СОДЕРЖАНИЕ

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА

Дикусар В. В., Кошька М., Фигура А.
БИЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ.....3

Васильев А. М., Смоляков А. П.
ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУР РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ МЕТОДОМ ПАРНЫХ ЗАМЕЩЕНИЙ.....8

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Литвинов А. Н., Юрков Н. К.
МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В СЛОИСТЫХ СТРУКТУРАХ РЭС ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ.....16

Саушев А. В.
СТРУКТУРА ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....23

Белова В. В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ЭТАПЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ.....31

Жаднов В. В., Тихменев А. Н.
«ОБЛАЧНЫЕ» ТЕХНОЛОГИИ В АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТНОЙ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ СТРУКТУРНО-СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ.....41

Михеев А. М., Семочкина И. Ю.
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ.....48

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

Дивеев А. И., Шмалько Е. Ю.
СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ МЕТОДОМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ.....52

Садыков С. С., Савичева С. В., Гранченко Д. П.
АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА ПОЛЯ ЗРЕНИЯ ВИДЕОДАТЧИКА 60

Зинькив О. И., Василов В. В., Билык С. В.,
Олексюк И. С., Шайко-Шайковский А. Г.
НАКОСТНЫЙ ОСТЕОСИНТЕЗ С ПОМОЩЬЮ МАЛОКОНТАКТНОЙ ДЕРОТАЦИОННОЙ ЗИГЗАГООБРАЗНОЙ ПЛАСТИНЫ 66

Горячев Н. В., Танатов М. К., Юрков Н. К.
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ И МЕТОДИК АНАЛИЗА И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ 70

Аминев Д. А., Свиридов А. С., Увайсов С. У.
ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ВХОДНОГО ТРАКТА СПУТНИКОВОГО НАВИГАЦИОННОГО ПРИЕМНИКА 76

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА

УДК 519.71

БИЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

В. В. Дикусар, М. Кошька, А. Фигура

Введение

Данная работа посвящена исследованию частного случая нелинейных динамических систем – билинейных систем оптимального управления.

В последнее время все более и более актуальными становятся нелинейные задачи оптимального управления. Нелинейные задачи возникают во многих областях – финансах, биологии, медицине, технике, экологии. Многие из данных задач не могут быть достаточно точно описаны линейными моделями оптимального управления (если могут быть хоть сколько-то приемлемо описаны вообще).

В настоящее время в достаточной мере проработана теория решения линейных задач оптимального управления в различных постановках. Однако при добавлении в задачу каких-либо нелинейных элементов существенно усложняется структура задачи, что не позволяет использовать теорию решения линейных задач, при этом решение каждой конкретной задачи становится нетривиальным.

Таким образом, остается весьма актуальным вопрос о методах решения нелинейных задач. Немаловажным является исследование свойств данных систем как для понимания границ применимости текущих численных алгоритмов поиска решений, так и модернизации существующих (создания новых) численных алгоритмов.

Следует отметить, что тема исследования нелинейных систем относительно молода – основные публикации российских и зарубежных авторов приходятся на 70–90-е гг. прошлого века. В это время появляются первые работы, где анализируются нелинейные системы оптимального управления, рассматриваются их свойства в достаточно простых и грубых допущениях на параметры задачи. Среди зарубежных ученых в качестве основных следует выделить Г. Суссмана, В. Джаржевича, Р. Броккета. Среди российских ученых, внесших значительный вклад в развитие данной теории, следует отметить Р. В. Гамкрелидзе, создавшего мощнейший аппарат для изучения данных систем – хронологическое исчисление, А. А. Аграчева и С. А. Вахрамеева, развивающих в своих работах математический аппарат для исследования данных систем [1–4].

Постановка задачи

Рассматривается задача минимизация терминального функционала

$$J(u) = |x(T,u) - y|^2 \to \inf . \qquad (1)$$

В условиях сделанных допущений:

$u_k \in L_2[t_0, T]$, $k = \overline{1, ..., m}$, $(u_1, ..., u_m) \in U \subset L_2^m[t_0, T]$, где U – компакт; $x(t, u)$ – решение задачи Коши системы; u – управление, то можем записать следующую систему:

$$\dot{x}(t) = \left(A_0 + \sum_{k=1}^{m} A_k(t) u_k(t) \right) x(t), t \in [t_0, T], \qquad x(t_0) = x_0, \tag{2}$$

где $A_0(t)$, $A_k(t)$ – матрицы порядка $n \times n$, $k = \overline{1,...,m}$, $a_{i,j}^k(t) \in L_2[t_0, T]$.

Целью данной работы является рассмотрение структуры множества достижимости и структуры управлений задачи (1) – (2).

Исследование структуры множества достижимости

Определение 1. Управление u называется граничным, если $u \in \partial U$, т.е. $\exists t : t \in [t_0, T]$, $u(t) \in \partial U(t)$, где $\partial U(t) \in \mathbb{R}^m$ – граница множества $U(t) \in \mathbb{R}^m$ в момент времени t.

Определение 2. Управление u называется существенно граничным, если $\mu(\{t : t \in [t_0, T], u(t) \in \operatorname{int} U(t)\}) = 0$, где μ – мера Лебега.

Для системы (2) обозначим $X(U) = \{x(T, u), u \in U\}$ – множество достижимости в момент времени T, $\partial X(U)$ – граница множества $X(U)$.

Всюду далее предполагается, что $X(U) \subset \mathrm{O}^T(U)$, где $\mathrm{O}^T(U)$ – приведенная T-орбита для системы (2). В силу этого требования можно считать, что $\operatorname{int} X(U)$ непусто, так как $\mathrm{O}^T(U)$ – многообразие (при этом размерность $\mathrm{O}^T(U)$ может быть меньше n).

Утверждение 1. Пусть $x(T, u) \in \partial X(U)$, тогда u – граничное управление.

Предположим противное. Пусть $\tilde{x} = x(T, \tilde{u}) \in \partial X(U)$, $\tilde{u}$ не является граничным управлением. Рассмотрим задачу (2) на $L_2^m[t_0, T]$. Существует такое множество $\hat{u} : x(T, \hat{u}) \notin X(U)$, $x(T, \hat{u}) \in O_\varepsilon(x(T, \tilde{u}))$ (данное утверждение есть прямое следствие вида матрицианта для линейной системы ДУ и непрерывности).

Рассмотрим последовательность $u_i : u_1 = \hat{u}$, $u_i \to \tilde{u}$, $u_i \in L_2^m[t_0, T]$. Согласно следствию к теореме 8 [1, с. 16] имеем, что $x(T, u_i) \to x(T, \tilde{u})$, при этом можно подобрать u_i так, чтобы $x(T, u_i) \notin X(U)$ (в силу непрерывности $x(T, u)$ по параметру u). Получаем противоречие, так как $\tilde{u} \in \operatorname{int} U \Rightarrow \exists O_\varepsilon(\tilde{u}) \subset U$, $N : \forall n > N \Rightarrow u_n \in O_\varepsilon(\tilde{u})$, отсюда $x(T, u_n) \in \operatorname{int} X(U)$.

Для дальнейших рассуждений нам потребуется ввести дополнительное предположение [5, 6].

Предположение 1. $\exists s \le n$, $v_k \in L_2^m[t_0, T]$, $1 \le k \le s$:

$$\left[\int_{t_0}^{T} \left[\Omega_{t_0}^t \left(A_0(t) + \sum_{i=1}^{m} A_i(t) u_i(t) \right) \right]^{-1} A_k(t) v_k \Omega_{t_0}^t \left(A_0(t) + \sum_{i=1}^{m} A_i(t) u_i(t) \right)(t) dt \right] x_0 \ne 0, \quad k = \overline{1,...,s}.$$

Утверждение 2. Пусть $x(T, u) \in \partial X(U)$ и выполнено предположение 1. Тогда u – существенно граничное управление.

