

**Бегичев Юрий Иванович** – ЗАО Российская акционерная ассоциация «Спецтехника»; e-mail: begichevy@mail.ru; 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жуковского, д. 2а; тел.: 89266189938; начальник отдела; к.т.н.; доцент.

**Цупренко Константин Васильевич** – Государственный технический университет им. Н.Э. Баумана; e-mail: cuprenko\_kost\_vas@mail.ru; 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5; тел.: 89165382258; ведущий программист.

**Bronnikov Andrey Mihaylovitsh** – Military учебно-centre of science of the Air Forces “Military-air academy of professor N.E.Zhukovsky and JU.A.Gagarin”, Moscow; e-mail: bronnikov\_a\_m@mail.ru; 3, Planetnay street, Moscow, 125190, Russia; phone: +74992311068; chair of operation of complexes of the aviation equipment and systems of the objective control; the chief of chair; dr. of eng. sc; associate professor.

**Begichev Yuri Ivanovich** – ЗАО Russian joint-stock association "Specitehnica"; e-mail: begichevy@mail.ru; 141980 Moscow region, city. Dubna, st. Zhukovsky, etc. 2а; phone: +79266189938; cand. of eng. sc.; associate professor; head of the department.

**Cuprenko Konstantin Vasilievich** – Bauman state technical university; e-mail: cuprenko\_kost\_vas@mail.ru; 105005 Moscow, 2-nd Baumanskaya, 5; phone: +79165382258; leading programmer

УДК 629.7.01

**В.В. Галушкин, Д.И. Катков, В.В. Косьянчук, Н.И. Сельвесюк**

**СКВОЗНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСОВ  
БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВОЗДУШНЫХ  
СУДОВ**

*Рассматривается сквозная технология проектирования комплексов бортового оборудования и его комплектующих перспективных воздушных судов. Основы технологии изложены в общих требованиях на разработку комплексов бортового оборудования, разрабатываемых ГосНИИАС в виде отраслевого стандарта. Охватывается весь жизненный цикл от формулировки требований к воздушному судну до испытаний и сертификации. Показывается, что проектирование КБО осуществляется с использованием модельно-ориентированного подхода к проектированию. Модельно-ориентированный подход позволяет ускорить разработку и интеграцию систем и обеспечить соответствие процесса разработки требованиям нормативных документов.*

*Технология проектирования комплексов бортового оборудования воздушных судов; документация проектов комплекса бортового оборудования; интеграция систем.*

**V.V. Galushkin, D.I. Katkov, V.V. Kosyanchuk, N.I. Selvesyuk**

**THRU DESIGN TECHNOLOGY OF AVIONICS OF PERSPECTIVE  
AIRCRAFT**

*The article deals with cross-cutting technology of designing avionics systems and its components advanced aircraft. Basics are set out in the general requirements for the development of avionics systems being developed GosNIAS as the industry standard. Covers the entire life cycle from the formulation of requirements for the aircraft to the testing and certification. It is shown that the design of the CCD is performed using model-based approach to design. Model-based approach to accelerate the development and integration of systems and to ensure that the process of developing regulatory requirements.*

*Avionics design technology; avionics project documentation; integrated modular avionics.*

**Введение.** Процесс создания комплексов бортового оборудования (КБО) современных воздушных судов (ВС) представляет собой сложную многоэтапную процедуру, реализация которой предполагает кооперацию предприятий авиационной промышленности с жестким распределением задач и ответственности. В этой связи в США, Европе и России уделяется большое внимание совершенствованию процесса проектирования и сертификации ВС.

В соответствии с мировыми тенденциями процесс создания КБО должен удовлетворять ряду требований и стандартов.

Вопросы разработки и сертификации высокоинтегрированных сложных систем, устанавливаемых на ВС, с учетом их эксплуатации и выполняемых функций, изложены в руководствах: R-4754 (РФ) [1], ARP4754A (США), ED-79A (ЕС), ДП-05 (РФ). В этих документах рассматривается полный жизненный цикл систем, которые обеспечивают реализацию функций на уровне ВС.

