

УДК 629.7:621.001

ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В. П. Ларин,

доктор техн. наук, профессор

Д. К. Шелест,

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Изложены принципы формирования информационного обеспечения при отработке на надежность сложных ответственных изделий. Рассмотрен процесс анализа критичности аппаратуры гиперзвуковых летательных аппаратов и элементы информационного сопровождения при решении надежности задач, необходимые для формирования электронной информации в интегрированной информационной среде специализированной программно-ориентированной системы.

Ключевые слова — надежность, формирование информационного обеспечения, интегрированная информационная среда, отработка на надежность, анализ критичности, модули функциональной модели, модули информационного обеспечения, модули информационного сопровождения.

Введение

Развитие технических систем, интенсификация их использования приводят к постоянно увеличивающемуся количеству техногенных катастроф и аварий и тяжести их последствий. При выяснении причин и проведении детального анализа катастроф и аварий огромное значение имеет полнота документационного сопровождения процессов формирования, обеспечения и поддержания надежности соответственно при проектировании, изготовлении и эксплуатации изделия. К сожалению, большая доля катастроф и аварий приходится на объекты аэрокосмической техники.

Проблема обеспечения надежности аэрокосмической аппаратуры становится все острее с повышением ее функциональной и конструктивной интеграции. Современные электронные средства авиационных и ракетных систем и комплексов представляют собой сложные наукоемкие изделия, проектирование которых выполняется с применением информационных технологий в качестве инструмента для решения различных задач отработки аппаратуры на надежность. Основой для обеспечения требуемого уровня надежности электронных средств военного и специального назначения является выполнение требований ГОСТ

РВ 20.39.302 [1]. При создании информационных технологий в процессе обеспечения надежности сложных электронных средств базовой основой служат требования и рекомендации международных стандартов ISO серии 9000 (в области качества), серии 10303 (CALS-технологии) и российских военных стандартов.

В последние десятилетия стремительно развиваются CALS-технологии, представляющие собой логически структурированный набор принципов и технологий, реализующих стратегию построения интегрированной информационной среды. В интегрированной информационной среде действует единая система правил представления и хранения информации, а также обмена ею, в соответствии с которыми протекают информационные процессы, сопровождающие и поддерживающие жизненный цикл изделия. Можно отметить несомненные успехи в области разработки теоретических положений CALS-технологий, практических методик сопровождения проектной информации и создания нормативной документации. Однако внимание разработчиков нормативных документов обращено в основном на стадию эксплуатации изделий и регламентацию технического обслуживания и документационного сопровождения процессов обслуживания и ремон-

та [2, 3]. В значительно меньшей степени разработаны вопросы информационного сопровождения и документационного оформления результатов обработки на надежность сложных ответственных изделий, т. е. те задачи, которые должны были войти в ГОСТ 27.114 «Информационное обеспечение надежности (системы ССНТ)». Состояние этой проблемы наиболее полно отражает публикация [4], содержащая обзор по практически всем наиболее значимым зарубежным и отечественным программным средствам для формирования надежности сложных технических систем. Рассмотренные средства предназначены для выполнения расчета показателей надежности, а часть из них решают задачи логико-вероятностного моделирования, но ни одно из них не решает в полной мере всю совокупность задач обработки изделия на надежность [2]. В то же время заказчик, потребитель изделия должен иметь полную информацию о комплексе проведенных мероприятий по обработке на надежность, о примененных расчетных методиках, а главное, о процессах и результатах испытаний на надежность и др. Получить подобную информацию в настоящее время крайне сложно.

Целью данной статьи является рассмотрение отдельных вопросов формирования информационного обеспечения процесса обработки на надежность. В качестве примера приводится процесс формирования надежности при проектировании аппаратуры гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЛА), значительная часть которой критичная.

Принципы формирования информационного обеспечения проектирования бортовой аппаратуры ГЛА

В основе применения ГЛА лежит принцип гарантированного поражения объектов противника, следовательно, приборная аппаратура (ПА) ГЛА должна обладать такими показателями безотказности, которые позволяли бы при любых факторах полета сохранить живучесть, достаточную для выполнения боевого задания. Отказоустойчивость ГЛА как системы определяется критичностью составляющих элементов. Под критичностью элемента понимается его свойство, которое отражает возможность возникновения отказа и определяет степень влияния на работоспособность системы в целом для рассматриваемого ранга последствий.