Доказательство. Предположим, что $u : x(T, u) \in \partial X(U)$, но u не является существенно граничным. Положим

$$E \subset [t_0, T] : u(t) \in \operatorname{int} U(t), \forall t \in E.$$

Выберем функции $v_i(t) \in L_2^m[t_0, T]$, $i = \overline{1, ..., s}$ такие, что $u + \sum_{i=1}^{s} \varepsilon_i v_i \chi_E \in U$, где $\varepsilon_i \in \mathbb{R}$.

Рассмотрим оператор

$$T(\varepsilon_1, ..., \varepsilon_s) = \Omega_{t_0}^T \left(A_0 + \sum_{i=1}^{s} A_i (u_i + \varepsilon_i v_i) \right) x_0 .$$

В точке $(0, ..., 0)$ получаем $T(0, ..., 0) = \Omega_{t_0}^T \left(A_0 + \sum_{i=1}^{m} A_i u_i \right) x_0$.

Найдем частную производную T по ε_k (для удобства опустим χ_E):

$$\Omega_{t_0}^T \left(A_0 + \sum_{i=1}^{m} A_i \left(u_i + \sum_{r=1, r \neq k}^{s} \varepsilon_r v_{i,r} + (\varepsilon_k + \delta_k) v_{i,k} \right) \right) x_0 =$$

$$= \Omega_{t_0}^T \left(C\left(\tau, u + \sum_{r=1}^{s} v_r \varepsilon_r \right) + \sum_{i=1}^{m} A_k \delta_k v_{k,i} \right) x_0 =$$

$$= \Omega_{t_0}^T \left(C\left(\tau, u + \sum_{r=1}^{s} v_r \varepsilon_r \right) \right) \Omega_{t_0}^T \left(\left[\Omega_{t_0}^t \left(C\left(\tau, u + \sum_{r=1}^{s} v_r \varepsilon_r \right) \right) \right]^{-1} \left(\sum_{i=1}^{m} A_k \delta_k v_{k,i} \right) \Omega_{t_0}^t \left(C\left(\tau, u + \sum_{r=1}^{s} v_r \varepsilon_r \right) \right) \right) x_0 =$$

$$= \Omega_{t_0}^T \left(C\left(\tau, u + \sum_{r=1}^{s} v_r \varepsilon_r \right) \right) \left(E + \delta_k \int_{t_0}^{T} \left(\left[\Omega_{t_0}^t \left(C\left(\tau, u + \sum_{r=1}^{s} v_r \varepsilon_r \right) \right) \right]^{-1} \times \right.\right.$$

$$\left.\left. \times \left(\sum_{i=1}^{m} A_k v_{k,i} \right) \Omega_{t_0}^t \left(C\left(\tau, u + \sum_{r=1}^{s} v_r \varepsilon_r \right) \right) \right) dt + O\left(\delta_k^2 \right) \right) x_0 .$$

Тогда получаем, что

$$\frac{\partial T}{\partial \varepsilon_k}(\varepsilon) = \left[\Omega_{t_0}^T (C(\varepsilon)) \int_{t_0}^{T} \left[\Omega_{t_0}^t (C(\varepsilon)) \right]^{-1} A_k(t) v_k \Omega_{t_0}^t (C(\varepsilon)) dt \right] x_0 .$$

В силу требования 1 $\frac{\partial T}{\partial \varepsilon_k}(0) \neq 0$, $\forall k = \overline{1, ..., s}$. Отсюда в силу теоремы о локальном обращении получаем, что $\exists O_{\theta_1}(x(T,u)) \subset M^s$, $\exists O_{\theta_2}(0)$ такие, что $T : O_{\theta_2}(0) \to O_{\theta_1}(x(T,u))$ диффеоморфно (где M^s – подмногообразие в $O^T(U)$). Но так как по условию $T(O_{\theta_2}(0)) \subset X(U)$, следовательно, $x(T,u) \in \operatorname{int} X(U)$. Получили противоречие.

Следствие 1. Пусть $\det A_k(t) \neq 0$, $i = \overline{1, ..., m}$, $t \in [t_0, T]$. Тогда $x(T,u) \in \partial X(U) \Rightarrow u$ – существенно граничное управление.

Рассмотрим ряд свойств коммутативных билинейных систем.

Предположение 2. $A_i A_j = A_j A_i$.

Утверждение 2. Решение задачи (2) при предположении 2 имеет вид

$$x(T,u) = e^{\int_{t_0}^{T} \left(A_0 + \sum_{i=1}^{m} A_i u_i(t) \right) dt} x_0 . \qquad (3)$$

Здесь e^A – матричная экспонента.

Утверждение 3. Пусть в условиях задачи (2) множество U такое, что $U(t):|u_i(t)|\le a_i,\ t\in[t_0,T]$ и $A_0=0$, тогда задача (2) в условиях предположения 1 эквивалентна задаче (2) с $\widehat{U}\subset\mathbb{R}^m$, где $\widehat{U}:|u_i(t)|=b_i=a_i(T-t_0),\ t\in[t_0,T]$.

Доказательство. Рассмотрим разложение матричной экспоненты в (3):

$$x(T,u)=e^{\int_{t_0}^{T}\left(\sum_{i=1}^{m}A_iu_i\right)dt}x_0=\left(E+\sum_{k=1}^{\infty}\frac{\left[\int_{t_0}^{T}\left(\sum_{i=1}^{m}A_iu_i(t)\right)dt\right]^k}{k!}\right)x_0 .$$

По теореме о среднем $\int_{t_0}^{T}\left(\sum_{i=1}^{m}A_iu_i(t)\right)dt=\sum_{i=1}^{m}A_i\beta_i(T-t_0)$, где $|\beta_i|\le a_i$.

Получаем искомое утверждение [7].

Следствие 2. Для коммутативных билинейных систем для эквивалентных задач с $A_0=0$ получаем, что $x(T,u)\in\partial X(U)\ \Rightarrow\ u$ – существенно граничное управление.

Список литературы

1. Гантмахер, Ф. Р. Теория матриц / Ф. Р. Гантмахер. – 5-е изд. – М. : Физматлит, 2004. – 560 с.
2. Картан, А. Дифференциальное исчисление. Дифференциальные формы / А. Картан. – М. : Мир, 1971. – 392 с.
3. Колмогоров, А. Н. Элементы теории функций и функционального анализа / А. Н. Колмогоров, С. В. Фомин. – 7-е изд. – М. : Физматлит, 2004. – 572 с.
4. Уорнер, Ф. Основы теории гладких многообразий и групп Ли : пер. с англ. / Ф. Уорнер. – М. : Мир, 1987. – 304 с.
5. Вахрамеев, С. А. Гладкие управляемые системы постоянного ранга и линеаризуемые системы / С. А. Вахрамеев // Итоги науки и техники. Современные проблемы мат. нов. достиж. – 1989. – № 35. – С. 135–178.
6. Вахрамеев, С. А. Геометрическая теория управления / С. А. Вахрамеев, А. В. Сарычев // Итоги науки и техники. Алгебра. Топология. Геометрия. – 1985. – № 23. – С. 197–280.
7. Бобровский, Д. И. Исследование свойств билинейных систем оптимального управления. Динамика неоднородных систем / Д. И. Бобровский ; под ред. Ю. С. Попкова. – М. : Изд-во ЛКИ, 2008. – Т. 32 (3). – С. 14–18.

УДК 519.71

Дикусар, В. В.

Билинейные системы оптимального управления / В. В. Дикусар, М. Кошька, А. Фигура // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 3. – С. 3–7.

