

УДК 629.735.083.06

Воробьев В. М., д-р техн. наук,
Захарченко В. А., канд. техн. наук,
Енчев С. В.,
Березовский Б. Н.,
Кондратенко С. В.

СИСТЕМНАЯ МОДЕЛЬ РЕАЛИЗАЦИИ ПРИНЦИПА ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ АВИОНИКИ ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ ЦЕЛОСТНОСТИ И ГОТОВНОСТИ НА ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ

Аэрокосмический институт Национального авиационного университета

В статье сформирована системная модель реализации принципа отказоустойчивости авионики высокой степени целостности и готовности на основании «дерева цели». Рассмотрены цели и задачи проектирования и внедрения авионики на базе ИМА.

Введение

Реализация принципа отказоустойчивости осуществляется и реализуется на жизненном цикле (проектирование) → (сертификация) → (серийное производство) → (эксплуатация) как сложная многоэтапная наукоемкая проблема с иерархической структурой. Наибольшая системная эффективность достигается, если основные составляющие отказоустойчивости закладываются на этапе проектирования, когда по выражению академика В. М. Глушкова реализуются принципы «... из настоящего в будущее с учетом прошлого». Явление отказоустойчивости авионики вместе с новыми качественными достижениями в авиационной отрасли: внедрением принципов CALS-технологий, созданием принципов интегрированных автоматизированных систем управлений (ИАСУ), спутниковых систем навигации и пилотирования требует повышенного внимания к повышению уровня безопасности полетов и соответствия усложняющимся требованиям Норм летной годности и экологическим ограничениям. Гарантирующей нормой создания наукоемкой продукции являются системные принципы, распространяемые на весь жизненный цикл (ЖЦ), а высокая достоверность результатов обеспечивается за счет глубокого проникновения в механизмы различных взаимодействий: систем и процессов энергетического и информационно-управляющих комплексов, внедрения CALS-технологий, использования и создания нормативной базы.

Постановка проблемы

Настоящая статья является продолжением цикла работ авторов по обоснованию архитектуры структур и применения отказоустойчивой авионики на новой элементной базе ИМА (интегральных модульных конструкциях авиационной электроники), синергетических эффектах авионики, системном подходе к обоснованию структур авионики и технике их реализации, когда *глобальным критерием* их целесообразности является минимизация первичной стоимости воздушного судна (ВС) с авионикой *по всему ЖЦ*.

Концепция отказоустойчивой авионики на перспективных ВС с 2000 года требует уточнений, развития и промежуточных внедренческих переходных стадий, когда сформируется и уточнится окончательное суждение о возможностях авионики на базе ИМА, в том числе по экономическим критериям. Одной из последних тенденций развития авионики является объединения в единый бортовой комплекс авионики всего общесамолетного оборудования. *Глобальным критерием* целесообразности разработки и внедрения отказоустойчивой авионики на ИМА является экономический, оцениваемый *минимальным значением первичной стоимости ВС с авионикой по всему ЖЦ*, без предпочтения какому-либо этапу.

В виду необходимости проведения тщательного анализа особенностей проектирования, сертификации и эксплуатации авионики нового поколения и неко-

того накопленного опыта необходимо с позиций реализации принципа отказоустойчивости и ее уровни. Для этой цели разработана многоуровневая иерархическая структура «дерева цели» проблемы «Системная модель реализации принци-

на отказоустойчивости высокой степени целостности и готовности авионики на жизненном цикле» (рис. 1, 2). Предлагаемая системная модель является развитием идей проф. Воробьева В. М. и его последователей, изложенных в работах [4 – 8].

