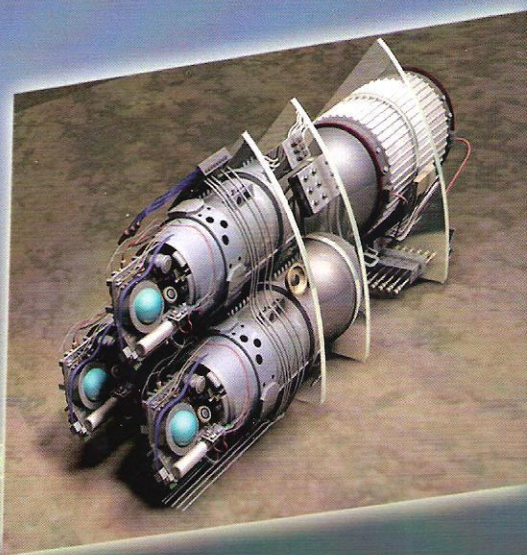
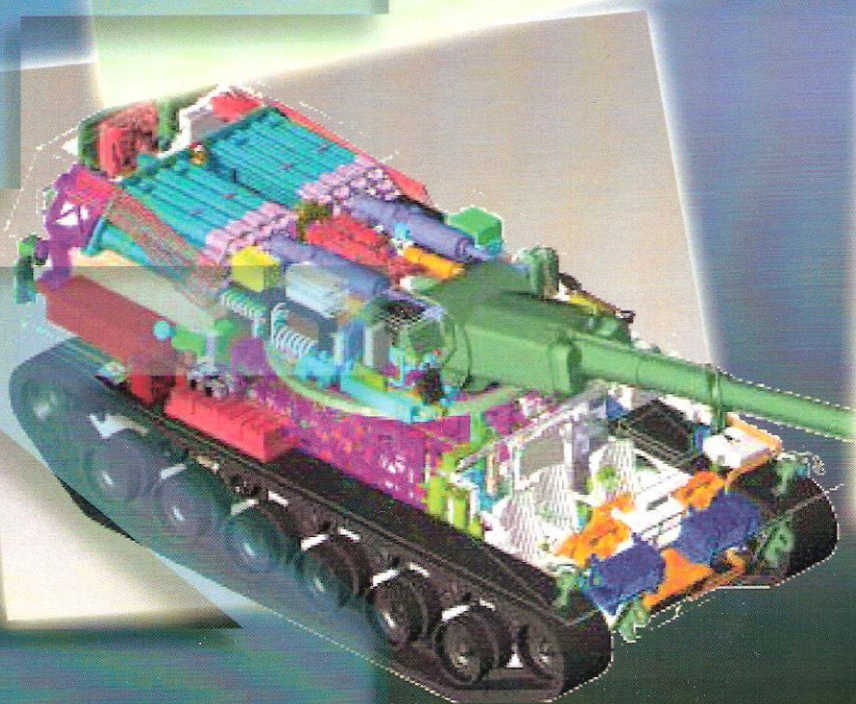
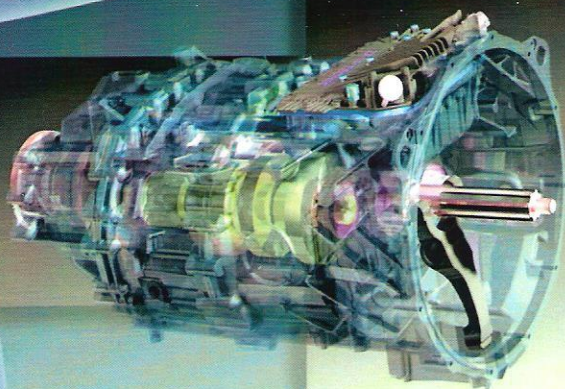
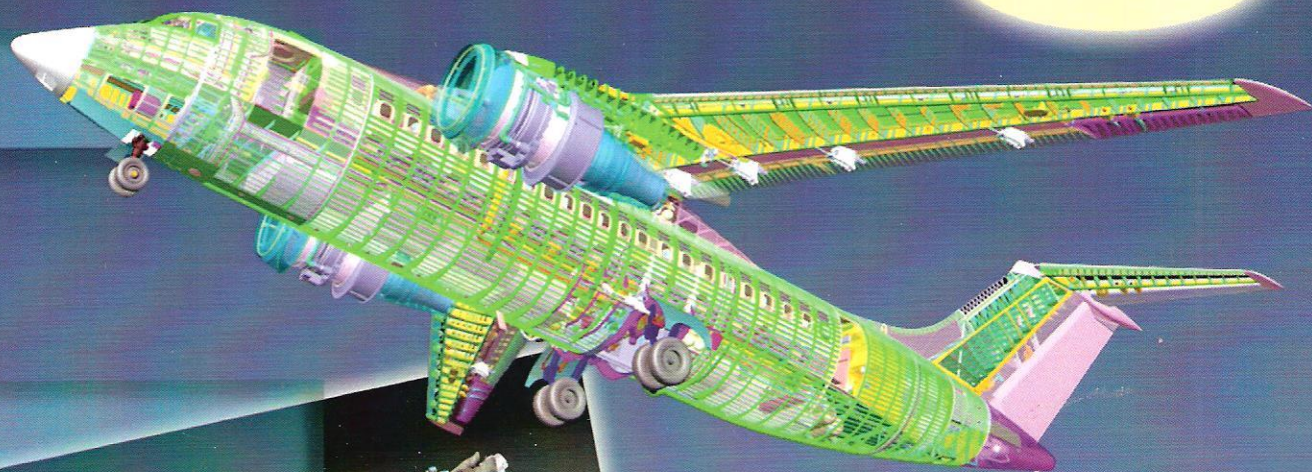


ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

в проектировании и производстве

№ 4' 2014



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ

Федеральное государственное унитарное предприятие "Всероссийский научно-исследовательский институт межотраслевой информации — федеральный информационно-аналитический центр оборонной промышленности"

№ 4 (156) 2014

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1976 г.

Главный редактор

Д. А. Леманский, канд. техн. наук,
начальник научно-образовательного
центра ОАО «ГСКБ "Алмаз-Антей"»

Заместители главного редактора:

В. Е. Гридин, д-р техн. наук, проф.,
директор ЦИТИ РАН; А. И. Островерх,
д-р техн. наук, проф., зам. генерального
директора ГКНЦ им. М. В. Хруничева

Ответственный секретарь

В. С. Глов

Редакционный совет:

В. В. Безденежных, канд. техн. наук,
ФГУП "ВИМИ"; Е. И. Бронин, канд. техн.
наук, ОАО «ГСКБ "Алмаз-Антей"»;
А. Н. Громов, канд. хим. наук, МИЭМ
НИИ ВШЭ; Ю. В. Давыдов, канд. техн.
наук, ОАО "Туполев"; В. Ф. Евстафьев,
д-р техн. наук, проф., ФГУП "ВИМИ";
В. Д. Костюков, канд. техн. наук,
ГКНЦ им. М. В. Хруничева; Ю. Н. Ко-
фанов, д-р техн. наук, проф., МИЭМ НИИ
ВШЭ; Е. И. Митрушкин, д-р техн. наук,
проф., ОАО «НИИАА»; М. А. Пирогова,
канд. техн. наук, НИИ МЭИ; Е. В. Судов,
д-р техн. наук, НИИ CALS-технологий
«Прикладная логистика»; А. В. Цырк, д-р
техн. наук, проф., ГКНЦ им. М. В. Хру-
ничева; Е. И. Шульгин, д-р техн. наук,
НИИ при президенте АИИ

Редакция (495) 491-77-67

E-mail: izdanie@vimi.ru, ivleva@vimi.ru
http://www.vimi.ru

Информационные технологии

в проектировании и производстве:
Науч.-техн. журн./ФГУП "ВИМИ", 2014.
№ 4. С. 1—76

Редактор М. А. Николенко

Компьютерная верстка Ю. С. Бристель

Напечатано в печать 18.12.2014.