Дикусар Василий Васильевич
доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник,
Вычислительный центр им. А. А. Дородницына
Российской академии наук,
119333, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, 40
E-mail: dikussar@yandex.ru

Dikusar Vasily Vasilevich
doctor of physical and mathematical sciences,
senior research manager,
Computing center named after A. A. Dorodnitsyn
of Russian Academy of Sciences,
119333, 40 Vavilov street, Moscow, Russia
E-mail: dikussar@yandex.ru

Кошька Марьян
доктор физико-математических наук, профессор,
кафедра информатики и математики
Технолого-гуманитарного университета
им. Казимера Пулаского,
26600, Польша, Радом
E-mail:km@pr.radom.pl

Koshka Marjan
doctor of physics and mathematics, professor,
sub-department of computer science and mathematics,
Kazimierz Pulaski University
of Technologies and Humanities,
26600, Radom, Poland
E-mail: km@pr.radom.pl

Фигура Адам
доктор физико-математических наук, профессор
кафедры информатики и математики
Технолого-гуманитарного университета
им. Казимера Пулаского,
26600, Радом, Польша
E-mail:km@pr.radom.pl

Аннотация. В работе исследуются свойства граничных точек множества достижимости билинейных систем оптимального управления. Доказан ряд утверждений, связанных с граничными и существенно граничными управлениями, рассмотрен ряд свойств коммутативных билинейных систем оптимального управления.

Ключевые слова: билинейная система, оптимальное управление, множество достижимости, граничные управления.

Figura Adam
doctor of physics and mathematics, professor,
sub-department of computer science and mathematics,
Kazimierz Pulaski University
of Technologies and Humanities,
26600, Radom, Poland
E-mail: km@pr.radom.pl

Abstract. The properties of the boundary points of the reachable set of bilinear optimal control systems are investigated. We prove a number of statements related to boundary and strongly boundary controls; some properties of commutative bilinear optimal control systems are considered.

Key words: bilinear system, optimal control, the reachable set, boundary control.

УДК 519.673

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУР РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ МЕТОДОМ ПАРНЫХ ЗАМЕЩЕНИЙ

А. М. Васильев, А. П. Смоляков

Введение

Метод замещений – это точный метод решения оптимизационных задач на графах, использующий поиск в глубину с возвращением [1]. В основе метода лежит функциональный принцип парных замещений. Под парой замещения в зависимости от характера задачи понимается либо пара ребер, либо пара вершин, т.е. два каких-либо однородных элемента графа, один элемент является удаляемым, а другой – добавляемым. Элементарная операция замещения заключается в замене первого элемента вторым.

В результате выполнения элементарной операции замещения в исследуемом подграфе происходит изменение таких параметров, как вес подграфа, структура подграфа, степени вершин подграфа, число компонент его связности и др. Это обстоятельство является важнейшим с точки зрения вычислительного эффекта.

Алгоритмы, построенные на базе метода замещений, имеют процедуры, отслеживающие текущее состояние упомянутых параметров.

Это дает возможность:

– более точно выбирать дальнейшее вычислительного процесса;

– использовать новые виды математических ограничений (векторы топологии);

– сокращать объемы вычислительных затрат при использовании вычислительной техники.

Для объяснения метода замещений используем терминологию, изложенную в [2].

В обслуживающую многостадийную систему поточного типа, состоящую из множества M приборов в момент времени $d = 0$ поступает множество $N = (1, 2, ..., n)$ пакетов требований.

Маршрут L_q обслуживания отдельных требований $i \in I \subset N$ представляет собой чередующуюся последовательность

$$(L_1^i, L_2^i, ..., L_{ri}^i), L_q^i \in M, q = 1, ..., r_i, \tag{1}$$

где $L_q \neq L_{q+1}^i$.

Известны длительности $t_{iL_q} \succ 0$ выполнения всех операций

$$(i, L, q), i \in N, L_q^i \in M, q = 1, ..., r_i. \tag{2}$$

Допускается присвоение одному из пакетов требований высшего (нулевого) приоритета обслуживания. Прерывания в процессе обслуживания, как пакета требований, так и отдельных требований, запрещены. Запрещены также перестановки пронумерованных в порядке очередности обслуживания отдельных требований, входящих в пакет.

Множество вариантов планов (расписаний) обозначим S.

Необходимо сформировать план S^*, при котором общее время обслуживания всех пакетов требований принимает наименьшее значение.

Будем называть пакетом требований множество $I \subset N$ пронумерованных требований $i \not\subset I, i = I \mid I,$ имеющих одинаковые маршруты и обслуживаемые одним и тем же набором приборов.

Конкретным вариантом интерпретации терминологии [2] применительно к решению задачи разработки алгоритма обмена информацией в распределенной информационно-измерительной системе (РИИС) может быть следующий:

– прибор – элемент РИИС;

– требование – сообщение;

– пакет требований – набор сообщений;

– маршрут обслуживания отдельных сообщений – технологический маршрут;

– план – график сообщений и т.п.

Конкретным вариантом интерпретации терминологии [2] применительно к решению задачи разработки структуры РИИС гибкой производственной системы (ГПС) может быть следующий: прибор – элемент РИИС; требование – время обмена информацией между элементами РИИС; пакет требований – набор времен обмена информацией между элементами РИИС; маршрут обслуживания отдельных требований–конкретная структура РИИС ГПС; план *S** – график обмена информацией.

Снижение трудоемкости алгоритма достигается путем декомпозиции задачи [3–4].

Укрупненная блок-схема алгоритма решения задачи показана на рис. 1.

Назовем базисным (β-планом) план обслуживания пакета требований $i \not\subset I \subset N$ РИИС с заданными длительностями $t_{iL_q} \succ 0$ всех операций

$$(i, L, q), i \in I \in N, L_q^i \in M, q = 1, ..., r, \tag{3}$$

где *M* – множество элементов РИИС.

β-план характеризуется множеством *T*-моментов начала выполнения операций $\tau_{f_i L_q} \in T_s$ и множеством T_f-моментов окончания выполнения операций $\tau_{f_i L_q} \in T_s$.

Начало обслуживания пакета требований в каждом β-плане привязано к условной нулевой отметке времени (рис. 1).

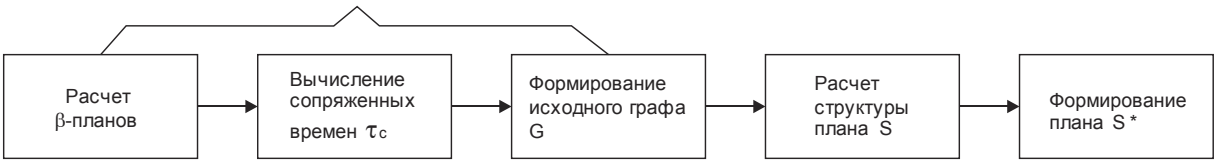


Рис. 1. Алгоритм решения задачи

Если при обслуживании пакета *I* требований $i \notin$ РИИС ГПС с номером не используется, то

$$\tau_{siL_q} = \infty, \tau_{fiL_q} = 0 \ .$$

Определим сопряженное время пары β-планов *A* и *B*, $A \in N, B \in N$ как интервал τ_{cAB}, отделяющий условную нулевую отметку времени β-плана *A* от условной нулевой отметки времени β-плана *B* при выполнении следующих условий:

$$\forall \in I \wedge j \in J(A \succ B), \tag{4}$$

$$\tau_{f_i L_q} \le \tau_{s_i L_q} + \tau_{cAB}.$$

Для всех элементов РИИС ГПС, если β-план *B* сдвигается по временной шкале вправо относительно нулевой отметки времени β-плана *A* до тех пор, пока хотя бы для одного из элементов РИИС, входящего в маршруты, выполнится равенство

$$\tau_{f_i L_q} + \tau_{cAB}.$$

Здесь *i* – номер требования в предшествующем β-плане *A*, содержащем требования *j* – номер требования в последующем β-плане *B*, содержащем *J* требований.