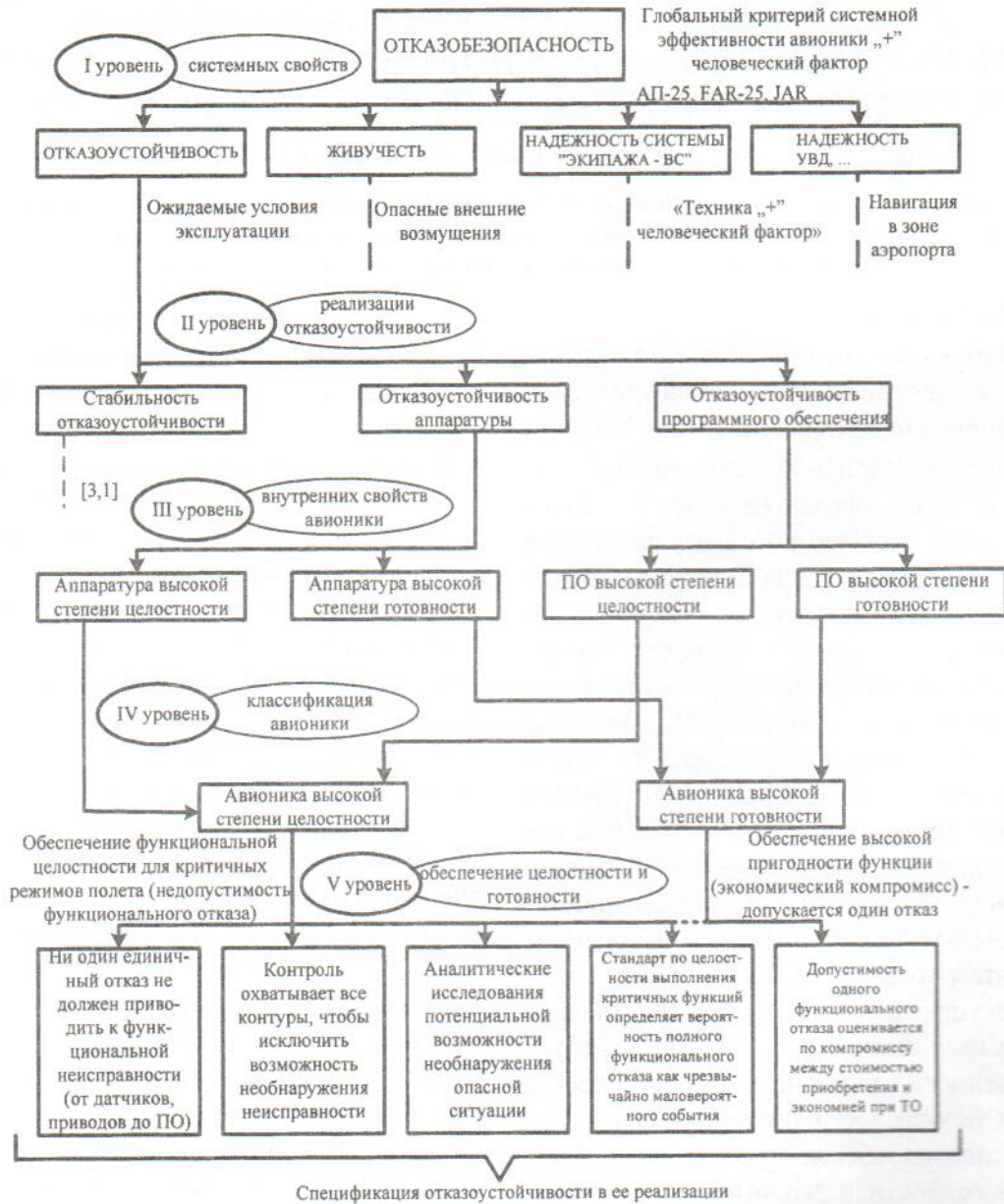


Рис. 1. «Дерево цели» проблемы «Системная модель реализации принципа отказоустойчивости авионики высокой степени целостности и готовности на жизненном цикле»

Описание «дерева цели» проблемы

Глобальный критерий системной эффективности внедрения авионики на базе ИМА согласующийся с концепцией 2000 года может быть выражен – вероятностью благополучного исхода полета [4]:

$$P_{БИП} = \sum_{i=1}^n P_{AB}(t) \sum_{a=1}^b P_{ОВВ}(t) \sum_{l=1}^m P_{ЭФ}(t) \sum_{k=1}^g P_{УВД}(t),$$

где $P_{AB}(t)$ – отказоустойчивость авионики; i, n – события и типы возникновения отказов авионики; $P_{ОВВ}(t)$ – вероятность попадания ВС и авионики в условия опасных внешних возмущений (ОВВ); a, b – виды и сочетания экстремальных условий эксплуатации (сдвиг ветра, действие молнии и т. д.); $P_{ЭФ}(t)$ – отказобе-

зопасность, как количественная характеристика эргатических факторов «экипаж – ВС»; l, m – виды и типы парируемых ситуаций из-за отказов техники, действия среды и выполнения полета на определенном уровне качества; $P_{увд}(t)$ – вероятность выполнения функций службами обеспечения безопасности полетов (служба УВД, служба светополосы и др.); k, g – виды и типы эффективного управления безопасностью полетов.

Отказобезопасность как комплексный показатель надежности функционирования эргатической системы «экипаж – ВС – среда» декомпозируется на составляющие надежности авионики, действия ОВВ (среда), показатели надежности «экипаж – ВС», надежности службы обеспечения безопасности полетов.

При этом эффективность функционирования системы в общем случае определяется выражением:

$$E(t) = \sum_{i=1}^n P(H_i) \cdot \Phi_i(t),$$

где $P(H_i)$ – вероятность нахождения системы в техническом состоянии H_i ; $\Phi_i(t)$ – выходной эффект системы.

Третий уровень иерархической структуры «дерева цели» представлен декомпозицией отказоустойчивости авионики и, по сути, выражает ее архитектуру и внутренние свойства:

- системы высокой степени целостности;
- системы высокой степени готовности.

Они, в свою очередь, с позиции надежности отражают и внутреннюю потенциальную связь техники – аппаратуры и функции – программное обеспечение (ПО): (*четвертый уровень иерархии*).

