использованием метода конечных элементов, а также моделирования динамических процессов и исследования вибраций.

К сожалению, информация об квалификации данных инструментов отсутствует. Т.е. полученные с их помощью результаты моделирования непосредственно не могут быть использованы при сертификации блока.

После создания опытного образца блока возможно проведение натурных испытаний. Натурные испытания являются самым точным методом верификации блоков. Основные виды конструктивных дефектов, которые выявляются на этапе испытаний, это неудовлетворение требованиям по вибрационным и ударным эксплуатационным нагрузкам. Как правило, в ходе выявления подобных дефектов происходит выход из строя дорогостоящих испытуемых опытных образцов, зачастую без возможности восстановления. С целью исполнения в срок договорных обязательств, предприятиями-разработчиками ИУС, блоки должны проходить испытания с пер-

вой попытки, без возврата на этап проектирования (корректировки) КД, повторного изготовления опытных образцов и повторения испытаний. Проблема усложняется в случае необходимости проведения испытаний в аккредитованных специализированных контрольно-испытательных центрах. В этом случае не прохождение испытаний с первого раза еще больше увеличивает время разработки и выпуска блока. Применение виртуальных испытаний позволит повысить вероятность прохождения натуральных испытаний с первого раза и соответственно сократит время разработки и выпуска блока.

Таким образом, применение математического моделирования и виртуальных испытаний блоков на ВВФ на ранних этапах проектирования до изготовления опытного образца позволит избежать отказов или значительно сократить отказы на этапе испытаний опытного образца. Тем самым сокращается количество испытаний опытного образца, возможные итерации по доработке схем и конструкций, затраты на разработку при одновременном повышении качества и надежности, в том числе в критических режимах работы.

Следующим результатом проектной деятельности, требующим верификации, являются проекты ПЛИС. На настоящий момент времени методы их верификации достаточно проработаны и поддерживаются широким набором инструментов верификации [9], такими как:

- Spec-TRACER – обеспечение трассируемости требований, кода и результатов [10];
- ALINT-PRO – обеспечение верификации кода на отсутствие некорректностей [11];
- Active-HDL – обеспечение верификации и оценки результатов выполнения кода [12].

Далее рассмотрим верификацию ПО. В отличие от верификации аппаратной части верификация ПО в настоящее время разработана более широко. Имеются компании, имеющие опыт в проведении верификации ПО и предлагающие ряд программных инструментов верификации ПО, квалифицированных по КТ-178, таких как: MathWorks® DO Qualification Kit (for DO-178 and DO-254) [5]; LDRA Testbed® [6]; VectorCAST [7]; Testwell CTC++ [8].

Процесс верификации занимает ключевую роль в ЖЦ ПО с повышенными требованиями к надежности и безопасности. Верификация проводится для оценки выходных данных процессов ЖЦ ПО для подтверждения их корректности, соответствия входным данным и стандартам, определенным для процесса. Следовательно основная цель процесса верификации – подтверждение соответствия программного обеспечения предъявляемым к нему требованиям. Дополнительной целью является выявление и регистрация ошибок, которые, могли быть внесены во

время разработки или модификации ПО. Особенностью процесса верификации для систем с повышенными требованиями к надежности и безопасности является множество ограничений. Процесс верификации жестко регламентируется нормативными документами. Отличительной особенностью процессов верификации является одновременное их выполнение с другими процессами в течении всего ЖЦ ПО. Это отчетливо видно на разработанной комплексной схеме верификации ПО (рис. 2).

В соответствии со стандартом КТ-178С задачами процесса верификации является проверка того, что:

- Требования к блоку, отнесенные к ПО, переработаны в требования высокого уровня, которые удовлетворяют этим требованиям к блоку;
- Требования высокого уровня переработаны в архитектуру ПО и требования низкого уровня, удовлетворяющие требованиям высокого уровня. При наличии промежуточных уровней, последующие уровни требований должны соответствовать уровням требованиям более высокого уровня. Этот пункт не применяется в случае разработки кода непосредственно по требованиям высокого уровня;
- Архитектура ПО и требования низкого уровня переработаны в Исходный Код, который удовлетворяет требованиям низкого уровня и архитектуре ПО;
- Исполняемый Объектный Код удовлетворяет требованиям к ПО (то есть, заданной функции) и обеспечивает уверенность в отсутствии непредусмотренной функциональности;
- Исполняемый Объектный Код является робастным в отношении требований к ПО так, что он может правильно реагировать на ненормальные входные данные и условия;
- Средства, использованные для выполнения этой верификации, технически корректны и достаточны для данного уровня ПО.