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Обл. печ. л. 8,8. Уч.-изд. л. 9,1.

Листов 1828. Тираж 450 экз.

Адрес редакции: 125993, Москва,

Басманный проезд, 77, ФГУП "ВИМИ".

Напечатано в ООО «Рояль Упак».

125051, Москва, Рязанский проспект, д. 4,

стр. 9

Тел.: 79378. 11 статей.

Журнал зарегистрирован

в Минюсте 14.08.1998 г. Рег. № 018050.

Статьи рецензируются.

© Федеральное государственное унитарное пред-
приятие "Всероссийский научно-исследователь-
ский институт межотраслевой информации —
федеральный информационно-аналитический центр
оборонной промышленности" (ФГУП "ВИМИ"), 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Инновационные технологии решения задач проектирования, моделирования и производства

- Островерх А. А., Цырк А. В., Цырк Г. А. Моделирование произ-
водственно-логистических цепочек в процессах создания сложных тех-
нических систем 3
- Абакумов Е. М., Ульянин О. В., Козырев Д. Б., Козачок В. К. Созда-
ние интегрированной системы разработки сложных наукоемких изде-
лий предприятия приборостроительного профиля 10
- Жаднов В. В., Луша И. Л. Прогнозирование показателей безотказ-
ности механических элементов электронных средств при проектирова-
нии 17
- Балабанов М. С., Хамитов Р. Н. Анализ программных комплексов,
применяемых при проектировании FACTS устройств 23
- Бахвалов Ю. О., Костюков В. Д., Сычёв В. Н. Функции отработки
КД изделий на технологичность 28
- Костюков В. Д., Цырк А. В., Довгялло С. Г. Функциональное мо-
делирование службы информационных систем 40
- Кофанов Ю. Н., Сотникова С. Ю., Тихонов А. Н., Увайсов С. У.
Комплексная электротепломеханическая диагностическая модель элек-
тронного средства 50

Прикладные задачи применения информационных технологий

- Смахтин А. П., Карнаков В. В. Ключевые проблемы систем беспро-
водной передачи энергии 56
- Исаев Д. В., Кравченко Т. К. Роль внешних консультантов в проек-
тах развития информационных систем стратегического управления 58
- Митрушкин Е. И. Инженерный анализ замкнутых систем массового
обслуживания 66
- Николаев П. М. Определение точки на параметрической кривой,
ближайшей к заданной точке, в задачах автоматизированного проекти-
рования 72

FUNCTIONAL MODELING OF INFORMATION SYSTEMS OFFICE

^{1,2}V. D. Kostyukov, ^{1,2}A. V. Tsyrcov, ¹S. G. Dovgyallo¹Khrunichev State Research and Production Space Centre, Moscow, Russia²Russian State Technological University named K. E. Tsyolkovsky (MATI), Moscow, Russia

There were introduced results of business processes structural functional modeling of the information systems office in the "Khrunichev Telecom" – the department of the Khrunichev State Research and Production Centre which were made using AllFusion Process Modeler software and international standards IDEF0.

Keywords: business process, information technologies, IT architecture planning, coordination of activities, computer equipment, software, information systems, integration of automated systems, IT projects, project management.

Костюков Валерий Дмитриевич, ведущий научный сотрудник, руководитель группы функционального моделирования и оптимизации бизнес-процессов «Хруничев-Телеком», профессор кафедры "Технологии интегрированных автоматизированных систем".

Тел. 8 (499) 749-87-30.

Цыркков Александр Владимирович, руководитель комплекса совершенствования единой корпоративной информационно-телекоммуникационной системы управления предприятием, главный конструктор, профессор кафедры "Технологии интегрированных автоматизированных систем".

Тел. 8 (499) 749-93-24.

Довгьялло София Геннадьевна, инженер.

Тел. 8 (499) 749-84-34.

Статья поступила в редакцию 28 августа 2014 г.