Задача исследования критичности ПА ГЛА при воздействии факторов полета на гиперзвуковых скоростях рассматривалась в работе [5], где отмечено, что совместное действие механических сил и теплового нагрева на все элементы конструкции аппаратуры требует комплексных решений по защите от воздействующих факторов или ослаблению их действия до допустимых норм.

Основным критерием оценки допустимого уровня воздействия факторов полета ГЛА на аппаратуру является ее надежное функционирование в процессе выполнения задания по показателям безотказности.

В процессе проектирования анализ и отработка конструкции ПА ГЛА на устойчивость к механическим и тепловым воздействиям заключается в решении следующих задач в соответствии с положениями ГОСТ 27.310 [6]:

- выявлении возможных видов отказов элементов аппаратуры, их причин, механизмов и условий возникновения и развития;
- определении возможных неблагоприятных последствий возникновения выявленных отказов, проведении качественного анализа тяжести последствий отказов;
- составлении перечней критичных элементов конструкции.

Все результаты этих и последующих этапов обработки на надежность должны быть определенным образом оформлены и представлены в интегрированной информационной среде CALS. Программой основой построения этой среды является специализированный класс проблемно-ориентированных программных систем, получивших название PDM-систем (Product Data Management). Системы типа PDM обобщают такие технологии, как управление документами, конструкторскими и технологическими данными об изделии, управление проектами, работами и ресурсами. На основе базовых технологий PDM, комплексная реализация которых позволяет отслеживать и контролировать процесс разработки и выпуска продукции, применительно к решению задач надежности определены функции по управлению:

- конфигурацией изделия, обрабатываемого на надежность;
- качеством изделия по показателям надежности;
- процессом и ресурсами обработки (включая испытания) на надежность.

Формирование информации об отказоустойчивых элементах системы

Рассмотрим основные принципиальные особенности построения PDM-системы для управления обработкой на надежность, создания информационного обеспечения процесса, контроля обновляющихся массивов и т. д. Такая проблемно-ориентированная PDM-система должна иметь категорию «Надежность изделия» с характеристикой свойств надежности, подлежащих обработке. Общая база данных о надежности в программной среде PDM-системы должна содержать следующие разделы:

— архив методик по расчету показателей надежности;

— архив готовых решений по отработке на надежность и проведению испытаний на надежность;

— базу данных текущего проектирования.

Поскольку конфигурация изделия в целом и составляющие ее объекты конструирования должны быть соответствующим образом документированы, а эти документы утверждены, то и информация по формированию надежности должна быть представлена в виде массивов электронных данных и документально оформлена.

При решении задач формирования информации об отказоустойчивости и критичности ПА ГЛА как сложной многофункциональной системы в работе [5] использован комбинированный структурно-функциональный метод анализа. Общая схема (алгоритм) проведенного анализа представлена на рис. 1. Алгоритм описывает более простую процедуру анализа по сравнению с методами ФМЕСА и ФТА, реализованными в зарубежных РАМ-системах.