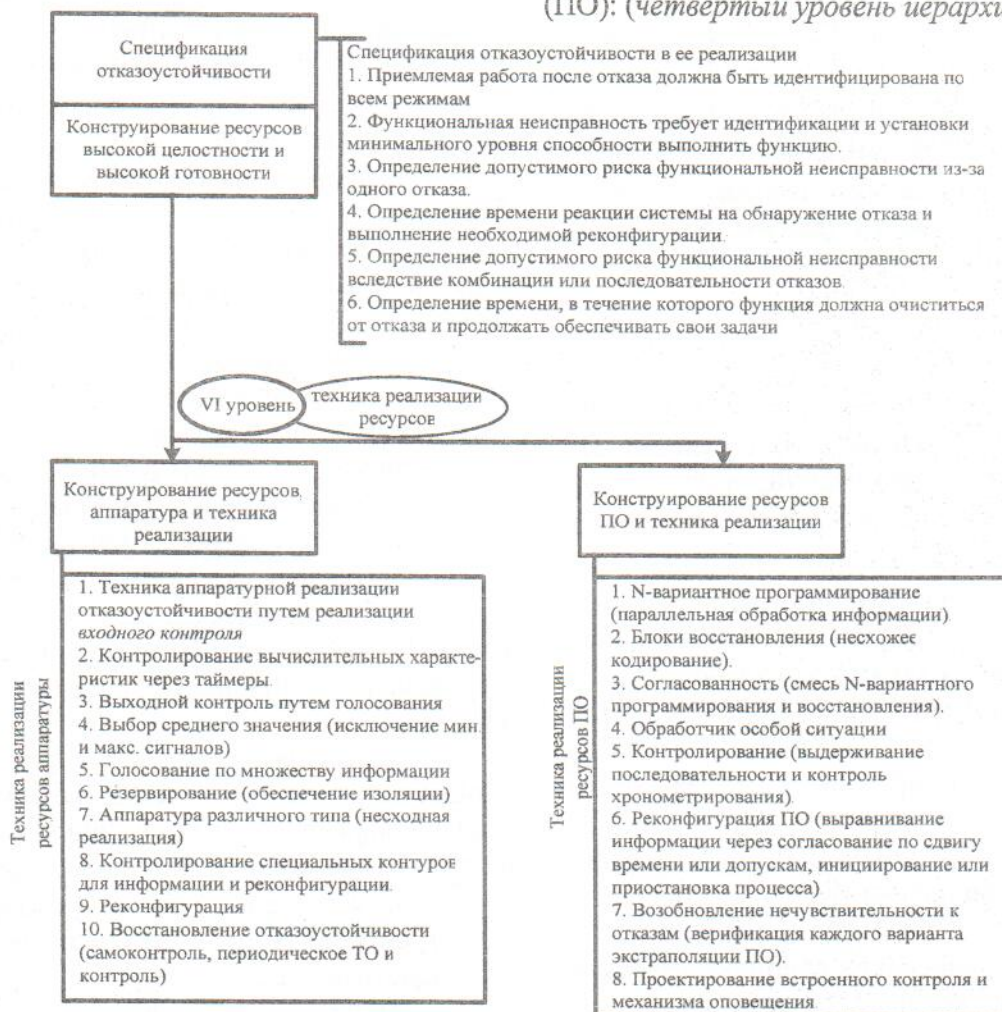


Рис. 2. Фрагмент «дерева цели» проблемы «Системная модель реализации принципа отказоустойчивости авионики высокой степени целостности и готовности на ЖЦ» в развитии ее спецификации и техники реализации

Пятый уровень иерархии структуры характеризует эффект обеспечения целостности и готовности с позиций уровней безопасности полетов (критичность функций): недопустимости отказа и возможности одного отказа. Отсюда вытекают процедуры и мероприятия, формирующие требования к системам высокой целостности и готовности, а также формирования спецификации отказоустойчивости [1, 4, 5].

Шестой уровень иерархии – конкретен задачами конструирования и техникой реализации ресурсов аппаратуры и ресурсов программного обеспечения. Таким образом, «дерево цели» проблемы реализации отказоустойчивости авионики доведено до схемы: проблема → метод → программа → алгоритм → задание.

Цели, задачи проектирования и внедрения авионики на базе ИМА

В контексте ЖЦ рассматривается мотивация новых качеств авионики и ожидаемая минимальная стоимость ЖЦ ($C_{ЖЦ\ min}$) (первичная стоимость ВС, стоимость эксплуатации, стоимость модификаций и стоимость технического обслуживания)

$$\lim_{t \rightarrow t_{ЖЦ}} C_{ЖЦ\ min} = C_{перв.} + C_{э} + C_{мод.} + C_{ТО},$$

где $C_{перв.}$, $C_{э}$, $C_{мод.}$, $C_{ТО}$ – соответственно стоимости первичная, эксплуатации, модификации и изменений, технического обслуживания (ТО); $t_{ЖЦ}$ – время ЖЦ.

Делается попытка определения выгод по отношению к интеграции, нечувствительности к отказам, стандартизации и унификации, а также к модульности.

Экономические выгоды касаются всех четырех групп авиапредприятий:

- авиалиний, как пользователей и владельцев ВС с авионикой;
- разработчиков ВС (проектировщики и производители ВС, осуществляющие логистическую поддержку ВС на ЖЦ);
- разработчиков авионики (проектировщиков, которые разрабатывают, совершенствуют и осуществляют логистическую поддержку авионики на ЖЦ);

- органов сертификации по вопросам сертификации типа, дополнительного типа и квалификации авионики.

Выгоды для коммерческих авиалиний ожидаются в пониженной составляющей стоимости ЖЦ в результате:

- более высоких реализованных рабочих характеристик (летно-эксплуатационно-технических) (ЛТХ, ЭТХ), снижения массы ненагруженного ВС и повышения объема коммерческой загрузки;

- снижении числа незапланированных технических обслуживаний (ТО) и потребности в запасном оборудовании;

- упрощенных изменений и модификаций сервиса на ЖЦ (загрузка программного обеспечения (ПО) на борту, без снятия оборудования);

- снижении незапланированных снятий блоков авионики с борта, в результате высокой надежности авионики и резкого сокращения «повторных» отказов.