УДК 621.396.6.001.66

КОМПЛЕКСНАЯ ЭЛЕКТРОТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ
МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОННОГО СРЕДСТВА

Ю. Н. Кофанов, д-р техн. наук; С. Ю. Сотникова, канд. техн. наук;

А. Н. Тихонов, д-р техн. наук; С. У. Увайсов, д-р техн. наук

Национальный исследовательский университет

"Высшая школа экономики", Москва, Россия

Предложена диагностическая модель электронного средства (ЭС), построенная на основе комплексного электротепломеханического моделирования для обеспечения высокой достоверности автоматизированного диагностирования. Метод, разработанный на основе этой модели, позволяет выявлять неисправности и скрытые системные отказы именно благодаря учету реально существующей взаимосвязи электрических, тепловых и механических процессов, протекающих в ЭС. Скрытые отказы, не проявляющиеся при раздельном математическом моделировании физических процессов, проявляются, когда математическое моделирование электрических процессов проводится с учетом повышения рабочих тепловых и механических нагрузок на комплектующие элементы при взаимном их влиянии друг на друга.

Ключевые слова: системные отказы, диагностическое моделирование, электронные средства, электротепломеханическая модель.

Сложность современных электронных средств (ЭС), высокие требования к надежности, помехозащищенности и массогабаритным показателям, а также к устойчивости к различным внешним воздействиям требуют на всех этапах проектирования учета синергетической взаимосвязи физических процессов и, прежде всего, электрических, тепловых и механических. Отметим, что электрические, тепловые и механические процессы протекают в конструкциях любых бортовых ЭС, причем они вызывают численно индивидуальные значения нагрузок на каждом радиоэлементе, и их защита от перегрузок наиболее трудоемка. В отличие от них, воздействия радиации, влаги, давления воздуха и других факторов вызывают процессы с примерно одинаковыми нагрузками на все радиоэлементы, смонтированные в одном объеме разрабатываемого конструктива. Поэтому и защита от их воздействий более проста и однозначна: экранирование, герметизация и т. п.

Особенно опасно указанные выше физические процессы проявляются при функционировании, прежде всего, бортовых ЭС. В любом бортовом ЭС обязательно протекают электрические процессы, так как их основная задача — выполнение определенных электрических функций. Кроме этого, учитывая высокую степень интеграции и жесткие условия эксплуатации, при разработке бортового ЭС требуется проводить моделирование тепловых процессов [1]. Исследование тепловых процессов также является важной задачей в связи с тем, что они взаимосвязаны с электрическими и механическими процессами, так как бортовые ЭС всегда подвергаются вибрациям, ударам, линейным ускорениям, причем их интенсивность зависит от того, где они установлены (на самолетах, космических кораблях, судах и т. д.).

Воздействие совокупности интенсивных физических факторов (внешних и внутренних) является причиной отказов при эксплуатации ЭС, а также появления брака при производстве. В этом случае возникает необходимость в проведении диагностики ЭС с целью установления наличия отказа и определении места отказа [2].

Одной из основных причин преждевременных отказов и неудовлетворительной надежности ЭС является наличие в них скрытых дефектов или скрытых системных отказов. Данные виды отказов проявляются тогда, когда на устройство одновременно воздействуют несколько взаимосвязанных внешних факторов, и не проявляются, если воздействие этих факторов разнесено во времени [3]. Если ЭС подвергаются одновременному воздействию нескольких внешних факторов, в их схемах и конструкциях усиливаются взаимные связи физических процессов (проявляется синергетический эффект), в результате чего возможен выход электрических, тепловых и/или механических нагрузок на электрорадиоэлементах (ЭРЭ) за допустимые

пределы, чего может не наблюдаться при раздельном воздействии тех же самых факторов.

Поэтому проведение именно комплексного математического моделирования (электрического, теплового и механического) для выявления скрытых и системных отказов имеет решающее значение при диагностировании работы аппаратуры во время ее производства или в реальных условиях эксплуатации [4].

Анализ известных программных средств математического моделирования, находящихся применения при проектировании ЭС, показывает, что известные проблемно-ориентированные программы, например, PSpice, FloTHERM, ANSYS, NASTRAN и др., не позволяют с достаточной точностью исследовать синергетическое взаимодействие физических процессов в ЭС [5]. Часть этих программ предназначены для проектирования машиностроительных конструкций, что затрудняет моделирование ЭС.