Вопросы разработки программного обеспечения (ПО) излагаются в документах: DO-178C (США), ED-12C (ЕС), КТ-178В (РФ) [2], а проектирование аппаратуры – в документах: DO-254 (США), ED-80 (ЕС), КТ-254 (РФ) [3].

Для оценки безопасности оборудования используются: R-4761 (РФ) [4], ARP 4761 (США), ED-135A (ЕС), ДП-05 (РФ).

**Описание сквозной технологии проектирования КБО.** Процесс разработки КБО в соответствии с ARP-4754A можно представить схемой, изображенной на рис. 1.

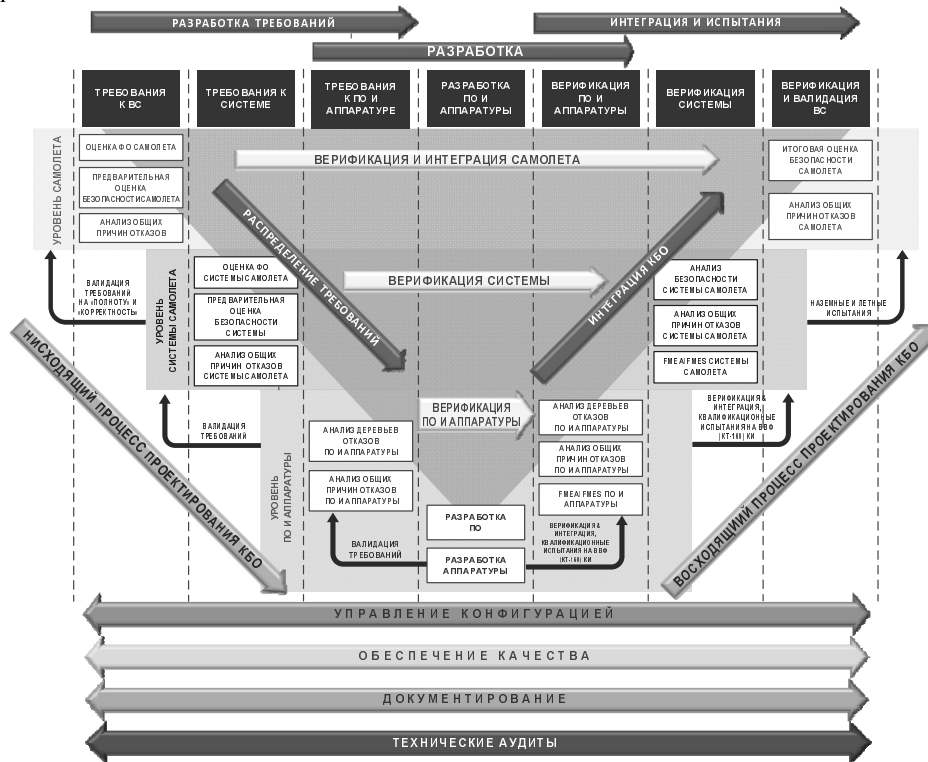


Рис. 1. Процесс разработки оборудования в соответствии с ARP4754A

Разработка КБО в соответствии с ARP-4754A/R-4754 состоит из трех взаимосвязанных процедур: разработка требований, разработка ПО и аппаратуры, интеграция и испытания.

Под разработкой требований в данном случае понимаются:

- ◆ требования к КБО на уровне ВС;
- ◆ требования к системе;
- ◆ требования к ПО и аппаратуре.

Формулировка требований представляет собой нисходящий процесс проектирования КБО, так как распределение требований производится от самого верхнего уровня (требования к ВС) до самого нижнего уровня (требования к ПО и аппаратуре). Это позволяет связать воедино все уровни требований – самолета, систем, ПО и аппаратуры. Процесс определения требований носит итеративный характер на протяжении всего жизненного цикла КБО и включает в себя работы по анализу требований на «полноту» и «корректность» (валидация требований). Процесс валидации должен быть реализован в соответствии с ARP-4754A/P-4754.