Рассмотрим содержание информации, получаемой при анализе критичности ПА ГЛА. Об-

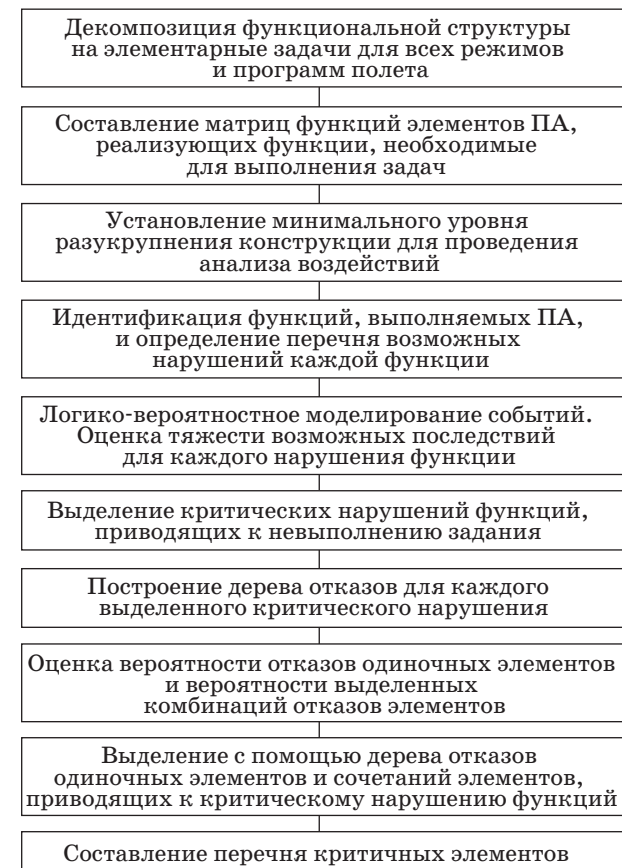
щее число возможных отказов в формируемом перечне складывается из общего числа всех выделенных условно независимых параметров по каждой функции системы с учетом возможного числа нарушений предельно допустимых значений по каждому параметру. При составлении перечня учитываются ограничения на условия применения изделия, нарушения которых рассмотрены как возможные отказы.

Далее перечень уточняется при анализе причин отказов и оценке вероятностей возникновения, возможностей обнаружения отказов и их последствий.

Существенным является четкое определение минимального уровня разукрупнения ПА. За минимальный уровень разукрупнения конструкции для анализа воздействий факторов полета авторами [5] приняты неделимые элементы конструкции. Этот уровень, в зависимости от вида конструкции, ее конструктивного исполнения, представлен пленочными элементами микросхем и микросборок; соединениями кристаллов микросхем, микросистемных элементов с корпусами; печатными проводниками и контактными площадками плат; микросварными и паяными соединениями компонентов и электрических цепей; соединениями оптоволоконных цепей.

Поиск отказоустойчивых вариантов конструкций и технологий

В качестве методических основ задания границ системы при анализе опасных состояний и отказов были приняты следующие принципы. Только главные, наиболее вероятные или критические события рассматривались на начальной стадии анализа. Для определения этих событий использован анализ критичности. Вся совокупность элементов конструкции летательного аппарата, бортового оборудования, приборов и устройств с позиции надежности рассматривалась как система, обеспечивающая работоспособное состояние ГЛА в целом в условиях воздействия всех факторов полета. Последующее разбиение структуры системы на отдельные конструктивные уровни позволяет провести анализ величины воздействия факторов полета ГЛА на элементы конструкции, рассмотреть виды нагружения элементов на различных этапах полета и исследовать механизмы потери работоспособности. Конечная цель такого анализа — поиск отказоустойчивых вариантов конструкций и технологических вариантов их реализации. Критичность не может быть определена только одним свойством элемента, а должна определяться в рамках всего технического объекта, его функциональной структуры. Наибольшую важность поэтому имеет функциональная надеж-



■ **Рис. 1.** Схема последовательности операций анализа при проведении отработки конструкций ПА и ее элементов на устойчивость к внешним воздействиям

ность, т. е. те последствия, которые могут иметь место в результате полного или частичного нарушения выполнения какой-либо функции. При ранжировании отказов по тяжести их последствий учитывались следующие факторы:

— опасность отказа (с учетом немедленных и отдаленных последствий) для целостности конструкции и сохранения работоспособного состояния до выполнения задания;

— влияние отказа на качество функционирования ПА и полноту выполнения ею назначенных функций, возможный ущерб любого вида, обусловленный снижением качества функционирования составных частей ПА или невыполнением определенных функций.

Ранжирование элементов по степени критичности может проводиться на различных уровнях структурирования объектов систем, агрегатов и узлов, частей конструкций и отдельных элементов на основе анализа морфологических блоков и структурных взаимосвязей. Чем больше «вес» элемента, тем он важнее для обеспечения безопасности объекта.

Формально задача ранжирования элементов по степени критичности с учетом одного или совокупности критериев относится к классу задач определения предпочтений многомерных альтернатив. Ее решение в каждом конкретном случае зависит от типов систем, выбранных частных показателей критичности, экспертной информации и т. д.