Выгоды для разработчиков ВС ожидаются в пониженной первичной стоимости ВС в связи:

- с понижением стоимости разработки, сертификации и серийного производства (внедрения новых информационных наукоемких технологий CALS, внедрение ИАСУ авиапредприятий);

- со снижением полетной массы авионики и увеличением объема оплачиваемой коммерческой загрузки;

- гибкостью в отношении эффективного удовлетворения требований покупателей и внедрения улучшений (согласно CALS-технологии [2,3] в настоящее время логистическая поддержка наукоемкой продукции (авиастроение) ориентирована на «индивидуального клиента».

Выгоды для поставщиков авионики ожидаются через улучшение возможностей по маркетингу для создания специальных компонентов и подсистем через:

- увеличенный объем рынка и структурированные системы унификации и стандартизации авионики;

- использования эффекта «тиражирования» за счет более длительного срока производства однотипной продукции авионики;

– более гибкого и эффективного удовлетворения требований «заказчика».

Выгоды для органов сертификации в значительной степени определяются:

– уровнями унификации и стандартизации компонентов авионики, выполненных в виде стандартизованных строительных блоков и квалифицированных в виде функциональных компонент независимо от типа самолета;

– независимость квалификации блоков-компонент авионики от условий эксплуатации и типа ВС;

– процедура сертификации аналогична одобрению по стандартным техническим требованиям, охватывая основные функции строительных блоков ИМА;

– упрощение процедуры требуемой сертификации (сертификация типа, сертификация дополнительного типа, сертификация соответствующих функций самолета и авионики (в составе самолета)).

Формулирование эксплуатационных целей ВС с авионикой

Совокупность эксплуатационных целей определяется новыми возможностями авионики на базе ИМА, т.е. ее концепцией внедрения, а именно:

– применением философии технического обслуживания (ТО): «Отсрочить процедуру ТО настолько, что никакого ТО вне основной базы не потребуется»;

– ограничением неподтвержденных снятий блоков авионики с борта ввиду применения высокоэффективной диагностики (расширившиеся возможности диагностики от применения ИМА);

– осуществлением ТО в плановые сроки;

– возможности получения для ВС с авионикой всех выгод от изменения технологии и расширения эффективности, в том числе возможности модернизации авионики через добавление функций путем загрузки на борту программного обеспечения (пересмотренных или новых программ).

Эксплуатационные характеристики комплексов стандартного цифрового пилотажно-навигационного оборудования самолетов Ил-96-300 и Ту-204 (КСЦПНО-96, 204) представлены результатами статистической обработки НИИАО авиакомпании «Аэрофлот – международные авиалинии» [2, 3] на рис. 3, 4. По данным АСУ «Надежность» НИИАО, основанным на первичных материалах карт учета неисправностей систем авионики за 1999 год блоки имеют наработку на отказ 10000...27000 часов, что соответствовало самым высоким мировым уровням. За исключением полноцветных электроннолучевых индикаторов ИМ-3 с ресурсом 3000 часов (ежегодная замена) большинство систем авионики эксплуатируется «по состоянию» со стратегией технического обслуживания с контролем надежности (ТОСКН). При проектировании интегрированных комплексов бортового оборудования (ИКБО) предусмотрено обеспечение всех новых требований аэронавигации на 2005 год, а также реализация концепции *CNS/ATM*. При этом обеспечена возможность использования элементов в комплексах авионики предыдущих поколений без существенных изменений документации, таким образом, наличие мощных научно-технических заделов в области существующих архитектур авионики осуществляется сохранение значительного потенциала в области сертификации.

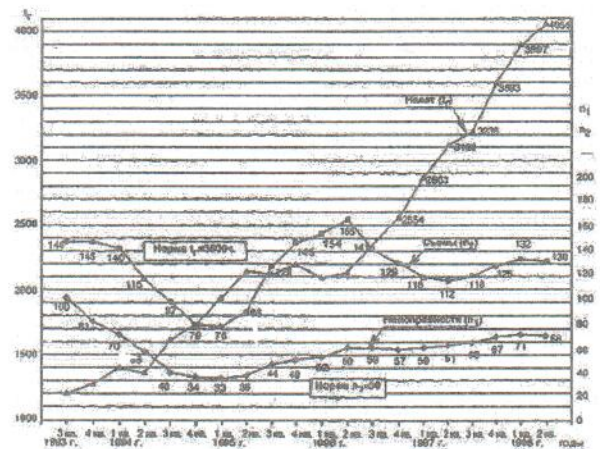


Рис. 3. Среднегодовые показатели одного комплекса КСЦПНО

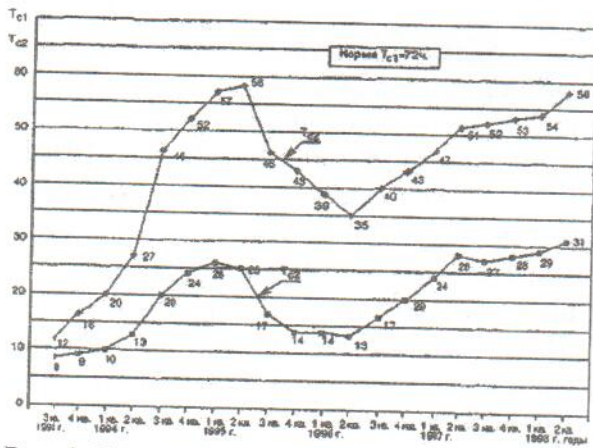


Рис. 4. Среднегодовые показатели комплекса КСЦПНО-96-300

Повышение требований к безопасности полетов приводит к непрерывному усложнению решаемых комплексами авионики функциональных задач при одновременном сокращении затрат на разработку и внедрению в практику технологий CALS, предусматривающих внедрение в практику жесткой компьютеризированной системы проектирования интегрированных комплексов и их составляющих. В таблице приведены новые международные требования аэронавигации вплоть до 2010 года [3].