В тех случаях, когда в паре β-планов не задействованы одни и те же элементы РИИС, то

$$\tau_{cAB} = 0.$$

При численной реализации β-планов используются следующие прямоугольные матрицы:

$M_s^l[l,k]$ – матрица моментов начала обслуживания;

$M_f^l[l,k]$ – матрица моментов окончания обслуживания.

Обозначив через k – номер столбца (номер требования) и через l – номер строки матриц (номер элемента РИИС), определяем сопряженное время пары β-планов следующим образом:

$$\tau_{cAB} = \max(M_f^A[l,k_{\max}] - M_s^B[l,k_l], \tag{5}$$

где $k_{\max} = |I|$.

Для всех пар β-планов формируем квадратную матрицу M_τ сопряженных времен с диагональными элементами, равными ∞.

Для анализа структуры плана и постановки в терминах теории графов воспользуемся терминологией [5].

С помощью матрицы M_τ взвешиваем дуги исходного графа, для которого номерами вершин исхода являются номера строк, а номерами вершин захода являются номера столбцов. На этом формирование исходного графа заканчивается.

Выявление структуры оптимально плана имеет существенное значение для формирования самого оптимального плана. В общем случае выявление структуры будет сводится к определению числа ветвей и длины каждой ветви корневого дерева минимального веса. Конкуренция за приоритет между β-планами возникает внутри каждой ветви корневого дерева.

Данная задача математически формулируется в терминах теории графов следующим образом. Требуется найти набор дуг корневого дерева, доставляющий минимум функции цели:

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1\tau}^{m} \tau_{oij} X_{ij}. \tag{6}$$

При ограничениях

$$\begin{gathered} x_{ij} \in \{0,1, i \neq j; \\ \nu_{\text{ив}} = (\nu_1, 1, 1, ..., 1); \\ \nu_{\text{зв}} = (0, 1, 1, ..., 1); \\ \nu_{\text{ин}} = (\nu_i, 0, 0, ..., 0); \\ \nu_{\text{зн}} = (0, 1, 1, ..., 1); \\ m^* = n - 1, \end{gathered} \tag{7}$$

где m – число дуг исходного графа; m^* – число дуг искомого графа; n – число вершин исходного графа (число β-планов); i и j – номера граничных вершин дуги соответственно исхода и захода; $\nu_{\text{ив}}$ – вектор полустепеней исхода (верхняя граница), т.е. вектор, регламентирующий максимально возможное число дуг, выходящих из вершин графа; $\nu_{\text{ин}}$ – вектор полустепеней исхода (нижняя граница), т.е. вектор, регламентирующий минимально возможное число дуг, выходящих из вершин графа; $\nu_{\text{зв}}$ – вектор полустепеней захода (верхняя граница), т.е. вектор, регламентирующий максимально возможное число дуг, входящих в вершины графа; $\nu_{\text{зн}}$ – вектор полустепеней захода (нижняя граница), т.е. вектор, регламентирующий минимально возможное число дуг, входящих в вершины графа; ν_i – полустепень исхода вершины номера; ν^* – число компонент слабой связанности искомого подграфа.

Если план составляется на те случаи, когда все требования должны обслужиться полностью, т.е. когда не требуется взаимного перекрытия периодов планирования (индивидуальное производство), то целевая функция имеет вид

$$\max\left\{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m}\tau_{cij}x_{ij} + \sum_{w\in W}\tau_{\omega}y\omega\right\}\to$$

при ограничениях

$$x_{ij}\in\{0,1\}, i\neq j, y_w\in\{0,1\}, \tag{9}$$

где w – ветвь дерева с предписанной степенью корневой вершины, принадлежащая множеству W его ветвей; τ_w – вес висячей вершины ветви $w\in W$.

Поставленная задача не может быть решена классическими алгоритмами, например, основанными на методе ветвей и границ, поскольку конструирование дерева решений потребует столько модификаций алгоритмов, сколько изоморфизмов будут содержать возможные структуры искомых подграфов (корневых деревьев).

По этой причине многие разработчики ищут решение подобных задач, используя методы имитационного моделирования с использованием эвристических правил отсечения.

Для решения такой задачи предлагается использовать алгоритмы, основанные на методе замещений [1].

Пусть РИИС ГПС состоит из множества M элементов, а B – множество β-планов, предлагаемых для расчета плана S^*, исключая β-план N_1, который имеет высший приоритет.

Граф отношений (биграф) от M к B обозначим

$$G(M,B,R,\mu),$$

где M – множество вершин исхода; B – множество вершин захода; R – множество дуг, задающих отношения от M к В; μ – число компонент слабой связности биграфа.

Тогда значение ν_1 определяется

$$\nu_1=\mu\ . \tag{10}$$

Для рассмотрения алгоритма решения задачи введем следующие обозначения [6].

Пусть $G(V, E)$ – исходный граф, содержащий $n=|V|$ вершин и $m=|E|$ взвешенных дуг.

Искомый подграф содержит n вершин и m взвешенных дуг.

Дополнительные параметры:

K – номер яруса дерева замещений (ДЗ);

WG – верхняя граница;

WP – вес промежуточного подграфа;

d_k – номер узла, подчиненного узлу на k-м ярусе ДЗ;

$GEN = I$ – признак наличия сгенерированных пар замещений;

$IS = 1$ – признак наличия очередного нуль-узла, имеющего WG меньше предыдущего;

D_k – число узлов, подчиненных общему на K-м ярусе ДЗ.

Предварительный этап алгоритма сводится к упорядочению множества дуг E в порядке возрастания их весов τ_{cij} и разделению множества E на два подмножества $|E^0|$ и $E\backslash E^0$, $|E\setminus E^\circ| = m - n + 1$.

Основной этап алгоритма (итерации) состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Положить $K = 0$, WG = да.

Шаг 2. Положить $K = K + 1$, $d_k = 1$. Если $K > m^*$, то идти к шагу 5.

Шаг 3. Выполнить процедуру генерации пар замещений на ярусе K ДЗ. Если $GEN = 0$, то идти к шагу 6, иначе идти к шагу 4.

Шаг 4. Выполнить процедуру исследования узла d_k ДЗ.

Если $IS = 0$, то идти к шагу 2. Если $IS = 1$, то идти к шагу 5.

Шаг 5. Выполнить процедуру восстановления параметров подграфа.

Положить $K = K - 1$. Если $K = 0$, то идти к шагу 7.

Иначе идти к шагу 6.

Шаг 6. Положить $d_k = d_k + 1$. Если $d_k > D_k$, то идти к шагу 5. Иначе идти к шагу 4.

Шаг 7. Выдать результат – подграф, характеризующий структуру оптимального плана S^*.

Представленный основной этап алгоритма строит дерево замещений (ДЗ), в каждом узле которого формируется вариант структуры плана S в виде подграфа G_p.

Размер ДЗ в значительной степени зависит от процедуры, выполняемой в шаге 3 алгоритма. Для уменьшения трудоемкости алгоритма необходимо стремиться к минимуму числа пар замещений на каждом ярусе ДЗ, обеспечивая при этом получение точного решения.

Введем следующее декартово произведение:

$$A_k = I_k \times J_k,$$

где I_k – множество дуг I_k в подграфе G_p, инцидентных вершине с полустепенью, большей соответствующей компоненты векторов $V_{ив}$ или $V_{зв}$; J_k – множество дуг $J_k e\ E \backslash E^0$, инцидентных вершин с полустепенью, меньшей соответствующей компоненты векторов $V_{ив}$ или $V_{зв}$.

Шаги 3, 4 и 5 алгоритма используют процедуры соответственно I, II, III.

Процедура I

Просматриваются вершины подграфа G_P в порядке возрастания их номеров с целью отыскания вершины, имеющей избыточную полустепень. Формируется множество I_k, выполняется аналогичный просмотр с целью отыскания вершины, имеющей недостаточную полустепень.