Достижение целей процесса верификации ПО возможно с помощью сочетания и выполнения рассмотренных, анализов и тестов:

- Инспекции проектной документации и анализ их результатов позволяют оценить точность, непротиворечивость, верифицируемости и полноту требований к ПО, архитектуры ПО и исходного кода.

- Разработки тестовой документации, тестовых примеров и процедур. Тестовые примеры предназначены для проверки внутренней непротиворечивости и полноты реализации требований.

- Выполнение тестовых процедур. Демонстрирует соответствие разработанного программного обеспечения исходным требованиям и отсутствие ошибок.

Процесс тестирования ПО занимает ключевую роль в процессе верификации. Исследова-

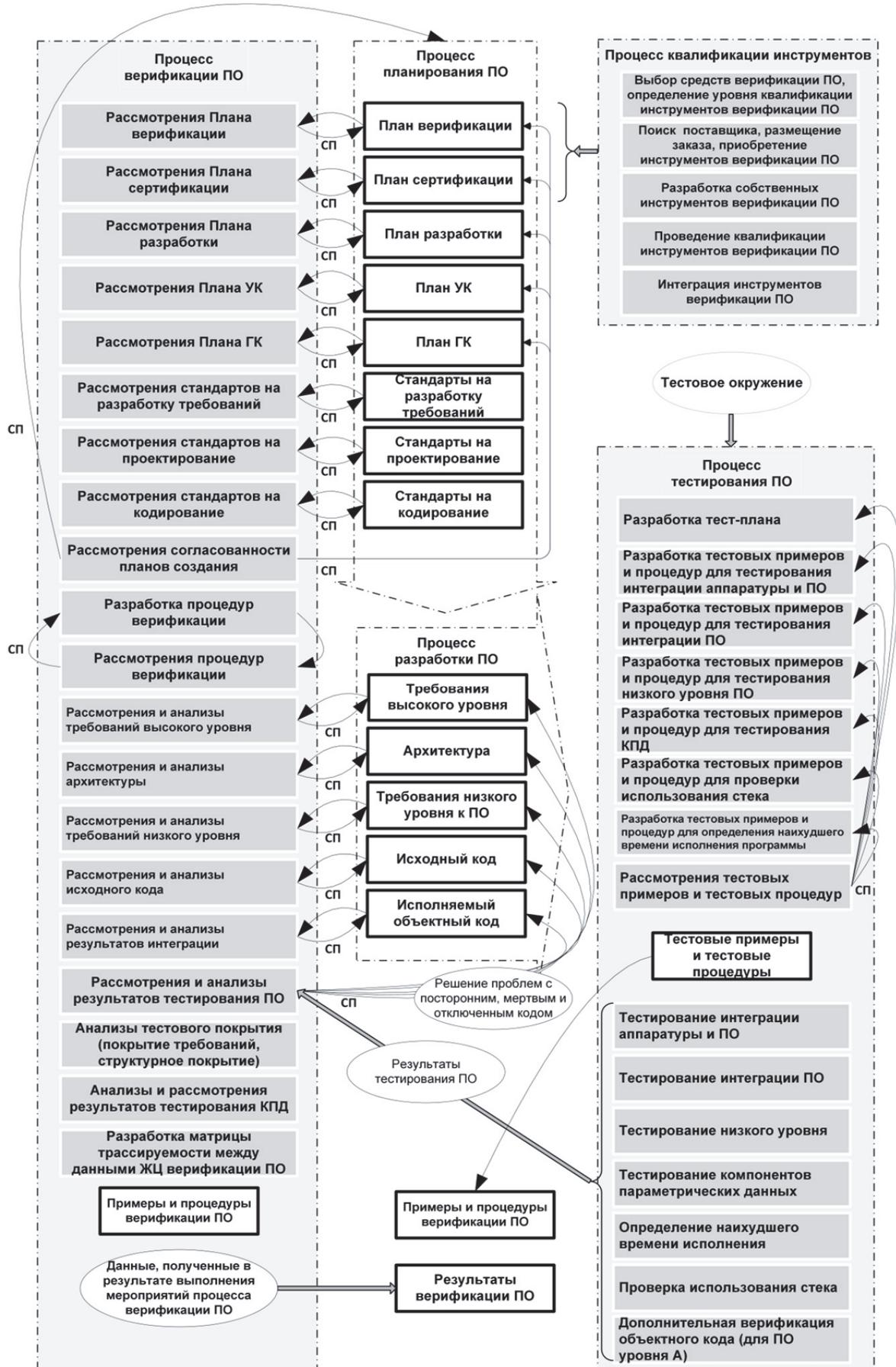


Рис. 2. Схема верификации ПО:

ГК – гарантия качества; СП – сообщение о проблеме; КПД – компонент параметрических данных; УК – управление конфигурацией

ния показывают, что при тестировании выявляется до 90% ошибок и уязвимостей в ПО. При тестировании проверяется работы программ с тестовыми данными, подготовленными в соответствии с требованиями к ПО, которые будут обрабатываться в процессе работы программного обеспечения. Качество тестирования напрямую зависит от подготовленных тестовых данных. неполадки в работе ПО обнаруживаются при анализе выходных данных. Сроки тестирования напрямую зависят от сложности проекта, размера и опыта команды экспертов.