Таблица

Аэронавигационные международные требования

№ п/п	Международные требования	Время ввода в действие	Район воздушного пространства
1	Зональная навигация а) RNP-5 б) RNP-1	Апрель 1998 г 2001...2005 гг	Европа Европа
2	Вертикальное эшелонирование через 300 м (RVSM)	Январь 1997 г 2002...2004	Северная Атлантика, Европа Российская Федерация
3	ЧМ-иммунитет систем ILS и МЦК	2000 г.	Европа
4	Сетка частот каналов УКВ-радиосвязи 8,33 кГц	Октябрь 1999 г.	Европа
5	Система предупреждения столкновений самолетов (TCAS-II, ACAS)	1999	США Европа
6	Ответчик с режимом S	Январь 2001...2005	Европа
7	Автоматическое зависимое наблюдение (ADS)	2001...2005 гг	США
8	Система предупреждения столкновений с землей на основе информации о рельефе местности	2000...2003 гг	Все районы
9	Концепция CNS/ATM	2001...2005 гг	США
10	Концепция «Свободный полет»	2003...2010 гг	США

Философия технического обслуживания авионики на базе ИМА предполагает по инициативе (требованиям) эксплуатанта ее плановый характер. Для этого по всей архитектуре авионики необходимо установить зоны удержания неисправностей, т.е. создать такие возможности, чтобы быстро установить все неисправности и изолировать до этой зоны. Каждая зона удержания неисправностей должна обнаруживать и объявлять достоверно всем потребителям данных.

Такой подход позволяет всей структуре авионики сообщать о своем техническом состоянии и достичь для потребителей таких целей, которые ранее не были возможными. Таким образом, целью эксплуатации является исполнение всей авионикой невидимой экипажу информации об отказах (даже при первом отказе) и вывести ее на запрос технического персонала для планирования действий по восстановлению.

Установлено, что неподтвержденные снятия блоков авионики «вносят» существенную роль в стоимость ТО. Экономические затраты включают стоимость затрат на тестирование $C_{\text{тест.}}$, возвращение в эксплуатацию $C_{\text{воз.э.}}$ и стоимость запасного оборудования $C_{\text{ЗО}}$. Помимо этого излишние снятия блоков становится причиной дополнительных неисправностей $C_{\text{доп.}}$.

$$C_{\text{неп.сн}} = C_{\text{тест.}} + C_{\text{воз.э.}} + C_{\text{ЗО}} + C_{\text{доп.}}$$

Интервал времени предупреждения в полностью отказоустойчивой авионике о необходимости ТО для отдельных функций составляет 15000 часов, когда все функции авионики продолжали работать в течение 200 часов после первого отказа с вероятностью успеха – 99%.

Обсуждается стратегия «нулевого» ТО (свободного от ТО самолета) как желательная цель (оптимистический прогноз), так как невозможно определить момент возникновения отказа. В ряде авиакомпаний мира (Галф Эйр, Боинг и др.) используется помимо стратегий ТО «по состоянию» (ТОСКН – ТО с контролем надежности, ТОСКП – ТО с контролем параметров, ТОН – ТО по наработке) стратегия ТО «по возможности» – ТОВ, сутью которой является применение адаптивного ТО, в силу ресурсных ограничений.

Следует отметить, что в научных исследованиях по данной тематике обычно не выделяется влияние авионики, которая в значительной степени определяет уровень безопасности полетов, позволяет сократить время полета для пассажиров (задержки рейсов, вынужденные простои) и снизить эксплуатационные расходы на ЖЦ ВС. Наиболее фундаментальные исследования и результаты внедрения авионики освещены в работах [3...8].

Экономическая эффективность использования ВС с авионикой в общем виде достигается за счет минимизации приведенных затрат и получения выгод на этапе эксплуатации:

$$E(t) = f(C_{\text{ВС}}, C_{\text{эксп.}}, C_{\text{T}}, \mathcal{E}_{\text{б.п.}}, R, T_{\text{ЖЦ}}),$$

где $C_{\text{ВС}}$ – стоимость ВС с авионикой; $C_{\text{эксп.}}$ – затраты на эксплуатацию ВС с авионикой; C_{T} – затраты на дополнительный расход топлива, связанный с изменением массы авионики ВС; R – показатели надежности, отражающие задержки рейсов и увеличение времени простоя; $T_{\text{ЖЦ}}$ – время ЖЦ.

Суммарные приведенные затраты эксплуатации ВС с авионикой можно представить выражением:

$$C = C_{\text{эксп.}} + M(y),$$

где $C_{\text{эксп.}}$ – эксплуатационные расходы ВС с авионикой, в которые включены все составляющие как прямые, так и косвенные эксплуатационные расходы; $M(y)$ – математическое ожидание затрат от вынужденного простоя ВС.

Таким образом, *эффективность* и *экономичность* эксплуатации характеризуют совокупность свойств и аспектов деятельности на ЖЦ, которая на верхнем уровне иерархии определяется вероятностью благополучного исхода полета. Эффективность формируется на этапе проектирования и реализуется на этапе эксплуатации.

В общем случае, эффективность обеспечения надежности определяется из выражения:

$$\mathcal{E}i = \mathcal{E}R + \mathcal{E}K,$$

где $\mathcal{E}R, \mathcal{E}K$ – эффективности решения множества задач, обеспечивающих рациональное расходование ресурсов и заданный уровень качества и надежности.