Генерируется множество пар замещений, которые упорядочиваются в порядке возрастания разности весов между добавляемой и удаляемой дугами. Число сгенерированных узлов на ярусе K ДЗ становится равным $\boldsymbol{D_k}$. Выйти из процедуры.

Процедура II

1. Если хотя бы одной из вершин подграфа значение полустепени выходит за пределы ограничений, то $IS = 0$. Выйти из процедуры. Иначе идти к 2. 1. Вычислить WP.

Если $WP<WG$, то $WG = WP$; $IS = 1$. Выйти из процедуры.

Иначе $IS = 0$.

Выйти из процедуры.

Вычисление WP в процедуре II выполняется путем дополнительного просмотра дуг, входящих в каждую исследуемую вершину ветви по списку E. Если τ_c дуги, исходящей из ближайшей вершины, окажется меньше, чем из более удаленной в строну корневой вершины, то при суммировании веса дуг для WP принимается большее значение.

Процедура III

Восстановить вес и полустепени подграфа путем добавления удаленной дуги и удаления добавленной дуги на ярусе $K = K + 1$.

Предложенный алгоритм позволяет точно решить задачу за конечное число шагов.

По завершении его работы получаем минимальный подграф, характеризующий структуру оптимального плана S^*. Найденный подграф может содержать от 1 до n – 1 ветвей. Внутри каждой ветви номер дуги соответствует номеру приоритета, а номер вершины – номеру β-плана.

Таким образом, подграф G_1 определяет такую очередность обслуживания пакетов требований, которая доставляет минимум функций цели (9).

Используя полученный при оптимизации подграф G и набор β-планов, соответствующих вершинам подграфа, формируем план S^* путем использования зависимости для каждой дуги внутри каждой ветви подграфа, начиная с корневой вершины.

Реализация такого алгоритма позволяет существенно снизить трудоемкость расчета плана S^* по сравнению с методами имитационного моделирования. Эффект снижения трудоемкости обусловлен, во-первых, декомпозицией задачи и, во-вторых, использованием метода замещений для отыскания подграфа сложной топологической структуры.

Таким образом, главным ограничением метода при решении основных задач синтеза РИИС ГПС является возможность минимизации функции цели типа (9), для более сложных функций цели необходимо применять либо сложные искусственные приемы, либо другие методы.

Решением задачи является граф с минимальной суммой длин дуг. Процесс решения задачи заключается в исследовательском преобразовании исходного (нулевого) графа до полного удовлетворения ограничений. Нулевой граф строится из n вершин и m ребер с минимальными весами.

Исходными данными для построения нулевого графа является матрица весов.

Алгоритм синтеза оптимального графа представлен на рис. 2.

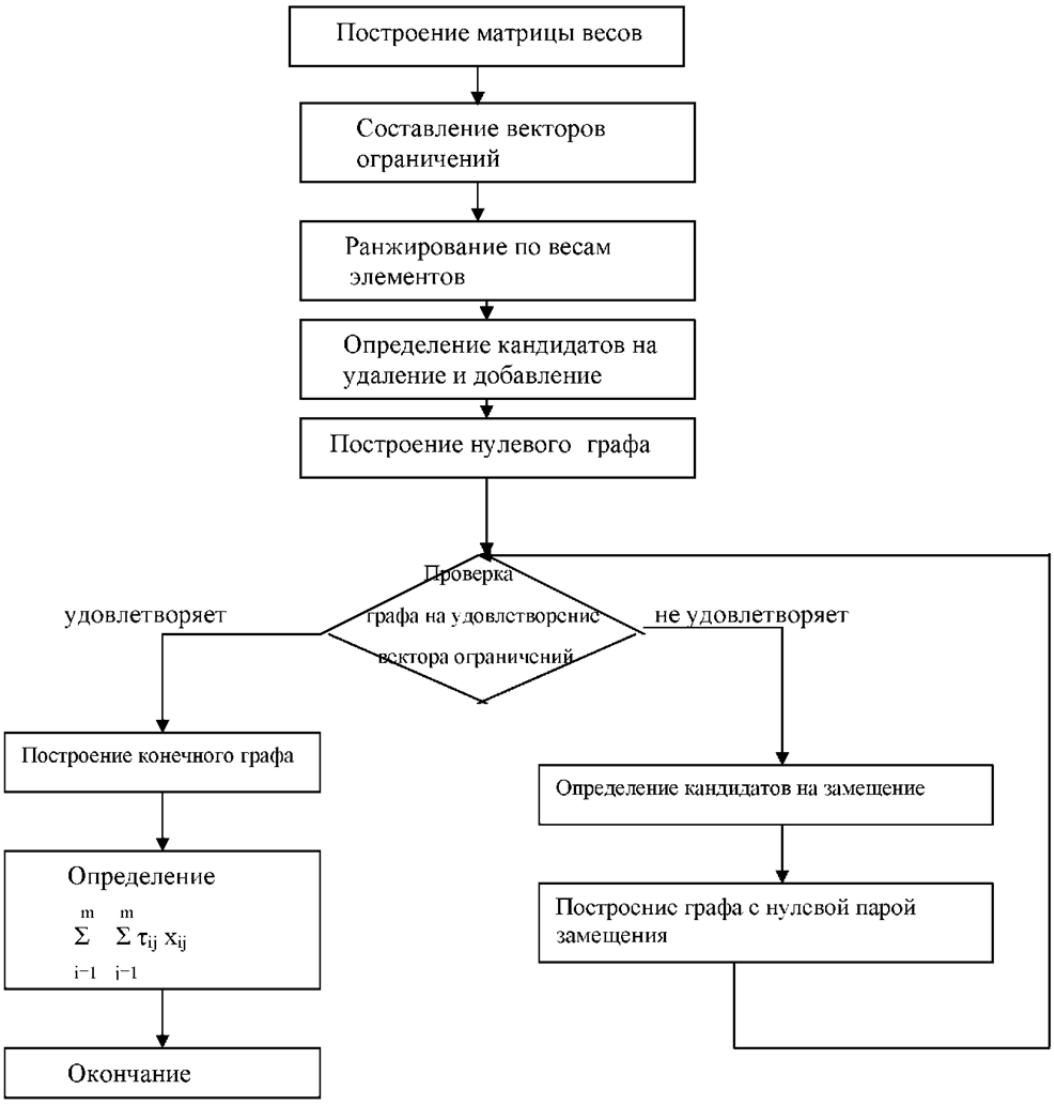


Рис. 2. Алгоритм синтеза оптимального графа

Важными являются вопросы составления матрицы весов и векторов ограничений. При разработке структуры РИИС ГПС вершинами графа являются элементы системы – устройства управления и датчики обратных связей, а ребрами – времена обмена информацией.

Время обмена информацией между i-м и j-м устройством определяется по формуле

$$\tau_{ij} = Q_i / C_{ij}, \tag{11}$$

где Q_i – объем передаваемой информации; C_{ij} – пропускная способность канала между устройствами i и j.

Все величины Q_i и C_{ij} определяются исходя из характеристик устройств управления и технологического процесса ГПС. При разработке алгоритма обмена информацией между устройствами управления и датчиками, вершинами графа являются датчики, а ребрами – совмещенные времена передачи информации между устройствами, определяемые по формуле (11) на базе диаграмм Гаммта [4].

Таким образом, для решения задач, возникающих при автоматизации современных технологических процессов и производств, характеризующихся сложными комбинаторными структурами с множеством временных, пространственных, ресурсных, экономических и иных ограничений, необходимо использовать единое методическое обеспечение на базе метода замещений [7].

Разработанный метод решения широкого класса оптимизационных и комбинированных задач из графов, метод замещений, позволяет решить ряд задач, не решаемых существующими методами (метод ветвей и границ, динамическое программирование, венгерский метод), а также повысить эффективность вычислительных процедур.