Согласно стандарту КТ-178С для удовлетворения целей процесса тестирования программного обеспечения необходимо выполнение следующих условий:

- Тестовые примеры и процедуры должны разрабатываться для проверки правильности функционирования и создания условий для выявления потенциальных ошибок;

- Все требования должны быть покрыты тестовыми примерами, непокрытые требования должны быть рассмотрены и проанализированы;

- Тестовые примеры должны обеспечивать структурное покрытие исходного кода

Необходимо разработать тестовые примеры для нормальных и ненормальных (робастных) ситуаций

Целью тестирования для нормальных ситуаций является подтверждение соответствия разработанной системы требованиям и демонстрация ее корректной работы в допустимых диапазонах входных данных. Целью робастного тестирования является демонстрация работоспособности программного обеспечения работать с входными данными, выходящими за допустимый диапазон, не вызывая отказов системы.

Демонстрация корректной работы ПО во время тестирования доказывает, что ПО удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям и с высокой степенью уверенности в нем устранены ошибки, которые могли привести к недопустимым отказным состояниям.

В соответствии с КТ-178С для достижения целей тестирования необходимо провести три вида тестирования:

- Модульное тестирование;

- Интеграционное тестирование ПО;

- Интеграционное тестирование аппаратуры и ПО.

Модульные тесты и их выполнение подтверждают правильную работу отдельных компонентов ПО независимо друг от друга. Разработка таких тестов занимает мало времени, не требует знание всей системы целиком. Интеграционные тесты и их выполнение подтверждают корректную работу проверенных на этапе модульного тестирования компонентов ПО друг с другом. Интеграционные тесты аппаратуры и ПО позволяют подтвердить, что различные про-

граммные компоненты, модули и аппаратное обеспечение работают вместе как единая система, обеспечивая требуемую производительность и функционирование в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Процесс тестирования завершается оформлением документов с результатами тестирования. В соответствии с КТ-178С должны быть разработаны отчеты о тестировании, двунаправленные матрицы трассировки между требованиями и тестами, тестами и процедурами, процедурами и результатами тестирования, отчеты о тестовом покрытии. Разработанные данные помещаются в систему управления конфигурации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шишкин В.В.* Автоматизация проектирования диагностического обеспечения и диагностирования авиационных бортовых информационных систем / В.В. Шишкин, С.В. Черкашин. – Ульяновск: УлГТУ, 2010.
2. Руководство по сертификации сложных бортовых систем воздушных судов гражданской авиации Р-4754А. М., АР МАК, 2016.
3. Руководство по гарантии конструирования бортовой электронной аппаратуры КТ-254 / Издание – ОАО «Авиаиздат», 2011
4. КТ-178С. Квалификационные требования. Требования к программному обеспечению бортовой аппаратуры и систем при сертификации авиационной техники. Межгосударственный авиационный комитет, Авиационный регистр, 2016.
5. [Электронный ресурс]: DO Qualification Kit (for DO-178 and DO-254) - MATLAB. URL: <https://ch.mathworks.com/products/do-178.html> (режим доступа – свободный), (дата обращения: 17.04.2024).
6. [Электронный ресурс]: LDRA Testbed® and TBvision® - LDRA. URL: <https://ldra.com/products/ldra-testbed-tbvision/> (режим доступа – свободный), (дата обращения: 17.04.2024).
7. [Электронный ресурс]: VectorCAST | Software Test Automation | Vector. URL: <https://www.vector.com/int/en/products/products-a-z/software/vectorcast/> (режим доступа – свободный), (дата обращения: 17.04.2024).
8. [Электронный ресурс]: Verifysoft Technology GmbH. URL: https://www.verifysoft.com/en_ctcpp.html (режим доступа – свободный), (дата обращения: 17.04.2024).
9. *Попов, А.Ю.* Проектирование цифровых устройств с использованием ПЛИС: Учеб. пособие / А.Ю. Попов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009.
10. [Электронный ресурс]: СпеС-TRACER – ПСБ Софт, Россия. URL: <https://pcbsoftware.com/product/spec-tracer/> (режим доступа – свободный), (дата обращения: 17.04.2024).
11. [Электронный ресурс]: Alint-PRO – ПСБ Софт, Россия. URL: <https://pcbsoftware.com/product/aldec-alint/> (режим доступа – свободный), (дата обращения: 17.04.2024).
12. [Электронный ресурс]: Active-HDL - универсальный симулятор ПЛИС – ПСБ Софт, Россия. URL: <https://pcbsoftware.com/product/aldec-active-hdl/> (режим доступа – свободный), (дата обращения: 17.04.2024).