В данной работе для целей диагностирования поставлена задача алгоритмизации комплексного моделирования электрических, тепловых и механических процессов, протекающих одновременно в ЭС. Комплексность, т. е. учет при моделировании взаимосвязи физически разнородных процессов, позволяет реализовать синергетический эффект и выявить скрытые дефекты и отказы, которые не проявляются при раздельном моделировании каждого физического процесса в отдельности.

Метод комплексного диагностического моделирования при наличии разнородных физических процессов в конструкциях ЭС основан на проведении математического моделирования электрических, тепловых и механических процессов в ЭС. Он построен на основе предлагаемой электротепломеханической диагностической модели. Для описания разнородных физических процессов используется их представление в виде топологических моделей, т. е. моделей в виде эквивалентных цепей, отображающих распространение потоковых величин в конструкции ЭС или электрической схеме с учетом, с одной стороны, их идеализации, а с другой — паразитных параметров.

На рис. 1 показана связь трех видов математических моделей при диагностировании электронных средств, которые особенно характерны для ЭС, эксплуатируемых на подвижных объектах [6].

На рис. 1 приняты следующие обозначения.

$P_m = f(I, U, \cos \varphi)$ — передача значений мощностей тепловыделений в ЭРЭ из электрической модели в тепловую модель (I, U — множества токов и напряжений в ветвях, φ — фазовые сдвиги между токами и напряжениями);

$R_s = f(\rho, l, S, \alpha, T)$ — передача значений температур ЭРЭ, от которых зависят внутренние параметры элементов электрической модели (ρ, l, S — множества удельных электрических

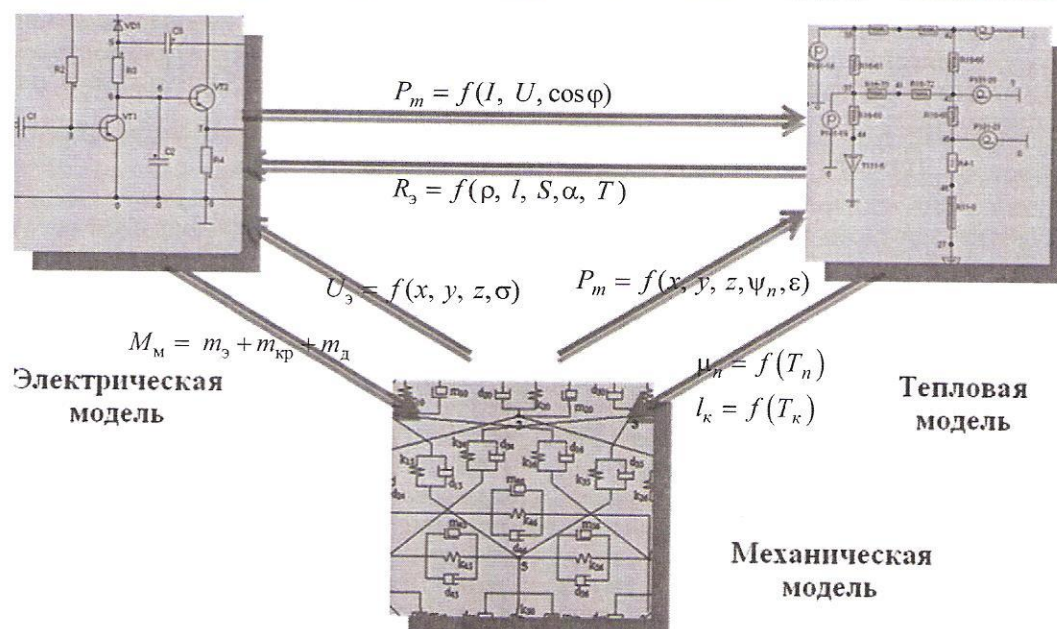


Рис. 1. Взаимосвязь трех основных видов моделей при диагностировании электронных средств

