

# **КАЧЕСТВО**

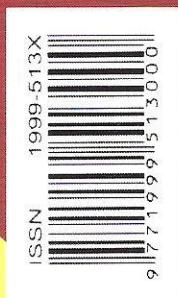
---

# **ИННОВАЦИИ**

---

# **ОБРАЗОВАНИЕ**

**№ 12  
2014**



КАЧЕСТВО и ИПИ (CALS)-технологии



Ю.Н. Кофанов

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА И НАДЁЖНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ БОРТОВЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Темой данной работы является процесс создания современных бортовых радиоэлектронных средств (РЭС), которые относятся к быстроразвивающимся устройствам с точки зрения увеличения количества выполняемых функций в условиях повышения диапазона действующих внешних факторов. Поэтому в схемах и конструкциях применяются новые, инновационные решения, которые требуют проверки путем моделирования и испытаний. Автором показана ведущая роль математического моделирования, с применением автоматизированной системы обеспечения надежности и качества аппаратуры – АСОНИКА. При этом раскрываются возможности системы АСОНИКА с точки зрения повышения эффективности подготовки бортовых РЭС к приемо-сдаточным испытаниям.

**Ключевые слова:** *качество, инновации, радиоэлектронные средства, внешние воздействия, тепловая стойкость, механическая стойкость*

**В**се бортовые радиоэлектронные средства (РЭС) относятся к аппаратуре ответственного назначения, т.к. выполняют различные функции, связанные с управлением дорогостоящими объектами, на которых могут находиться люди. В отличие от РЭС наземных комплексов, бортовая аппаратура подвергается жёстким механическим воздействиям (вибрациям, ударам и т.п.), а люди, чьи жизни зависят от безотказности работы РЭС, имеют меньше путей спасения в случае катастрофы из-за отказа аппаратуры.

Бортовые РЭС постоянно усложняются, т.к. увеличивается количество функций, выполняемых ими. Одновременно на работу электронной аппаратуры влияют внешние факторы: температура, влажность, давление окружающей среды; вибрации, удары, линейные ускорения и акустические шумы со стороны объектов её установки; электромагнитные поля, радиация и т.д. Причём уровень этих воздействий с развитием бортовых РЭС также постоянно увеличивается.

За исключением отдельных работ [2] соответствующего существенного развития теории и практики обеспечения качества и надёжности бортовых РЭС не наблюдается.

Так, на предприятиях, создающих новейшие объекты воздушно-космической обороны, по-прежнему электрические, тепловые и механические нагрузки на компоненты электрических схем часто оцениваются примерно, следуя интуиции проектировщика, а при испытаниях близость значений нагрузок к предельно допустимым нормам (и даже перегрузки отдельных компонентов) не всегда выявляется. Расчёт надёжности будущих бортовых РЭС проводится по интенсивностям отказов с использованием экспоненциального закона распределения времени безотказной работы, разработанного примерно 40 лет назад. При этом разработчики бортовых РЭС не обращают внимания на тот факт, а некоторые просто не знают о том, что этот закон можно применять только в случае, если выполняются три условия:

- **условие одинарности:** одновременно может произойти только один отказ, т.е. зависимых отказов, сопровождающих первый отказ, произойти не может (на самом деле, в радиоэлектронных схемах нередко бывают такие случаи, когда отказ одного радиокомпонента вызывает перераспределение токов и напряжений и, соответственно, отказ другого радиокомпонента);
- **условие стационарности:** вероятность отказа за заданный отрезок времени не зависит от того, от какого момента времени на оси времени отсчитывается этот отрезок (на самом деле, каждое современное бортовое РЭС – сложная динамическая система, в которой и в окружающей её среде происходят непрерывные изменения, поэтому от расположения отрезка времени на временной оси зависит вероятность безотказной работы РЭС в течение данного отрезка);
- **условие отсутствия последействия:** вероятность безотказной работы РЭС не зависит от того, что происходило с РЭС до начала отрезка времени, на который производится расчёт надёжности (на самом деле, такие процессы, как старение и деструкция материалов, релаксация механических напряжений, взаимная диффузия контактирующих материалов и другие физико-химические явления происходят непрерывно и влияют на надёжность в течение времени, предшествующего рассматриваемому отрезку времени).