Список литературы

1. Горшков, А. Ф. Метод замещений / А. Ф. Горшков. – М. : КноРус, 2004. – 184 с.
2. Пуховский, Е. С. Технология гибкого автоматизированного производства / Е. С. Пуховский, Н. Н. Мясников. – Кіев : Техніка, 1989. – 207 с.
3. Юрков, Н. К. Модели и алгоритмы управления интегрированными производственными комплексами : моногр. / Н. К. Юрков. – Пенза : Информационно-издательский центр ПГУ, 2003. – 198 с.
4. Юрков, Н. К. К проблеме концептуального анализа интегрированных производственных комплексов / Н. К. Юрков // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2005. – С. 74–78.
5. Оре, О. Теория графов / О. Оре. – М. : Наука, 1980. – 336 с.
6. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, роботизированные комплексы : в 14 кн. / под ред. Б. И. Черпакова. – М. : Высш. шк., 1989. – Кн. 10. Гибкие автоматические линии массового и крупносерийного производства. – 111 с.
7. Юрков, Н. К. Лабораторный комплекс в архитектуре ИКОС как основа формирования умений / Н. К. Юрков, И. Д. Граб, А. В. Затылкин, Н. В. Горячев, В. Б. Алмаметов, В. Я. Баннов, И. И. Кочегаров // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2008. – Т. 1. – С. 213–215.

УДК 519.673

Васильев, А. М.

Оптимизация структур распределенных информационно-измерительных систем гибких автоматизированных производств методом парных замещений / А. М. Васильев, А. П. Смоляков // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 3. – С. 8–15.

Васильев Андрей Михайлович
кандидат технических наук,
старший преподаватель,
Московский государственный университет
приборостроения и информатики,
107996, Россия, г. Москва, ул. Стромынка, 20.
E-mail: mgupipr1@mail.ru

Смоляков Андрей Петрович
кандидат технических наук,
заместитель директора
Государственный научно-исследовательский
институт информационных технологий
и телекоммуникаций «Информика»,
125009, Россия, г. Москва,
Брюсов переулок, дом 21, строение 2
+7 (495) 969-26-17.
E-mail: sap@informika.ru

Vasil'ev Andrey Mikhaylovich
candidate of technical scienses, senior teacher,
Moscow State University
of instrument making and computer science,
107996, 20 Stromynka street, Moscow, Russia.
E-mail: mgupipr1@mail.ru

Smolyakov Andrey Petrovich
candidate of technical scienses,
deputy director of the State Research Institute
of Information Technology
and Telecommunications «Informika»,
125009, building 2, 21 Bryusov lane, Moscow, Russia
+7 (495) 969-26-17.
E-mail: sap@informika.ru

Аннотация. В настоящей статье рассмотрена задача оптимизации структур распределенных информационно-измерительных систем. Дано математическое описание решения рассматриваемой задачи. Показано, что поставленная задача не может быть решена классическими алгоритмами, например, основанными на методе ветвей и границ, поскольку конструи-

Abstract. In the present article the problem of optimisation of structures of the distributed information-measuring systems is considered. The mathematical description of the decision of a considered problem is given. It is shown that the task in view cannot be solved classical algorithms, for example, based on a method of branches and borders as designing of a tree of decisions

рование дерева решений потребует столько модификаций алгоритмов, сколько изоморфизмов будут содержать возможные структуры искомых подграфов (корневых деревьев). Для решения этой задачи предложено использовать алгоритм, основанный на методе замещений. Установлено, что реализация такого алгоритма позволяет существенно снизить трудоемкость расчетов по сравнению с другими известными методами.

Ключевые слова: распределенные информационно-измерительные системы, оптимизация, гибкие автоматизированные производства, метод парных замещений, графы.

will demand so much updatings of algorithms, how many изоморфизмов will contain possible structures of required subgraphs (root trees). For the decision of this problem it is offered to use the algorithm based on a method of replacements. It is established that realisation of such algorithm allows to lower essentially labour input of calculations in comparison with other known methods.

Key words: the distributed information-measuring systems, optimisation, the flexible automated manufactures, a method of pair replacements, columns.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

УДК 621.316.867:539.216

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В СЛОИСТЫХ СТРУКТУРАХ РЭС ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ[1]

А. Н. Литвинов, Н. К. Юрков

Введение

Одной из важнейших задач развития научных основ конструирования и технологии изготовления блоков и изделий современных радиоэлектронных средств (РЭС) является создание адекватных прикладных моделей, описывающих поведение конструкций и их отдельных элементов в процессе производства и эксплуатации [1, 2].

Системный анализ конструкций РЭС показывает, что большинство изделий, блоков и их элементов являются гетерогенными структурами, подвергаемыми внешним воздействиям. За счет изменения их напряженно-деформированного состояния (НДС) происходят изменение основных электропараметров РЭС, ухудшение метрологических характеристик, снижение их надежности, а в ряде случаев – частичный или полный отказ в результате разрушения отдельных элементов [3–5]. При этом основными являются динамические и температурные воздействия, возникающие в ходе выполнения различных технологических операций в производстве [1], при испытаниях и в процессе эксплуатации изделий в широком диапазоне тепловых и вибрационных нагрузок.

Анализ технологических процессов показывает, что существующие модели не в полной мере учитывают явления и процессы, происходящие в гетерогенных структурах изделий, и нуждаются в уточнении и совершенствовании [5].

1. Классификация моделей для исследования процессов в слоистых структурах

В обобщенном виде модели гетерогенных структур можно разделить на три укрупненных класса:

– многослойные структуры;

– композиты;

– структуры с приведенными характеристиками.

[1] Работа выполнена в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы», государственный контракт № 14.514.11.4078 «Создание методологических основ обнаружения и локализации латентных технологических дефектов бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов методами неразрушающего контроля и диагностики на этапах производства».

1.1. Многослойные структуры. Модели этого типа основаны на механике многослойных сред. Существенной особенностью является то, что в большинстве работ по исследованию НДС многослойных конструкций отсутствует четкая классификация отдельных слоев конструкций. По-нашему мнению, наиболее общей следует считать классификацию, основанную на энергетической оценке НДС слоев, введенную академиком В. В. Болотиным [3].

Рассмотрим классификацию однородных изотропных слоев и их характерные свойства:

– жесткий слой – выполняются гипотезы Кирхгофа–Лява;

– мягкий слой – работает только на сдвиг;

– трансверсально-мягкий слой – существенными компонентами тензора деформаций являются деформации сдвига и трансверсальные деформации, нормальные к серединной поверхности слоя;

– слой средней жесткости – расчет НДС необходимо вести по уточненной сдвиговой теории С. П. Тимошенко;

– толстый слой – расчет НДС необходимо вести по теории толстых плит;

– идеально мягкий слой – слой, не обеспечивающий жесткой связи между соседними слоями. При деформации всего слоистого пакета происходит проскальзывание между соседними слоями.

В зависимости от характеристик и классификации отдельных слоев применяемая многослойная модель достаточно точно, в рамках принятых гипотез, описывает НДС и процессы, происходящие в тонких и толстых элементах конструкций. При расчете многослойных оболочек эта модель учитывает изменение метрики при переходе от слоя к слою, что позволяет достаточно точно дать математическое описание НДС каждого слоя.

1.2. Композиты широко применяются в авиа- и ракетостроении и классифицируются по структуре: слоистые, волокнистые, наполненные и т.п. В тех случаях, когда они являются слоистыми, некоторые слои могут быть анизотропными. В этом случае, если выполнить переход от анизотропных слоев к изотропным с приведенными характеристиками, можно использовать классификацию слоев В. В. Болотина и строить модели по принципу многослойной структуры. В остальных случаях для анализа НДС таких конструктивных элементов в зависимости от структуры композита используются математические модели, изложенные в [6, 7]. В настоящее время интенсивно ведутся разработки математических моделей по описанию НДС и созданию нанокомпозитов с заданными и управляемыми в процессе эксплуатации физико-механическими свойствами.