сопротивлений, длин и сечений проводников, α — множество температурных коэффициентов, T — множество температур корпусов электро-радиоизделий);

$P_m = f(x, y, z, \psi_n, \varepsilon)$ — передача значений тепловыделений в материалах от внутреннего трения при многократных механических деформациях (x, y, z — множества координат установки конструктивных элементов, ψ_n — множество коэффициентов внутреннего трения, ε — множество деформаций);

$\mu_n = f(T_n)$, $l_k = f(T_k)$ — передача значений температур подложек и деталей конструктивных материалов (T_n и T_k — множества температур подложек и конструктивных деталей);

$M_m = m_s + m_{кр} + m_d$ — передача значений масс m_s ЭРЭ, входящих в спецификацию электрической схемы с учетом масс $m_{кр}$ узлов крепления ЭРЭ на печатной плате и масс m_d конструктивных элементов;

$U_s = f(x, y, z, \sigma)$ — передача значений механических напряжений на ЭРЭ, от которых зависят внутренние параметры полупроводниковых материалов и пьезоэлементов (x, y, z — множества координат расположений полупроводниковых материалов и пьезоэлементов, σ — множество механических напряжений в них).

Комплексная электротепломеханическая диагностическая модель ЭС, предлагаемая в данной работе, приведена на рис. 2.

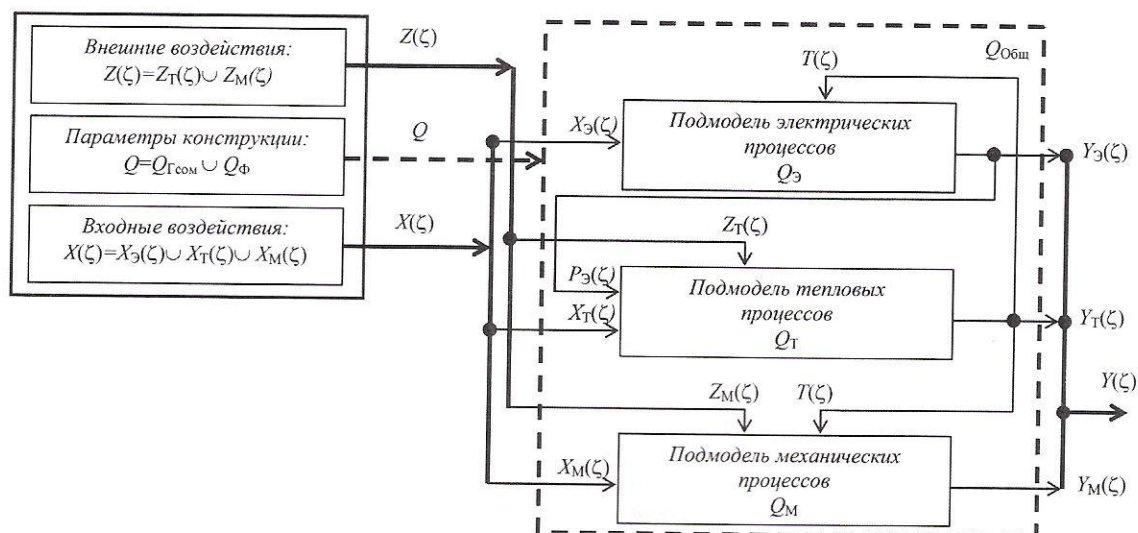


Рис. 2. Структура комплексной электротепломеханической диагностической модели электронного средства

На рис. 2 введены следующие обозначения: $Z_T(\zeta)$, $Z_M(\zeta)$ — подмножества тепловых и механических внешних воздействий, которые соответствуют воздействиям, задаваемым при проверке ЭС на диагностических стендах; Q_F — подмножество физических параметров конструкции ЭС; $Q_{Г\text{с\text{ом}}}$ — подмножество геометрических параметров конструкции ЭС; $X_\Sigma(\zeta)$, $X_T(\zeta)$, $X_M(\zeta)$ — подмножества электрических, тепловых и механических входных воздействий, которые также должны соответствовать воздействиям, задаваемым при проверке ЭС на диагностических стендах; $Y_\Sigma(\zeta)$, $Y_T(\zeta)$, $Y_M(\zeta)$ — подмножества электрических, тепловых и механических выходных характеристик в контрольных точках, соответствующих точкам установки датчиков и подключения измерительной аппаратуры.