AVIONICS VERIFICATION ORGANIZATION

© 2024 V.V. Shishkin¹, E.V. Lapshova², A.S. Khasanov²¹Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia²Ulyanovsk Instrument Engineering Design Bureau, Ulyanovsk, Russia

The article is devoted to verification processes in the design of embedded avionics systems. Verification is carried out in accordance with the qualification requirements KT-254 and KT-178C. Embedded avionics systems consist of hardware and software. The main goals, stages, methods, input data and results of the verification processes of both parts are described. The relevance of conducting virtual tests of embedded avionics systems before conducting full-scale tests for resistance to external influencing factors is presented. Their implementation variants are considered. The process of safety critical avionics software verification is considered. A comprehensive software verification scheme has been developed. The goals and methods of verification are presented. The process of software testing, as the most labor-intensive stage of verification, is considered in detail. The goals of the testing process are determined from the point of view of meeting qualification requirements. The categories of test examples and types of testing required to perform testing in accordance with aviation standards are considered.

Key words: verification, design documentation, design, KT-254, KT-178 C.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4(3)-400-407

EDN: NRAEQG

REFERENCES

1. Shishkin V.V. Avtomatizaciya proektirovaniya diagnosticheskogo obespecheniya i diagnostirovaniya aviacionnyh bortovyh informacionnyh sistem / V.V. Shishkin, S.V. Cherkashin. – Ulyanovsk: UIGTU, 2010.
2. Rukovodstvo po sertifikacii slozhnyh bortovyh sistem vozdušnyh sudov grazhdanskoj aviacii R-4754A. M., AR MAK, 2016.
3. Rukovodstvo po garantii konstruirovaniya bortovoj elektronnoj apparatury KT-254 / Izdanie – OAO «Aviaizdat», 2011
4. KT-178S. Kvalifikacionnye trebovaniya. Trebovaniya k programmnomu obespecheniyu bortovoj apparatury i sistem pri sertifikacii aviacionnoj tekhniki. Mezhsudarstvennyj aviacionnyj komitet, Aviacionnyj registr, 2016.
5. [Elektronnyj resurs]: DO Qualification Kit (for DO-178 and DO-254) - MATLAB. URL: <https://ch.mathworks.com/products/do-178.html> (rezhim dostupa – svobodnyj), (data obrashcheniya: 17.04.2024).
6. [Elektronnyj resurs]: LDRA Testbed® and TBvision® – LDRA. URL: <https://ldra.com/products/ldra-testbed-tbvision/> (rezhim dostupa – svobodnyj), (data obrashcheniya: 17.04.2024).
7. [Elektronnyj resurs]: VectorCAST | Software Test Automation | Vector. URL: <https://www.vector.com/int/en/products/products-a-z/software/vectorcast/> (rezhim dostupa – svobodnyj), (data obrashcheniya: 17.04.2024).
8. [Elektronnyj resurs]: Verifysoft Technology GmbH. URL: https://www.verifysoft.com/en_ctcpp.html (rezhim dostupa – svobodnyj), (data obrashcheniya: 17.04.2024).
9. Popov, A.Yu. Proektirovanie cifrovyyh ustrojstv s ispol'zovaniem PLIS: Ucheb. posobie / A.Yu. Popov. – M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2009.
10. [Elektronnyj resurs]: Spec-TRACER – PSB Soft, Rossiya. URL: <https://pcbsoftware.com/product/spec-tracer/> (rezhim dostupa – svobodnyj), (data obrashcheniya: 17.04.2024).
11. [Elektronnyj resurs]: Alint-PRO – PSB Soft, Rossiya. URL: <https://pcbsoftware.com/product/aldec-alint/> (rezhim dostupa – svobodnyj), (data obrashcheniya: 17.04.2024).
12. [Elektronnyj resurs]: Active-HDL - universal'nyj simulyator PLIS – PSB Soft, Rossiya. URL: <https://pcbsoftware.com/product/aldec-active-hdl/> (rezhim dostupa – svobodnyj), (data obrashcheniya: 17.04.2024).

Vadim Shishkin, Candidate of Technics, Associate Professor of the Department of Measuring and Computing Systems. E-mail: shvv@ulstu.ru

Elena Lapshova, Head of the Department of Operational and Technological Controls. E-mail: e.lapshova@ulstu.ru

Andrey Khasanov, Head of the Thematic Integrated Team. E-mail: a.khasanov@ukbp.ru