1.3. Структуры с приведенными характеристиками. Модели, основанные на переходе от неоднородной (многослойной, волокнистой и т.п.) структуры к однородной с приведенными физико-математическими характеристиками, широко применяются в инженерной практике [6, 7]. Первые работы в этом направлении принадлежат Фойхту и Рейссу, которые предложили проводить осреднение физико-механических свойств по объему, которые описываются прямыми или обратными тензорами второго, третьего или четвертого рангов. Формулы, полученные Фойхтом и Рейссом для приведенных модулей упругости $E_ф$ и $E_р$, являются оценками сверху и снизу соответственно, и выполняется условие $E_р < E_{пр} < E_ф$. Здесь $E_{пр}$ – приведенный модуль.

Различные модели и критерии для определения приведенных характеристик слоистых и композиционных структур приведены в работах [8, 9], где в отличие от подходов Фойхта и Рейсса осреднение производится в сочетании с принятием дополнительных гипотез о полях напряжений, деформаций и перемещений, а также с учетом конструктивных особенностей рассматриваемой неоднородной структуры.

Модели, основанные на определении приведенных физико-механических характеристик эквивалентной упругой или вязкоупругой диссипативной системы, являются весьма перспективными для выполнения практических расчетов и моделирования НДС при динамических и тепловых процессах в сложных неоднородных структурах. При этом существенной особенностью таких моделей является то, что в ряде случаев оказывается возможным получение аналитических решений для систем, подверженных внешним воздействиям.

В работе [10] предложена математическая модель определения приведенных характеристик многослойных систем, основанная на том, что геометрические размеры исходной и приведенной конструкций приняты одинаковыми, а аналитические выражения для приведенных физико-механических характеристик получены из условия обеспечения одинаковой жесткости обеих конструкций. Предложенная модель может применяться как ко всей слоистой конструкции, так и к ее части. Например, если на несущей плате, панели или оболочке расположены внешние и внутренние многослойные покрытия [3], то любое из этих покрытий или сразу оба можно заменить однородными покрытиями с приведенными характеристиками при сохранении их геометрических размеров. В этом случае конструкция приводится к трехслойной системе.

Так как при вычислении приведенных характеристик учитываются геометрические характеристики и НДС каждого слоя, то в рамках этой модели возможен переход к однослойной конструкции с приведенными характеристиками для всего многослойного пакета (покрытия и несущая конструкция). В этом случае будет получено приближенное решение для НДС всех слоев.

Обобщая приведенный анализ, укажем на то, что применение математических моделей, основанных на многослойных структурах, позволяет более адекватно исследовать НДС в слоистых структурах изделий на этапах их изготовления и эксплуатации.

В каждом из типов моделей рассматриваются более частные уровни моделей:

– стержни (балки);

– пластины различной конфигурации в плане (прямоугольные, круглые и т.п.);

– панели (часть замкнутых оболочек различной конфигурации);

– оболочки (цилиндрические, конические и др.);

– полупространство (решение чаще всего сводится к плоской задаче теории неоднородной упругости);

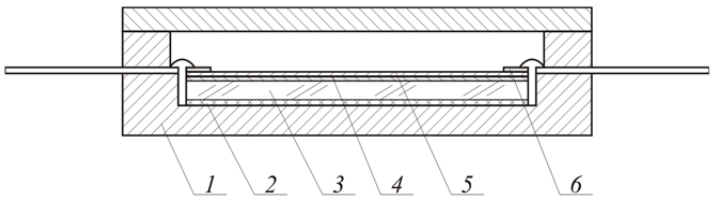
– массивное тело (решается трехмерная задача теории упругости, например, блоки РЭС, содержащие несколько плат, залитых компаундами и т.п.).

Указанные модели могут быть представлены для математического моделирования тепловых и динамических процессов, происходящих в различных элементах конструкций РЭС, датчиковой аппаратуры, электронных блоков взрывателей, микросборок различного назначения [11–15].

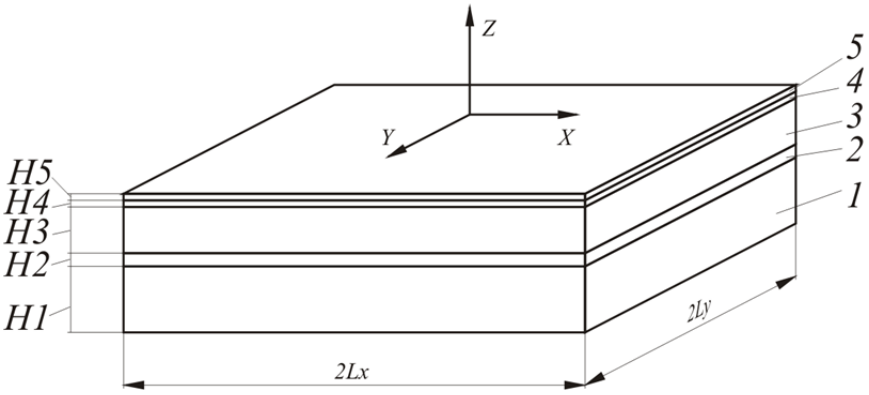
Выбор расчетной математической модели определяется свойствами исследуемой конструкции или ее элемента (одномерная, двумерная, трехмерная модель; особенности геометрии и т.п.) и требуемой точностью исследования НДС в конструкции [16]. Применение математических моделей, алгоритмов расчета и комплекса моделирующих программ позволяет на ранних этапах проектирования изделий обеспечивать требуемый уровень их вибро- и теплоустойчивости, научно обоснованно разрабатывать технологические процессы их изготовления и испытаний, а также анализировать возможные виды отказов изделий [17–20].

2. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния слоистой платы при тепловом воздействии

В качестве примера рассмотрим плоскую пятислойную плату микросхемы частного применения. В качестве расчетной принята двухмерная многослойная модель в виде прямоугольной пластины (рис. 1).



а)



б)

Рис. 1. Конструкция микросхемы (*а*) и расчетная схема (*б*):
1 – основание; *2* – клеевой шов; *3* – подложка;
4 – резистивный слой; *5* – защитный слой; *6* – контакты

Для прогнозирования термомеханических напряжений в плоских соединениях из разнородных материалов в работе [12] представлен алгоритм их расчета, в котором учитываются физико-механические характеристики материалов слоев, их геометрические размеры, изменение температуры по слоям, а также наличие клеевых и паяных слоев, работающих на сдвиг. С учетом изменения параметров слоев проведен анализ изменения термомеханических напряжений на поверхности подложки, где расположены резистивные элементы. Проведенные численные исследования показали хорошую сходимость разработанного алгоритма расчета и совпадение расчетных значений термомеханических напряжений и напряжений, определенных экспериментальным путем на тестовых моделях, соответствующих реальным конструкциям микросхем. Показано существенное влияние термомеханических напряжений на изменение сопротивления и дифференциальную нелинейность наборов тонкопленочных резисторов (ТПР) [4].

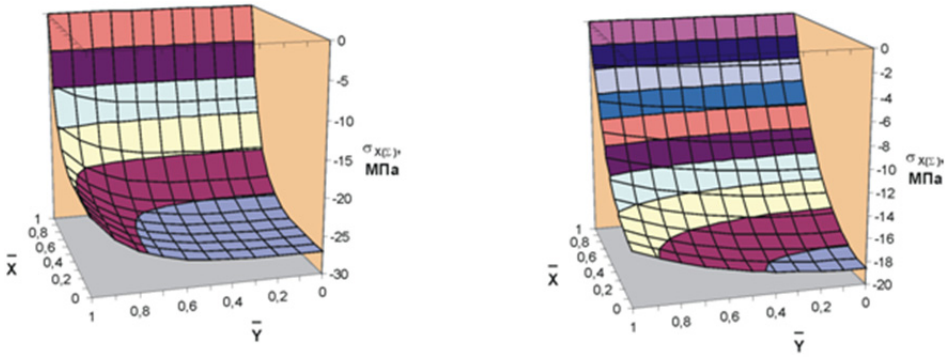
Для внедрения в инженерную практику на языке Visual Basic в среде Microsoft Excel 2000 разработан программный комплекс, реализующий алгоритм расчета НДС в слоях платы при тепловых воздействиях. Программа имеет несколько режимов работы, на основании которых на печать выводится графическое изображение результатов расчета термомеханических напряжений и деформаций, действующих в любом слое и на любой поверхности в рассматриваемой конструкции [16].