Отдельное внимание уделяется требованиям безопасности. Для удовлетворения этих требований производится оценка функциональных опасностей самолета и его систем, проводится предварительная оценка безопасности самолета и его систем, а также анализируются причины отказов до уровня ПО и аппаратуры. Процесс оценки надежности и отказобезопасности должен быть реализован в соответствии с ARP-4761/P-4761.

Процесс разработки ПО и аппаратуры можно считать самым нижним уровнем в общем процессе создания КБО. Необходимым условием разработки ПО и аппаратуры является валидация требований и верификация ПО и аппаратуры.

Процесс интеграции и испытаний является заключительным этапом создания КБО. На этом этапе проводится верификация ПО и аппаратуры, а также верификация систем.

Весь процесс разработки КБО сопровождается процессами управления конфигурацией, обеспечения качества, документированием и техническим аудитом.

Процесс разработки КБО нашел отражение в создаваемом в ГосНИИАС стандарте «Общие требования на разработку КБО». Стандарт имеет следующую структуру:

Название раздела	Название документа
<b>ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ</b>	<b>Книга 1.1.</b> Общие положения
<b>ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ КБО</b>	<b>Книга 2.1.</b> Планирование разработки КБО
	<b>Книга 2.1-А.</b> Типовой план-график разработки КБО
	<b>Книга 2.2.</b> Взаимодействие с поставщиками
<b>РАЗРАБОТКА КБО</b>	<b>Книга 3.1.</b> Общие требования к процессам разработки КБО и систем
	<b>Книга 3.2.</b> Функции КБО
	<b>Книга 3.2-А.</b> Типовая спецификация КБО
	<b>Книга 3.3.</b> Проектирование архитектуры КБО с компонентами ИМА и отдельных систем
	<b>Книга 3.3-А.</b> Типовые дизайн и архитектура КБО
	<b>Книга 3.4.</b> Разработка систем и их программных и аппаратных компонентов
	<b>Книга 3.4-А.</b> Типовая спецификация на функцию
<b>Книга 3.5.</b> Техническое обслуживание	

<b>ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ</b>	<b>Книга 4.1.</b> Надежность и отказобезопасность
	<b>Книга 4.1-А.</b> Типовая ОФО
	<b>Книга 4.2.</b> Валидация
	<b>Книга 4.2-А.</b> Типовой план валидации
	<b>Книга 4.3.</b> Верификация
	<b>Книга 4.3-А.</b> Типовой план верификации
	<b>Книга 4.4.</b> Управление конфигурацией
	<b>Книга 4.4-А.</b> Типовой план управления конфигурацией КБО
	<b>Книга 4.5.</b> Обеспечение качества разработки
	<b>Книга 4.5-А.</b> Типовой план гарантии качества
	<b>Книга 4.6.</b> Поддержка сертификации
	<b>Книга 4.6-А.</b> Типовой сертификационный базис
<b>ДОКУМЕНТАЦИЯ</b>	<b>Книга 5.1.</b> Документация КБО

Структура документа соответствует ARP-4754А.

На основе стандарта «Общие требования на разработку КБО» сформулируем суть сквозной технологии проектирования КБО.

Сквозная технология проектирования КБО состоит из трех этапов: этап 1 – разработка функциональных и технических требований; этап 2 – разработка ПО и аппаратуры; этап 3 – интеграция оборудования и испытания.

Первый и третий этапы при развитой системе отношений между разработчиком и поставщиками и соответствующей квалификации разработчика являются ответственностью разработчика КБО самолета, а второй этап – поставщиков комплектующих изделий и ПО.

Последовательно рассмотрим все три этапа.

#### **Этап 1. Разработка функциональных и технических требований**

В основу разрабатываемых функциональных и технических требований положены нормативные документы, в которых сформулированы наиболее общие требования к разрабатываемым летательным аппаратам и бортовому оборудованию: авиационные правила, общие требования на разработку КБО, требования к поставщикам.