Модель получена на основе анализа особенностей ЭС как объекта математического моделирования [7, 8]. Данная модель связывает между собой множество входных воздействий $X(\zeta)$, выходных характеристик $Y(\zeta)$, внутренних модельных параметров конструкции и внешних воздействий $Z(\zeta)$.

Топологические модели разнородных физических процессов могут быть объединены в общую комплексную модель на основе связей выходных характеристик моделей одних процессов с внутренними параметрами моделей других процессов [8], а также учитывая общие геометрические и физические параметры объектов, описываемых в моделях (см. рис. 1 и 2).

Рис. 3 отражает сущность предлагаемого метода диагностирования ЭС, построенного на ос-

нове описанной выше диагностической модели. Согласно ему, первым этапом (это может быть заключительный этап проектирования ЭС) является комплексное математическое моделирование электрического, теплового и механического режимов работы одного из экземпляров ЭС, прошедшего контроль и принятого как исправный. Результаты данного моделирования сохраняются в базе данных для дальнейшего их использования при диагностировании других экземпляров ЭС, поступающих с производства или на последующих стадиях жизненного цикла ЭС.

На последующих этапах метода диагностирования, т. е. при возникновении необходимости диагностирования очередного нового экземпляра ЭС, реализуется система диагностирования для печатного узла ЭС, показанная на рис. 3. Печатный узел закрепляется на вибростенде, и на его схему подаются сигналы питания и входных воздействий.

При включении ЭС в работу в электрической схеме создается определенный функциональный режим работы. Выделяемые в закрепленных на печатной плате электрорадиоизделиях мощности создают вместе с условиями окружающей среды определенный тепловой режим. Одновременно включается в работу вибростенд. Электрические сигналы с контрольных точек схемы (один из них может быть выходной сигнал), электрический сигнал с тепловизора или с датчиков, установленных в контрольных точках конструкции ЭС, а также с пьезоэлектрических датчиков виброускорений, установленных в своих контрольных точках конструкции, подаются в ЭВМ через аналого-цифровые преобразователи.



Рис. 3. Реализация метода диагностирования электронного средства на основе комплексного моделирования физических процессов в электронных схемах

На ЭВМ проводится сравнение значений сигналов, поступающих с системы диагностирования, со значениями сигналов, хранимых в базе данных с первого этапа диагностирования, когда записывались сигналы с экземпляра ЭС, прошедшего контроль и принятого как исправный. Если отличие электрических, тепловых и механических сигналов с диагностируемого экземпляра ЭС и с исправного экземпляра не превышают заданной величины (например 1 %), учитывающей погрешности моделирования и измерений при диагностировании, то это свидетельствует о том, что диагностируемый экземпляр ЭС исправен. Большие отличия свидетельствуют о наличии дефекта или полного отказа. Анализ того, по каким контрольным точкам идут большие отличия, дает возможность установить место наличия дефекта или отказа.

Таким образом, предлагаемый метод диагностирования позволяет автоматизировать процесс оценки и мониторинга технического состояния ЭС. Метод диагностирования, в отличие от известных, обладает также повышенной достоверностью, благодаря учету взаимного влияния электрических, тепловых и механических процессов, одновременно протекающих в ЭС.

В заключение можно отметить, что в данной работе разработана модель эффективного диагностирования современных ЭС, которые относятся к аппаратуре новых поколений ракетно-космических аппаратов и морских корабельных комплексов. Данные ЭС, с точки зрения обеспечения надежности, можно назвать наиболее трудными, так как они сочетают в себе микроэлектронные технологии, высокую плотность компоновки и силовую часть со значительными мощностями тепловыделения. Как показывает моделирование, возникновение синергетического взаимодействия физических процессов вызывает дополнительные эффекты усиления реак-

ции ЭС на тепловые и механические воздействия и поэтому требует пристального внимания на всех стадиях разработки сложных изделий.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-07-00414).