Рассмотрим комплекс задач, направленных на обеспечение заданного уровня надежности ВС. эффективность обеспечения надежности ВС с данным

комплексом авионики достигается за счет минимизации выражения:

$$\min CR = \min(C_{\text{проект}} + C_{\text{сер.пр.}} + C_{\text{экспл.}} + C_{\text{потери}}),$$

где $C_{\text{проект.}}$ – затраты на разработку и испытание опытных ВС и наземного оборудования; $C_{\text{сер.пр.}}$, $C_{\text{экспл.}}$ – затраты соответственно на изготовление и эксплуатацию необходимого количества комплексов оборудования ВС и на протяжении планового цикла эксплуатации; $C_{\text{потери}}$ – затраты, связанные с потерей ВС при авариях и катастрофах в течение планового цикла эксплуатации.

Повышение надежности ВС требует увеличения величины $C_{\text{проект.}}$, так как чем выше уровень надежности, тем, естественно, более резко возрастет стоимость разработки и чем надежней авионика, тем надежней самолет (рис.5).

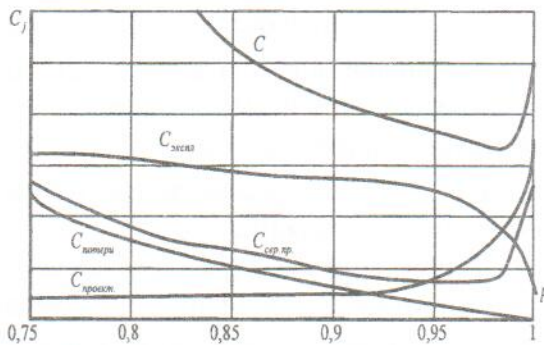


Рис. 5. Зависимость изменения суммарных затрат создания и функционирования ВС от уровня их надежности

Формулирование целей проектирования ВС с авионикой

Так как желаемые функциональные характеристики ВС с авионикой оговорены, а требуемые уровни безопасности заданы, то основным критерием целесообразности систем авионики и их характеристик является *стоимость владения в течение всего срока эксплуатации*. Все другие критерии локальны, и проектировщики должны создать авионику, для которой *сумма факторов вложенной стоимости* (разработка, амортизация, материалы, запасное оборудование, минимум массы и объема, выполнение работ

на ТОиР, оборудование контроля, развитие и др.) минимизирована по отношению ко всему ЖЦ ($t_{\text{ЖЦ}}$).

При этом никаких предпочтений, в том числе первоначальному (проектному), наиболее затратному этапу, не должно быть. *Модель стоимости владения* должна быть, по мнению авиалиний, создана и оставаться *неизменной* в задачах модернизации и программах создания новых систем авионики. Кроме того, модель должна использоваться при анализе стоимости.

Рассмотрим несколько целевых подходов в задачах проектирования авионики для решения вопросов:

- интеграции;
- реализации принципа отказоустойчивости (целостность и планирование ТО);
- целей модульности;
- монтажа и размещения авионики;
- взаимозаменяемости;
- обеспечения запасного оборудования.

1. *Задачи интеграции* заключаются в максимальном использовании распределенных ресурсов для уменьшения резервирования до минимума. Интеграция целесообразна только там, где могут быть получены выгоды в стоимости владения. В этом случае интеграция снижает стоимость владения $C_{\text{влад.}} \rightarrow C_{\text{влад. мин}}$ через снижение стоимости приобретения $C_{\text{приобр.}}$, потребности в резервах $R_{\text{рез}}$ (C_R), массе m (C_m), объема V (C_V) авионики.

$$C_{\text{влад.}} \rightarrow R_{\text{мин}} = C_{\text{приобр.}} + C_R + C_m + C_V.$$

При интеграции аппаратуры функциональная независимость ПО является существенной, поэтому необходим сертифицируемый метод, распределяющий аппаратуру и ПО. Интеграция часто минимизирует сложность, чтобы снизить неоправданно высокую стоимость резервных элементов.

Облегчение модернизации (развитие) осуществляется на борту посредством загрузки ПО без снятия аппаратуры с борта.

2. *Задачи отказоустойчивости* включают два вопроса: характеристики и их целостность и планирование ТО.

В первой части вопрос резервирования авионики на базе ИМА может быть рассмотрен на двух уровнях:

- на функциональном уровне;
- на уровне резервирования компонентов.

Традиционная авионика обеспечивала функциональное резервирование путем дублирования всей системы, что дорого и материалоемкость авионики велика. Аппаратура с ИМА использует принцип интеграции аппаратуры и тем самым уменьшает число компонентов для достижения *функциональной готовности*. При этом готовность гарантируется предоставлением большого числа путей передачи данных, главное заключается в надежности удержания неисправности и способности системы – «продолжать работу». Высокая техника удержания отказа обеспечивает другим компонентам (при наличии достаточного уровня резервирования) возможность «продолжать работу» при наличии локализованной неисправности.

Уровни резервирования аппаратуры независимы от прикладных программ, а реальный интерфейс использует различающиеся ил близкие конструкции в различных шкафах, не затрагивая прикладных программ. *Сертификация* упрощается, так как изменения ПО и аппаратуры квалифицируются только в отношении *целостности*.