На основе этих требований Разработчик самолета (авиастроитель) формирует общие технические требования (спецификации) на КБО самолета, которые являются исходными данными для разработки спецификаций на структурные и составные части КБО.

Исходя из этих требований, Интегратор КБО, при активном участии Поставщиков, формулирует функциональные требования, требования к архитектуре и дизайну и интерфейсам КБО, а затем детальные спецификации на функции и аппаратуру.

Заметим, что понятие функции является ключевым понятием сквозного проектирования. Под функцией воздушного судна понимаются функциональные возможности, которые могут быть обеспечены аппаратными и программными средствами систем, установленных на воздушном судне, например: самолетовождение, связь, индикация и т.д.

Так как в интересах снижения стоимости жизненного цикла КБО предпочтительным является использование комплектующих, которые являются готовыми к применению (COTS комплектующие – серийно выпускаемые), то анализ функциональных и технических возможностей предлагаемых к использованию в КБО COTS-комплектующих нужно проводить параллельно с разработкой спецификаций на комплекс.

Выделим иерархию спецификаций.

Комплекс технических и функциональных требования на интегрированный комплекс бортового оборудования и его комплектующие (системы и оборудование) включает следующие основные документы:

1. Сертификационный базис самолета, состоящий:

- ◆ из совокупности требований к летной годности (включая требования к системам и оборудованию самолета) и охране окружающей среды, относящихся к данному типу самолета (например, АП-25 [5]);
- ◆ специальные технические условия (СТУ), разработанные с учетом зарубежных норм летной годности (CS-25, FAR-25, CAR 525 и т.д.), требования которых отсутствуют в АП-25, либо устанавливают более высокий уровень летной годности, требований ICAO, RTCA, ARINC, SAE к функциям CNS/ATM систем комплекса бортового оборудования.

2. Общая Техническая Спецификация (например, ТЗ на комплекс) определяющая исходные, базовые требования к комплексу бортового оборудования. Эти требования составляются Разработчиком самолета таким образом, чтобы описать минимальные обязательные требования к КБО.

3. Спецификация на комплекс бортового оборудования (функциональные требования на КБО), разрабатывается на основании анализа ТЗ и нормативных документов на комплекс оборудования. Она должна определять следующие требования к разрабатываемому комплексу оборудования:

- ◆ функциональные требования;
- ◆ требования по безопасности;
- ◆ требования к надежности;
- ◆ требования к установке и условиям окружающей среды;
- ◆ другие требования.

4. Спецификация дизайна и архитектуры комплекса оборудования должна содержать описание архитектуры комплекса оборудования и включать следующие разделы:

- ◆ описание распределения (сегментации) всех требований, изложенных в спецификации требований на комплекс оборудования и спецификациях на функции воздушного судна по отдельным комплектующим – функциям прикладного ПО и/или отдельным системам;
- ◆ описание информационных потоков между системами и/или функциями прикладного ПО в интегрированном КБО;
- ◆ предварительную оценку последствий функциональных отказов функций КБО, определение уровня критичности систем;
- ◆ описание взаимодействия всех входов/выходов для каждой отдельной системы вплоть до сменного блока, всех каналов передачи данных соединяющих сменные блоки.

5. Спецификация интерфейсов предполагает описание протоколов информационного взаимодействия и включает спецификации дизайна и архитектуры комплекса оборудования, описание потока данных для каждого комплектующего изделия (блока) и функций прикладного ПО. В спецификации должны быть представлены все описания взаимодействий между сменными блоками и/или функциями прикладного ПО.

6. Оценка функциональных опасностей функций КБО включает в себя следующую информацию:

- ◆ описание функций КБО;
- ◆ отказные состояния;

- ◆ фазы эксплуатации;
- ◆ степень воздействия отказного состояния на самолет, экипаж и пассажиров;
- ◆ классификация отказного состояния;
- ◆ перечисление вспомогательных материалов;
- ◆ метод верификации реализации (архитектуры КБО) требований безопасности.