Такое безразличие разработчиков происходит потому, что утверждённые стандарты по расчёту надёжности содержат разработанную методику, основанную на экспоненциальном законе распределения, не требуя проверки указанных выше трёх условий. О других теоретических законах распределения времени безотказной работы бортовой РЭС просто упоминается, без готовой методики расчёта по ним. Дело в том, что практически невозможно выяснить, какому теоретическому закону в конкретной проектируемой РЭС будет при эксплуатации подчиняться время безотказной работы как случайная величина. *Поэтому результаты расчётов надёжности по распространённым «стандартным» методикам получаются недостоверные.* Да опытные специалисты им и не верят, тем более, что эти результаты экспериментально проверить невозможно: слишком длительными были бы испытания, да и полностью воссоздать при испытаниях условия эксплуатации практически невозможно. Но если заказчику бортовой РЭС нужны эти цифры для того, чтобы в отчётах формально был раздел расчёта надёжности, то его делают.

В настоящей работе предлагается иной путь оценивания надёжности бортовых РЭС ответственного назначения – это получение фактических электрических, тепловых, механических и других нагрузок на радиоэлектронные компоненты и детали несущих конструкций, а также получение коэффициентов запаса по нагрузкам при сравнении фактических нагрузок с предельно допустимыми нормами по ним. *Чем больше коэффициенты запаса, тем выше надёжность РЭС. Полученные в результате моделирования на ЭВМ коэффициенты запаса по нагрузкам радиоэлектронных компонентов и частей несущей конструкции можно всегда проверить после изготовления РЭС.* Обычно рекомендуются значения запасов не ниже 0.2 – 0.3 от максимально допустимых нагрузок, указанных в технических условиях на радиокомпоненты и материалы несущих конструкций.

Таким образом, получить нагрузку на каждый радиокомпонент (а их в современном изделии могут быть десятки и даже сотни тысяч) и на каждую деталь конструкции или её фрагмент можно только применив компьютерные программы комплексного математического моделирования РЭС. Для этого на предприятиях, создающих бортовые РЭС для новейших объектов техники, нужно подразделения качества и надёжности превратить в центры контроля над корректным проведением разработчиками математического моделирования электрических, тепловых, механических и других физических процессов и анализом полученных коэффициентов запасов нагрузок компонентов и конструкций бортовых РЭС в разрабатывающих подразделениях предприятий.

Пока новая информационная технология математического моделирования физических процессов не станет обычным делом (а это возможно при подключении молодых кадров из выпускников вузов), нужны методические разработки моделирования и анализа с учётом особенностей бортовых РЭС, разрабатываемых на каждом конкретном предприятии. Очень помогут стандарты предприятий по электрическому, тепловому и механическому моделированию на ЭВМ и по соответствующей общей структуре информационной технологии проектирования РЭС, в которой прописано взаимодействие проектных подразделений. Последнее необходимо для правильного учёта взаимного влияния друг на друга протекающих в схемах и конструкциях РЭС электрических, тепловых и механических процессов, которое происходит следующим образом. При протекании электрических процессов в компонентах схем выделяется тепло, которое изменяет тепловые поля в конструкциях РЭС. А получающиеся температуры на корпусах компонентов изменяют электрические параметры этих компонентов и температуры на конструктивных деталях РЭС, изменяют также модули упругости и другие параметры материалов, что вызывает изменение полей деформаций и механических напряжений, возникающих в конструкциях при воздействии внешних вибраций и ударов.