В отношении *планирования ТО*: авиалинии имеют цель иметь планируемые по срокам ТО. Реализация планового

ТО возможна лишь при условии установления зоны удержания неисправности по всей архитектуре. *Введение модульности* имеет целью снижение стоимости владения через стоимость приобретения (за счет масштаба) и увеличения гибкости в отношении изменения и модернизации авионики.

Цели монтажа и размещения блоков авионики исходят из желания выполнить оборудование легким и малогабаритным, но при этом сложность монтажа не должна увеличивать стоимость запасных элементов. При этом устанавливается компромисс с общей стоимостью авионики или со стоимостью ЖЦ.

Цели размещения и доступности оборудования авионики определяются многими факторами:

- функциональными и рабочими характеристиками;
- необходимости удобства работ эксплуатантам;
- объединения с рядом систем;
- возможности наращивания функций.

Цели взаимозаменяемости актуальны для авиалиний и производителей авионики для достижения экономии и распределения стоимости проектирования и разработки. взаимозаменяемость может обеспечиваться на любых компонентах и типах ВС.

Цели обеспечения запасным оборудованием исходят из основных принципов ТО. Они конкретны для типа ВС и степени приспособленности к потребностям авиалинии.

Целью потребителей является приобретение минимального запаса без риска для своевременной отправки ВС в рейс.

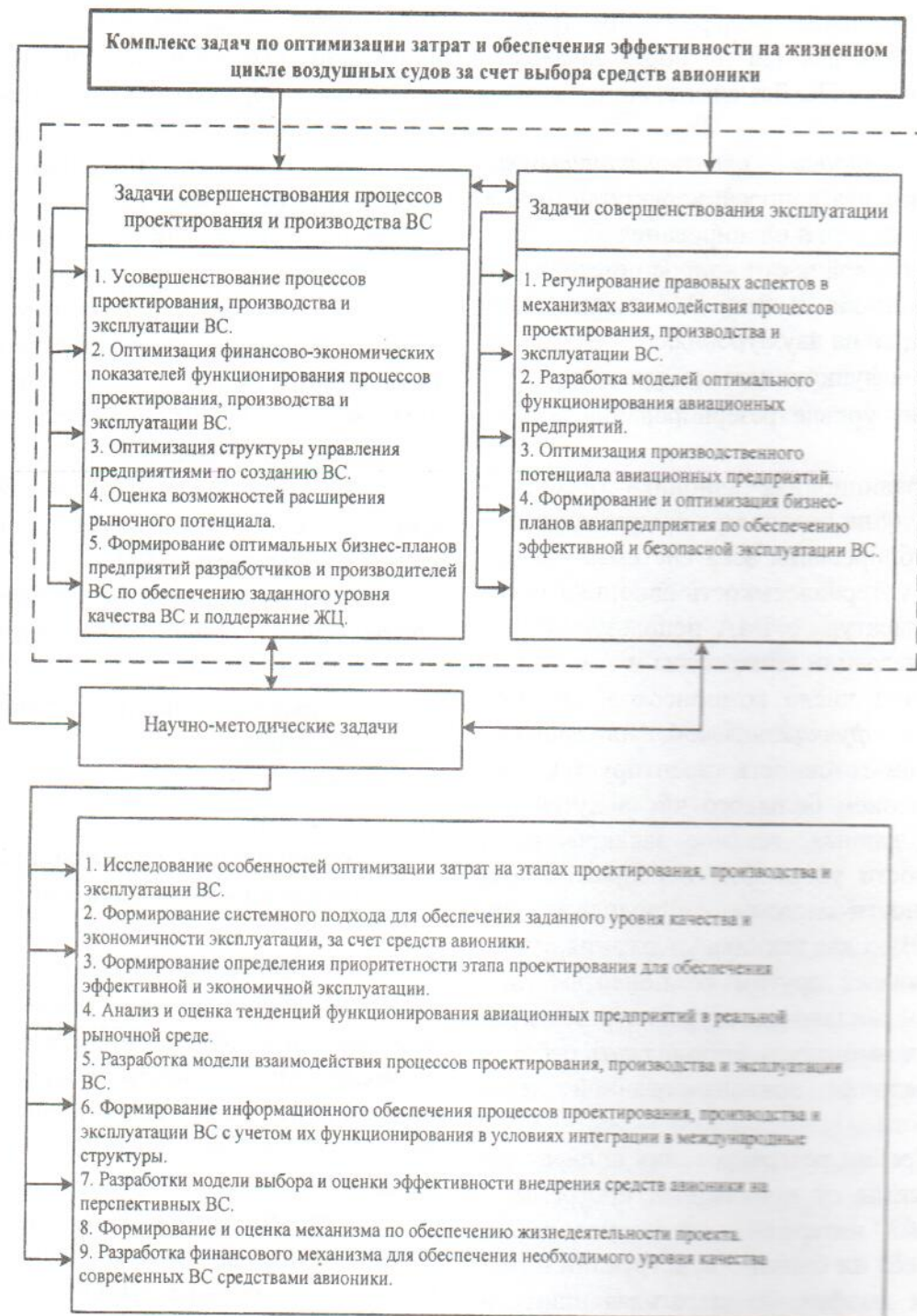


Рис. 6. Схема взаимосвязи задач оптимизации затрат на ЖЦ ВС

Выводы

Разработанная и обсуждаемая системная модель реализации принципа отказоустойчивости авионики перспективных ВС позволяет структурировать проблему на жизненном цикле по этапам: <проектирование> → <сертификация> → <серийное производство> → <эксплуатация>, т.е. определиться с критериями оп-

тимизации, совокупностью целей, методов, задач и составом технических средств.