7. Предварительная оценка безопасности КБО архитектуры КБО проводится Разработчиком самолета в рамках предварительной оценки безопасности самолета. Результаты предварительной оценки отказобезопасности архитектуры комплекса оборудования включает:

- ◆ идентификацию резервирования, необходимого для выполнения требования безопасности;
- ◆ последствия выхода из строя сменных элементов любой системы из состава комплекса авионики;
- ◆ последствия сбоя или отказа любой функции прикладного ПО;
- ◆ уровни гарантии разработки функций/систем КБО.

8. Спецификации требований системного уровня на функции воздушного судна и/или отдельные системы должны более подробно определять функциональные требования, перечисленные в спецификации на комплекс оборудования и дополнять эти требования с точки зрения эксплуатационных аспектов конкретной функции воздушного судна. Эти требования включают:

- ◆ детальные функциональные требования;
- ◆ требования по безопасности архитектуры и конструкции;
- ◆ требования к взаимодействию функции воздушного судна и/или отдельной системы с оператором (летным экипажем, техническим персоналом);
- ◆ требования к взаимодействию функции воздушного судна и/или отдельной системы с внешними по отношению к КБО системами или службами (Управления Воздушным Движением, другие диспетчерские службы);
- ◆ другие требования.

Технические спецификации на оборудование и его компоненты разрабатываются Разработчиком самолета совместно с поставщиками и включают следующие виды технических спецификаций на оборудование и/или его компоненты:

- ◆ технические спецификации на серийно выпускаемое оборудование;
- ◆ технические спецификации на новое/модернизируемое оборудование или его компонент (например, прикладное ПО, аппаратные быстросменные модули ИМА).

### **Этап 2. Разработка ПО и аппаратуры**

В процессе разработки ПО и аппаратуры производится разработка и отладка модулей ПО функций. На каждом этапе разработки ПО и аппаратуры решения по выбору той или иной концепции безопасности (физическое и функциональное резервирование, обособление и т.д.) функциональных трактов комплекса обосновываются на основе качественных оценок безопасности. Проверка соответствия требованиям по безопасности осуществляется на этапах интеграции, верификации и валидации (испытаний) систем и оборудования комплекса.

### **Этап 3. Интеграция и испытания КБО**

Процесс интеграции комплектующих изделий КБО может быть условно разделен на три взаимосвязанных процедуры:

1. Интеграционное тестирование штатного комплекта КБО на интеграционном стенде Разработчика самолета (стенд «электронная птица»), включающее:

- ◆ интеграцию комплектующих изделий КБО на уровне выполняемых ими функций для проверки соответствия спецификациям на функции КБО и техническим заданиям на комплектующие изделия;

- ♦ интеграцию функционального ПО и модульной аппаратной платформы, а также проведение функционального тестирования (в случае, если Разработчик самолета является интегратором системы);
- ♦ отработку информационного взаимодействия комплектующих комплекса путем исполнения совокупности тестовых процедур в нормальных условиях эксплуатации так при имитации отказов оборудования КБО.

Процесс интеграции КБО предполагает приемосдаточные испытания для каждой системы и/или функции прикладного ПО и элементов платформы. Затем он продолжается интеграцией платформы ИМА и функционального ПО ИМА для КБО, реализованного по технологии ИМА.

2. Интеграционное тестирование реальных систем самолета на земле (стенд железная птица), предназначенное:

- ♦ для проведения сертификационных наземных испытаний функций, систем КБО в ожидаемых условиях эксплуатации и при имитации функциональных отказов оборудования.

На данном этапе бортовое оборудование интегрируется с компонентами самолетных систем и устанавливается на самолете для выполнения тестирования.

3. Интеграционное тестирование систем самолета в полете, позволяющее проводить интеграционное тестирование в условиях полета.

Важно отметить, что на каждой стадии интеграции КБО осуществляется проверка выполнения требований безопасности, сформулированных на этапе № 1 при разработке требований.