В качестве программного обеспечения новой информационной технологии обеспечения высокой надёжности РЭС предлагается «Автоматизированная система обеспечения надёжности и качества аппаратуры» (АСОНИКА), разработанная авторской научной школой в Национальном исследовательском университете «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ). В течение 35 лет в научной школе Московского института электроники и математики, входящего в настоящее время в НИУ ВШЭ, создавали и многократно проверяли на многих российских предприятиях, прежде всего ракетно-космического, авиационного и морского профилей, прорывную информационную технологию двойного назначения. Суть этой технологии: используя разработанную систему АСОНИКА, можно по результатам математического моделирования протекающих в РЭС физических процессов на ЭВМ предвидеть возможные отказы в виде выходов из строя тех радиокомпонентов и поломки тех частей несущих конструкций, на которых

счету зарегистрированы перегрузки, и своевременно эти отказы предотвращать (вносить изменения в проект конструкции для ликвидации локальных перегрузок). В результате моделирования система АСОНИКА представляет результаты в виде цветного изображения полей распределения температур, механических ускорений и напряжений по конструкции РЭС. Красным цветом показываются места возможных температурных и механических перегрузок.

Система АСОНИКА предназначена для решения четырех основных проблем, существующих при разработке высоконадёжных современных бортовых РЭС ответственного назначения:

- предотвращение на ранних этапах проектирования бортовых РЭС возможных дефектов и отказов при эксплуатации;
- обеспечение безопасности человека, находящегося на борту подвижного объекта (за счет комплексного автоматизированного анализа на ЭВМ электронных моделей РЭС систем управления при всех видах внешних дестабилизирующих факторов, в том числе и в критических режимах работы РЭС);
- сокращение сроков и затрат на проектирование за счет доступности разработчику РЭС предлагаемых программных средств и адекватности результатов моделирования протекающих физических процессов условиям эксплуатации;
- автоматизация документооборота и создание полной электронной модели РЭС за счет интеграции предлагаемых программных средств в рамках PDM-системы хранения и управления инженерными данными в соответствии с жизненным циклом аппаратуры.

Система АСОНИКА обеспечивает дополнение обычного перечня конструкторской документации результатами расчетов по моделям протекающих физических процессов. Тем самым формируется электронный (виртуальный) макет создаваемой аппаратуры, который может быть передан на этапы изготовления и эксплуатации. В рамках системы АСОНИКА реализуется специальный программный комплекс, который формирует структуру электронного (виртуального) макета разрабатываемого РЭС, заполняет данную структуру результатами работы проблемных подсистем системы АСОНИКА. Помимо моделирования электрических, тепловых, аэродинамических, механических и деградационных процессов в аппаратуре, подсистемы осуществляют диагностическое моделирование, анализ показателей надежности, а также позволяют интегрироваться с системами топологического проектирования систем и устройств телекоммуникаций Mentor Graphics, Altium Designere, PCAD и др.

Программное обеспечение системы АСОНИКА [1] управляет процессом отображения результатов модельных экспериментов на геометрической модели, входящей в состав электронного макета, а также преобразует электронный макет после его обработки в формат стандарта ISO 10303 STEP. Данные, поступающие в электронный макет от проведенного моделирования, используются на последующих стадиях жизненного цикла РЭС.

В настоящее время система АСОНИКА состоит из тринадцати подсистем [3]:

- подсистема АСОНИКА-М предназначена для анализа типовых конструкций блоков РЭС на механические воздействия;
- подсистема АСОНИКА-М-ШКАФ предназначена для анализа типовых конструкций шкафов и стоек РЭС на механические воздействия;
- подсистема АСОНИКА-М-3D предназначена для анализа и обеспечения механической стойкости произвольных объемных конструкций по 3D-моделям, созданным в системах ProEngineer, SolidWorks и других CAD-системах в форматах IGES и SAT;
- подсистема АСОНИКА-В предназначена для анализа и обеспечения механической стойкости конструкций РЭС, установленных на виброизоляторах;
- подсистема АСОНИКА-Т предназначена для анализа и обеспечения тепловых характеристик шкафов и блоков РЭС;
- подсистема АСОНИКА-ТМ предназначена для анализа конструкций печатных узлов РЭС на тепловые и механические воздействия;
- подсистема АСОНИКА-Р предназначена для автоматизированного заполнения карт рабочих режимов радиокомпонентов;
- подсистема АСОНИКА-Б предназначена для анализа показателей надежности РЭС с учетом реальных режимов работы радиокомпонентов;
- подсистема АСОНИКА-БД предназначена для хранения и использования в других подсистемах справочных данных радиокомпонентов и конструкционных материалов по геометрическим, физико-механическим, теплофизическими, электрическими и надежностными параметрам;