Системная модель реализации данной проблемы представляет собой многоуровневую иерархическую структуру, которая при системном подходе, положенным в основу исследований, отражает типовую схему в направлении: <проблема> →

⟨проблема⟩ → ⟨метод⟩ → ⟨модель⟩ → ⟨алгоритм⟩ → ⟨задание⟩. Движение в обратном направлении – задача управления и процессами реализации сложной наукоемкой авиационной техники, конкретно – авионики нового поколения с принципами отказоустойчивости. Таким образом, разработанная структура «дерева цели»

проблемы – это контурно прочерченная схема в направлении проблемных исследований сложных задач, способность расширяться и развиваться, т.е. реконфигурировать для достижения совершенства. Схема взаимосвязи задач по оптимизации затрат на ЖЦ приведена на рис. 6.



Рис. 7. Воздействующие механизмы на развитие и регулирование перспективных ВС с авионикой нового поколения

Согласно этим и сопутствующим исследованиям, образовавшим определенную научно-методологическую базу, можно выполнить следующие выводы.

1. Разрабатываемые промышленностью аппаратные и программного обеспечения модули будут устанавливаться на перспективных ВС. Стандартизация функциональных модулей должна привести к взаимозаменяемости изделий различных разработчиков. стандартизация шкафов не предвидится, ввиду того что стандарты на шкаф в сборе выигрыша не дают.

2. Фундаментальные изменения взаимоотношений ожидаются между авиакомпаниями, проектировщиками ВС и авионики. В результате внедрения авионики нового поколения все участники получают выгоды.

3. Авиалинии, как владельцы ВС, получают выгоды за счет снижения эксплуатационных затрат от улучшения рабочих зон самолета. Высокая стабильность отправки ВС ожидаются за счет авионики, объединяющей все общесамолетное оборудование, с большим временем между отказами ($T_{cp} \geq 30000$ часов). Принцип отказоустойчивости авионики резко снижает число незапланированных работ по ТО. Улучшенная диагностика позволяет выявить и восстановить техническое состояние на стояночном ТО.

Для систем с низкой частотой ТО работы по ТО авиалинии могут передать поставщикам авионики, исходя из экономической целесообразности. Это направление взаимоотношений будет мотивировать модернизацию, внедрение новшеств.

4. Авиастроительные фирмы возьмут на себя функции *интегратора* (установка, связи подсистем, гарантия целостности от блока до модуля). Специалисты по интеграции систем будут привлекаться там, где авионика от разных поставщиков объединяется для выполнения функций. Все проблемы интеграции на ЖЦ должны решаться в целесообразной и экономической форме.

5. Разработчики ВС могут предложить вариант проекта авионики с высокой гибкостью, имея одно стандартное решение, но приспособленное «под каждого клиента». При этом должна быть обеспечена совместимость.

6. В области программного обеспечения основные концепции авионики на базе ПМА позволяют реализацию прикладного ПО через стандартный интерфейс с исполнительным программным обеспечением. ПО предлагается на конкурсной основе для выполнения различных прикладных программ, в результате потребители, разработчики авионики и ПО установят более тесное взаимодействие.

7. Внедрение новой концепции создания авионики на перспективные воздушные суда регулируются и мотивируются: международными рыночными и государственными механизмами. В схеме рис.7 показано взаимодействие регулирующих механизмов применительно ко всему жизненному циклу наукоемкой продукции.

Список литературы

1. *Отчет ARINC 651*. Руководство по проектированию интегральной модульной авиационной электроники. Пер. с англ. Аннаполис, шт. Мериленд, 1991. – 278 с.

2. *Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компью-*

терное обеспечение индустриального бизнеса. / Под общ. ред. А. Г. Братухина. – К.: Техніка, 2001. – 728 с.

3. *Абрамов Б. М., Братухин А. Г., Артемьев М. М. CALS в авионике.* / Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса. – К.: Техніка, 2001. – С. 225 – 237.

4. *Воробьев В. М., Захарченко В. А., Ваишу О. Ж., Воробьев А. В.* Системная эффективность комплекса «экипаж – воздушное судно – среда». Сб. науч. тр. «Кибернетика и вычислительная техника». Вып. 126. – К.: ИК им. В. М. Глушкова НАНУ, 2000. – С. 48 – 76.

5. *Воробьев В. М., Захарченко В. А., Енчев С. В., Березовский Б. Н., Кондратенко С. В.* Формирование алгоритма реализации отказоустойчивости авионики высокой степени целостности и готовности. Сб. науч. тр. „Електроніка та системи управління”. Вып. 6. – К.: НАУ, 2005. – 12 с.

6. *Воробьев В. М., Щелкунов В. И., Воробьева М. В.* Синергетические эффекты нового поколения авионики воздушных судов // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів: Зб. наук. пр. - Вип. 12. – К.: НТУ, ТАУ, 2001. – С. 25 – 30.

7. *Новикова М. В.* Экономический анализ процесса повышения надежности отказоустойчивой авионики нового поколения перспективных воздушных судов // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів: Зб. наук. пр. – Вип. 14. – К.: НТУ, ТАУ, 2002 – С. 77 – 82.

8. *Новикова М. В.* Задача оптимизации комплекса авионики по критерию минимальных эксплуатационных расходов // Проблеми транспорту: Зб. наук. пр. – Вип. 1. – К.: НАУ, 2004. – С. 69-73.