На этапах № 1 и № 2 целесообразно использовать модельно-ориентированный подход к проектированию КБО. Модельно-ориентированный подход к разработке ПО позволяет решить проблемы, связанные с постоянно увеличивающимся количеством технологических платформ, а также может ускорить разработку и интеграцию систем. Для его эффективной реализации и поддержки необходимы соответствующие математические модели и программные инструменты. Общая структура подхода представлена на рис. 2.



Рис. 2. Структура модельно-ориентированного подхода

Использование модельно-ориентированного проектирования позволяет осуществить анализ требований, разработку, автоматизированную генерацию HDL-кода, а также обеспечить соответствие процесса разработки бортового оборудования требованиям КТ-254, а процесса разработки ПО – требованиям КТ-178В. Примеры реализации модельно-ориентированного подхода приведены на рис. 3, 4.

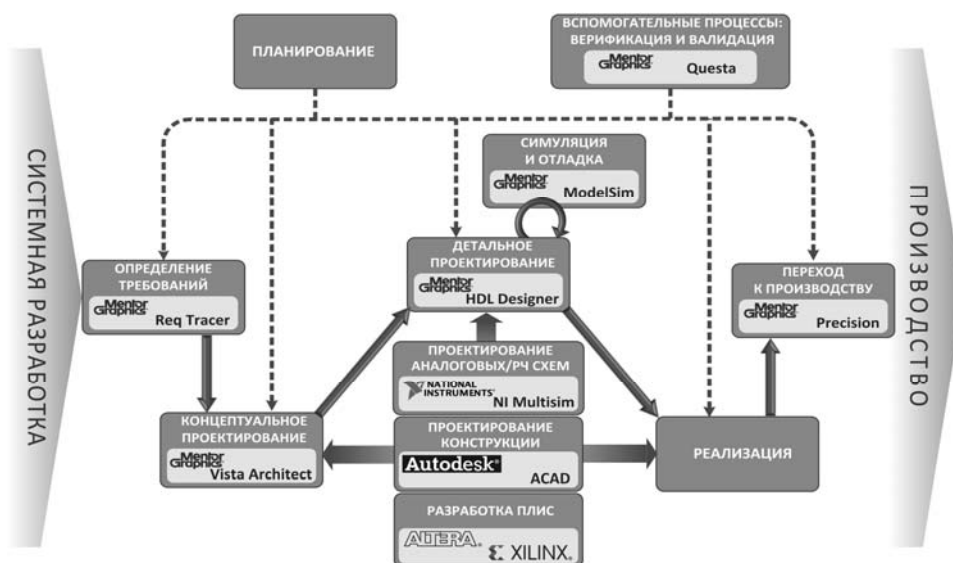


Рис. 3. Пример использования программно-инструментальных средств при разработке аппаратуры