Все функции, реализуемые бортовыми системами, по степени влияния на целевую функцию ГЛА и тяжести последствий при нарушениях были разбиты на две группы. К первой группе отнесены функции, нарушение которых (полное или частичное) приводит к срыву задания, т. е. к невыполнению целевой функции ГЛА. Ко второй группе отнесены функции, нарушение которых (полное или частичное) приводит к частичной потере функционирования, но целевая функция ГЛА при этом может быть выполнена. Любые нарушения функций, приводящих к поражению незапланированной цели, отнесены к первой группе, так как тяжесть таких последствий может иметь значительный ущерб (для жизни людей, материальный, политический и др.) [5].

Задача выявления критичных элементов и их ранжирования особенно актуальна при анализе безопасности технических систем в условиях ограниченных ресурсов. Применительно к ПА ГЛА под ограниченностью ресурсов понимается невозможность физического вмешательства в процесс ликвидации отказа, ограниченность в широком использовании средств дублирования и резервирования, построения адаптивных средств восстановления, основанных на элементах искусственного интеллекта и т. п., из-за жестких огра-

ничений массогабаритных характеристик. Поскольку системы ПА ГЛА содержат большое количество элементов, то в условиях жестко ограниченных ресурсов обеспечить повышение надежности путем улучшения качества одновременно всех элементов не представляется возможным. Однако разные подсистемы, агрегаты или системы играют при функционировании объекта далеко не одинаковую роль, и отказы разных компонентов, как было выявлено, могут приводить к разным последствиям. Поэтому основное внимание было сосредоточено на разработке вариантов конструкций узлов, критичных элементов, играющих в обеспечении безотказности наиболее важную (ключевую) роль.

Выполнение описанных и последующих работ по созданию информационного обеспечения и сопровождения процесса отработки изделия на надежность и формирования документации отражена представленная на рис. 2 функциональная модель процесса.



■ **Рис. 2.** Функциональная модель информационно-сопровождения отработки на надежность сложных ответственных изделий: ПОН — программа обеспечения надежности; СЧ — составная часть; ВВФ — внешние воздействующие факторы

По результатам проведенных работ разрабатываются документы, состав которых определяется выбранными видами испытаний и соответствующими методиками на стадиях проектирования и изготовления (ускоренных испытаний, термоциклических испытаний, термотренировок, технологического прогона и др.).

Группу модулей VI составляют электронные документы, сопровождающие проектируемое изделие на последующих стадиях жизненного цикла изделия. Построение этих модулей выполняется на основе требований системы сбора и обработки информации о надежности.

Каждый модуль данных по отработке надежности ПА ГЛА состоит из двух частей: идентификационной (статусной) и содержательной. Идентификационная часть модуля данных содержит код модуля, номер версии модуля, дату издания,

причину издания, язык, уровень секретности сведений, применяемость. Содержательная часть состоит из описательной, процедурно-технологической информации, информации о возможных неисправностях при проведении приемосдаточных испытаний, регламента технического контроля, инструкции для оператора и др.

Заключение

Решение задач формирования информационного обеспечения процесса обработки изделий на надежность на основе предложенных подходов и принципов модульного построения позволит создать основу информационного сопровождения и документирования процесса отработки сложных изделий на надежность на стадии проектирования.

Литература

1. ГОСТ РВ 20.39.302–98. КСОТТ. Требования к программам обеспечения надежности и стойкости к воздействию ионизирующих и электромагнитных излучений. — М.: Госстандарт России, 1998. — 55 с.
2. Жаднов В. В. и др. Информационная технология обеспечения надежности сложных электронных средств военного и специального назначения // Компоненты и технологии. 2011. № 6. С. 168–174.
3. ГОСТ Р ИСО 10303-203–2003. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Ч. 203: Прикладной протокол. Проекты с управляемой конфигурацией. — М.: Госстандарт России, 2003. — 309 с.
4. Строганов А., Жаднов В., Полесский С. Обзор программных комплексов по расчету надежности сложных технических систем // Компоненты и технологии. 2007. № 5. С. 183–190.
5. Ларин В. П. Проблемы обеспечения надежности аппаратуры гиперзвуковых летательных аппаратов // Научная сессия ГУАП: Сб. докл.: В 4 ч. Ч. 1: Технические науки. СПб.: СПбГУАП, 2010. С. 28–30.
6. ГОСТ 27.310–95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. — М.: Госстандарт России, 1995. — 12 с.