- подсистема АСОНИКА-ИД предназначена для идентификации физико-механических и теплофизических параметров моделей РЭС;
- подсистема АСОНИКА-УСТ предназначена для анализа усталостной прочности конструкций печатных плат и радиокомпонентов при механических воздействиях;
- подсистема АСОНИКА-ЭМС предназначена для анализа и обеспечения электромагнитной совместимости РЭС;
- подсистема АСОНИКА-УМ предназначена для управления моделированием РЭС при проектировании и построении электронного (виртуального) макета РЭС.

Система АСОНИКА включает в себя следующие конверторы данных с известных САПР:

- модуль интеграции системы PSpice, предназначенной для моделирования электрических процессов в схемах, с подсистемами АСОНИКА-Р и АСОНИКА-Б (ведется разработка модулей интеграции этих же подсистем с системами Mentor Graphics и Altium Designere);
- модуль интеграции систем проектирования печатных узлов PCAD, Mentor Graphics, Altium Designere с подсистемой АСОНИКА-ТМ;
- модуль интеграции 3D модели, созданной в системах КОМПАС, ProEngineer, SolidWorks, Inventor, T-FLEX в форматах IGES, SAT, с подсистемами АСОНИКА-М и АСОНИКА-М-3D.

Поскольку автоматизированная система АСОНИКА ориентирована на инженеров-разработчиков бортовых РЭС ответственного назначения, то в подсистемах АСОНИКА-М и АСОНИКА-ТМ созданы специальные интерфейсы для ввода типовых для бортовых РЭС конструкций аппаратуры – шкафов, блоков, печатных узлов, что значительно упрощает анализ протекающих физических процессов. Если бы инженер-разработчик РЭС строил модель механических процессов сложного электронного шкафа или блока в известных зарубежных конечно-элементных программах (например, как это выполняется в программе ANSYS, предназначеннной для моделирования машиностроительных конструкций), ему пришлось бы вначале пройти специальное обучение и набраться опыта, что заняло бы время около года, а затем в течение нескольких часов вводить саму модель.

Для работы с любой подсистемой системы АСОНИКА, ориентированной на проектирование только РЭС, требуется обучение в течение нескольких часов. После этого достаточно просто ввести в нее на доступном конструктору языке то, что представлено на чертеже. Ввод сложного шкафа или блока может быть осуществлен в течение часа. Таким образом, полноценный комплексный анализ шкафа или блока на тепловые и механические воздействия вплоть до каждого радиокомпонента (получаются механические ускорения и температуры на каждом компоненте) может быть проведен в течение 1 дня.

Целью внедрения системы АСОНИКА является повышение эффективности работы структурных подразделений предприятия, приведение их в соответствие с современными мировыми и отечественными стандартами качества и надёжности, сокращение сроков разработки научноемких бортовых РЭС, основанная числовая оценка и повышение их надежности, ориентируясь на коэффициенты запасов по электрическим, тепловым и механическим нагрузкам.

Внедрение данного программного комплекса позволяет получить значительную экономию материальных средств за счет сокращения количества лабораторных испытаний при внедрении предлагаемого программного обеспечения.

Система АСОНИКА аттестована Министерством обороны РФ, выпущены Руководящие документы. Имеется лицензия Роскосмоса. Применение системы АСОНИКА поможет не допустить катастроф, аналогичных тем, что случились с программами ГЛОНАСС, «Фобос-Грунт», «Меридиан», «ПРОТОН» и др. Сотрудники Научной школы «АСОНИКА» (15 человек во главе с автором) получили Премию Правительства РФ в области науки и техники в 2001 г. Система АСОНИКА – победитель конкурса Русских инноваций 2009.