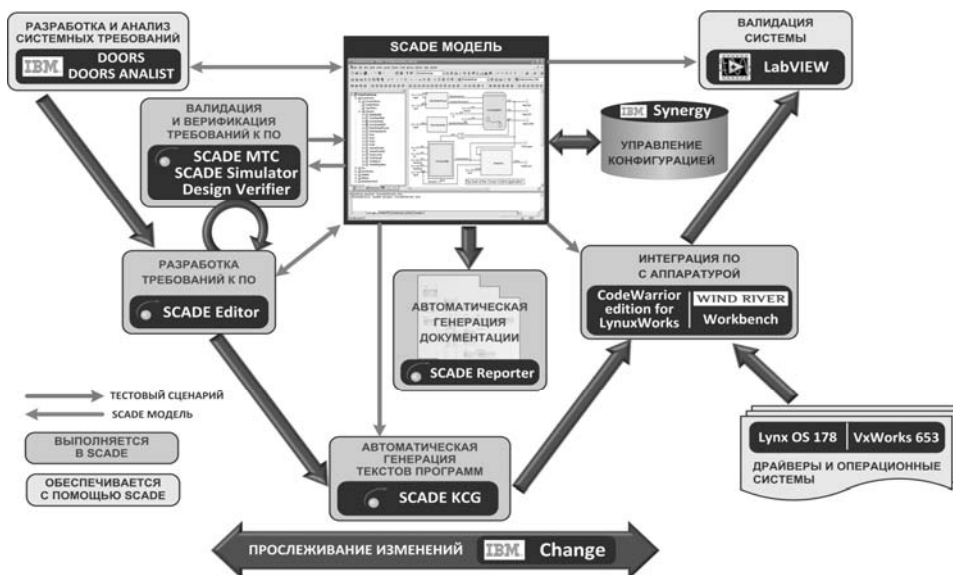


Рис. 4. Пример модельного проектирования программного обеспечения

**Заключение.** Подводя итог, отметим, что применение сквозной технологии проектирования позволит:

- ◆ детально сформировать требования к системе;
- ◆ реализовать процесс управления конфигурацией;
- ◆ распределить ответственность и объемы работ между поставщиками;
- ◆ на всех уровнях разработки оценить и реализовать все требования к безопасности;
- ◆ обеспечить качественное выполнение работ;



- ◆ сформировать документацию, удовлетворяющую всем требованиям сертификации ВС;
- ◆ построить правильные отношения между самолетостроителем и поставщиками в условиях рыночной экономики.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. АР МАК Р-4754 – Руководство по процессам сертификации высокоинтегрированных сложных бортовых систем воздушных судов гражданской авиации.
2. АР МАК КТ-178В – Квалификационные требования. Часть 178В. Требования к программному обеспечению бортовой аппаратуры и систем при сертификации авиационной техники.
3. АР МАК КТ-254 – Руководство по гарантии конструирования бортовой электронной аппаратуры.
4. АР МАК Р-4761 – Руководство по методам оценки безопасности систем и бортового оборудования воздушных судов гражданской авиации.
5. АР МАК АП-25 – Авиационные правила Часть 25 – «Нормы летной годности самолетов транспортной категории».

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. С.Н. Казарин.

**Галушкин Виктор Витальевич** – ФУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем»; e-mail: victor\_galushkin@2100.gosniias.ru; 125319, г. Москва, ул. Викторенко, 7; тел.: 84956454435; начальник лаборатории.

**Катков Дмитрий Иванович** – e-mail: katkov@2100.gosniias.ru; тел.: 84991579219; начальник сектора.

**Косьянчук Владислав Викторович** – e-mail: kos.vl.v@gmail.com; тел.: 84997590069; начальник кафедры.

**Сельвесюк Николай Иванович** – e-mail: niselvesuk@2100.gosniias.ru; тел.: 84997590069; начальник кафедры.

**Galushkin Viktor Vitalievich** – FGUP «State Research Institute of Aviation Systems»; e-mail: victor\_galushkin@2100.gosniias.ru; 7, Viktorenko street, Moscow, 125319, Russia; phone: +74956454435; head of the laboratory.

**Katkov Dmitry Ivanovich** – e-mail: katkov@2100.gosniias.ru; phone: +74991579219; head of sector.

**Kosyanchuk Vladislav Viktorovich** – e-mail: kos.vl.v@gmail.com; phone: +74956454431; head of department.

**Selvesyuk Nikolay Ivanovich** – e-mail: niselvesuk@2100.gosniias.ru; phone: +74956454431; head of department.

УДК Д-1239, И46

**О.Л. Бухвалов, В.И. Городецкий, О.В. Карсаев, Г.И. Кудрявцев, В.В. Самойлов**

#### **ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЛОГИСТИКА: СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ КОНФЛИКТАМИ**

*Ключевой задачей производственной логистики является стратегическое планирование и оперативное управление исполнением плана с целью своевременной реакции на непредвиденные события, разрешения возможных нарушений плана и расписания его исполнения, выявления и устранения конфликтов по использованию ограниченных ресурсов и т.п. В настоящее время производственная логистика регулируется стандартами таких орга-*