Литература

1. Увайсов С. У. Методика обеспечения тепловой контролепригодности радиотехнических устройств на этапе проектирования / С. У. Увайсов, Н. К. Юрков // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки (Российская Федерация). 2012. № 7. С. 16—22.
2. Увайсов С. У. Обеспечение контролепригодности радиоэлектронных средств в рамках CALS-технологий / С. У. Увайсов, И. А. Иванов // Качество. Инновации. Образование. 2011. № 1. С. 43—46.
3. Увайсов С. У. Методика выявления скрытых дефектов интегральных схем и аппаратуры / С. У. Увайсов, Ю. Н. Кофанов // Надежность и контроль качества. Ежемесячное приложение к журналу «Стандарты и качество». 2013. № 11. С. 19—31.
4. Увайсов С. У. Показатели контролепригодности радиоэлектронной аппаратуры / С. У. Увайсов, И. А. Иванов, Р. И. Увайсов // Мир измерений. 2008. № 3. С. 47—51.
5. Увайсов С. У. Информационная модель процесса проектирования контролепригодных радиоэлектронных средств / С. У. Увайсов, И. А. Иванов // Информационные технологии. 2011. № 12. С. 41—45.
6. Кофанов Ю. Н. Комплексирование физического и математического моделирования при автоматизации проектирования бортовых электронных средств / Ю. Н. Кофанов, С. Ю. Сотникова, С. У. Увайсов. — М.: Энергоатомиздат, 2011. — 119 с.
7. Кофанов Ю. Н. Метод информационной поддержки ранних стадий проектирования радиоэлектронной аппаратуры / Ю. Н. Кофанов, А. В. Сарафанов, В. В. Воловиков // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2003. № 3. С. 51—56.
8. Кофанов Ю. Н. Комплексное концептуальное и техническое моделирование при проектировании высоконадежных радиоэлектронных устройств морской навигации / Ю. Н. Кофанов, Н. В. Малютин, В. В. Воловиков, С. С. Колемейцев // Надежность: науч.-техн. журн. — М.: ООО «Издательский дом «Технологии», 2005. № 3(14). С. 3—11.

COMPLEX ELECTRICAL, THERMAL AND MECHANICAL DIAGNOSTIC MODEL OF ELECTRONIC MEANS

Yu. N. Kofanov, S. Yu. Sotnikova, A. N. Tikhonov, S. U. Uvaysov
Moscow Institute of Electronics and Mathematics of National Research University
"Higher School of Economics", Moscow, Russia

In this paper, we propose a diagnostic model of electronic means (ES), based on the complex electrical, thermal and mechanical modeling for high reliability computer-aided diagnosis. The method developed on the basis of this model allows to detect hidden faults and system failures due to the interconnection of electrical, thermal and mechanical processes occurring in the ES. Hidden failures are not reflected in the separate mathematical modeling of physical processes and occur when mathematical modeling of electrical processes is made in view of operating temperatures and mechanical stress of component elements, when their mutual influence on each other.

Keywords: systemic failures, diagnostic modeling, electronic means, electrical, thermal, mechanical model.

Кофанов Юрий Николаевич, профессор.
Тел.: 8 (495) 680-40-58.
E-mail: yurykofanov@yandex.ru

Сотникова Светлана Юрьевна, ведущий электроник.

Тел.: 8 (495) 916-88-80.

E-mail: sveta1708@mail.ru

Тихонов Александр Николаевич, профессор, директор МИЭМ НИУ ВШЭ, академик РАО.

Тел.: 8 (495) 916-88-00.

E-mail: Atikhonov@hse.ru

Увайсов Сайгид Увайсович, профессор, зав. кафедрой.

Тел.: 8 (495) 916-88-13.

E-mail: s.uvaysov@hse.ru

Статья поступила в редакцию 10 сентября 2014г.