Аналогов системы АСОНИКА нет как в России, так и за рубежом. Это подтверждено официальными документами на основании наших докладов в США (Силиконовая Долина в г. Сан-Хосе и Аризонский государственный университет), в Индии (г. Бангалор, Фирма Biss) и в Республике Беларусь (Военная академия Республики Беларусь [4], Генеральный штаб Вооруженных сил Республики Беларусь и др.). Для создания аналога системы АСОНИКА необходимо не менее двадцати лет интенсивной работы.

Система АСОНИКА уже сегодня активно применяется в ОАО "РКК "Энергия" и на ряде других ведущих предприятий России. На этих предприятиях наблюдается высокое качество бортовой РЭС и отсутствие отказов при их эксплуатации.

Автоматизированная система АСОНИКА полностью отвечает государственной политике импортозамещения, объявленной Президентом Российской Федерации В.В. Путиным. Так как система АСОНИКА – это единственная отечественная система, аттестованная Министерством обороны РФ и рекомендованная руководящими документами для замены испытаний математическим моделированием на ранних этапах проектирования РЭС, то она может быть противопоставлена импортным автоматизированным системам ANSYS, COSMOS, ProEngineer, SolidWorks, Inventor, T-FLEX и другим, которые покупались российскими предприятиями, разрабатывающими бортовые РЭС, несмотря на то, что зарубежные системы ориентированы только на машиностроительные изделия.

#### **Список литературы:**

1. Автоматизированная система АСОНИКА для проектирования высоконадёжных радиоэлектронных средств на принципах CALS-технологий. Том 1. / Под ред. Ю.Н. Кофанова, Н.В. Малютина, А.С. Шалумова. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 368 с.
2. Грибов В.М., Кофанов Ю.Н., Стрельников В.П. Оценивание и прогнозирование надёжности бортового аэрокосмического оборудования. / Под отв. редакцией проф. Ю.Н. Кофанова – М.: НИУ ВШЭ, 2013. – 496 с.
3. Кофанов Ю.Н., Шалумов А.С., Увайсов С.У., Сотникова С.Ю. Информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств / Под отв. редакцией проф. Ю.Н. Кофанова. – М.: НИУ ВШЭ, 2013. – 392 с.
4. Моделирование радиоэлектронных средств с учётом внешних тепловых, механических и других воздействий с помощью системы АСОНИКА. / А.С. Шалумов, В.М. Ивашко, Ю.Н. Кофанов Ю.Н. и др. / Под ред. проф. А.С. Шалумова. – Минск: Военная академия Республики Беларусь, 2014. – 373 с.

**Кофанов Юрий Николаевич,**  
д-р техн. наук, профессор,  
профессор Национального исследовательского университета  
«Высшая школа экономики».  
адрес: 109028, Москва,  
Большой Трехсвятительский пер., 3.  
Тел. моб.: 8-926-344-30-40,  
e-mail: y021039@gmail.com

Y.N. Kofanov

#### **HIGH QUALITY AND RELIABILITY MAINTENANCE OF INNOVATIVE ONBOARD RADIO-ELECTRONIC MEANS**

Subject matter of the given work is creation process of modern onboard radio-electronic means which concern to emerging devices from the point of view of a quantity increase of carried out functions in conditions of increase of a range of influencing external factors. Therefore in diagrams and designs new innovative decisions which require check by modeling and tests are applied. By the author it is shown the leading part of mathematical modeling on the computer with application of the automated system of maintenance of reliability and quality of equipment ASONIKA. Thus possibilities of system ASONIKA from the point of view of increase of efficiency of preparation for acceptance tests reveal.

**Keywords:** *quality, reliability, innovations, radio-electronic means, external influences, thermal stability, mechanical stability*

#### **References**

1. Автоматизированная система АСОНИКА для проектирования высоконадёжных радиоэлектронных средств на принципах CALS-технологий. Том 1. / Ed. YN Kofanov, NV Malyutin, AS Shalumov. – M.: Jenergoatomizdat, 2007. – 368 p.