В качестве материала основания рассматривались пресс-материал АГ-4В, ковар 29НК, керамика ВК-99. Материал обложки – ситалл СТ50-1. Расчеты выполнены для различия значений модуля сдвига клеевого шва G = 50.500 МПа при толщинах $H2$ = 0,1 мм, что соответствует применению «мягких» (типа «Виксинт У2-28») и «жестких» (типа ВК-9) клеев. Некоторые результаты исследования распределения термомеханических напряжений по поверхности подложки с размерами $L_x \times L_y$ = (7,5 × 4) мм² приведены на рис. 2–4 при условии, что температура всей конструкции равна 125 °С. В силу симметрии эпюры термомеханических напряжений представлены для четверти поверхности платы в безразмерных координатах $\bar{x} = x/L_x$; $\bar{y} = y/L_y$. Начало координат расположено в центре платы (см. рис. 1,*б*). При расчетах для напряжений приняты следующие обозначения:

$$\sigma_{x(\Sigma)} = \sigma_{x+}\sigma_{x(u)}; \ \sigma_{y(\Sigma)} = \sigma_y + \sigma_{y(u)},$$

где σ_x, σ_x – напряжения от растяжения (сжатия) в направлении осей x и y; $\sigma_{x(u)}$, $\sigma_{y(u)}$ – напряжения от изгиба слоев; $\sigma_{x\,(\Sigma)}$, $\sigma_{y(\Sigma)}$ – результирующие термомеханические напряжения, возникающие в жестких слоях слоистой конструкции ТПР. Термомеханические относительные деформации в слоях рассчитываются в соответствии с обобщенным законом Гука. Необходимые пояснения приведены в подрисуночных надписях.

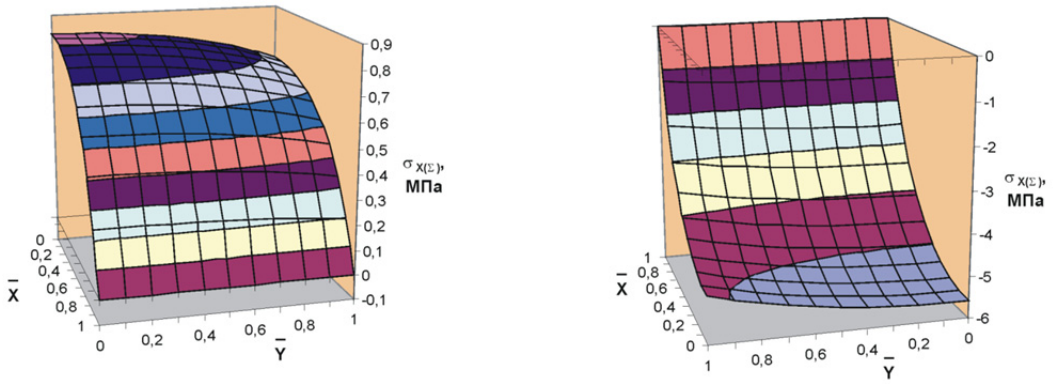
На рис. 2 показаны распределения напряжений на верхней поверхности подложки в зависимости от жесткости клеевого шва. При уменьшении его жесткости напряжения уменьшаются, а их распределение по поверхности платы, где расположены резистивные элементы, становится более равномерным, что приводит к стабилизации электропараметров ТПР и стабилизации метрологических характеристик микросхемы в целом. На рис. 3 показано распределение напряжений по поверхности подложки в зависимости от материала основания.



а) *б*)

Рис. 2. Напряжения $\sigma_{x(\Sigma)}$ на верхней поверхности подложки.

Материал основания – АГ-4В: *а* – G = 500 МПа; *б* – G = 50 МПа



а) *б*)

Рис. 3. Напряжение $\sigma_{x(\Sigma)}$ для материала основания:
а – 29НК; *б* – керамика ВК-99

На рис. 4 приведены зависимости напряжений $\sigma_{x(\Sigma)}$ от толщины подложки.

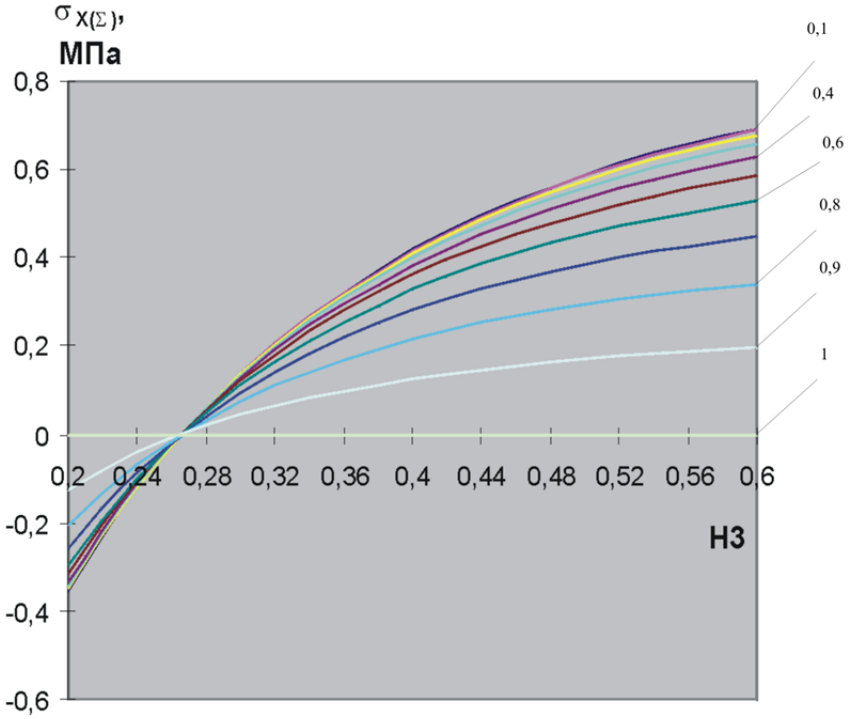


Рис. 4. Максимальные напряжения $\sigma_{x(\Sigma)}$ на верхней поверхности подложки при $y = 0$ для материала основания 29НК

Как следует из анализа рис. 4, оптимальная толщина подложки, при которой в рассматриваемой конструкции ТПР термомеханические напряжения равны нулю, составляет H_3 = 0,265 мм. Цифрами на графиках показаны значения безразмерной координаты $\bar{x}$, которая изменяется от 0 до 1. Это позволяет обосновать проектные решения при разработке РЭС ответственного назначения.

Выводы

Численное исследование по моделированию НДС большого числа типоразмеров микросборок, содержащих многослойные платы, показало, что для обеспечения их стабильных метрологических характеристик в процессе эксплуатации на технологических операциях изготовления необходимы обязательный контроль толщины клеевого шва и применение более мягких клеев.

При конструировании толстых плат в зависимости от применяемых размеров и материалов слоев следует выбирать их оптимальные геометрические параметры, обеспечивающие минимизацию и более равномерное распределение термомеханических напряжений в зонах расположения тензорезистивных элементов. Кроме того, необходимо научно обоснованно выбирать максимально допустимое давление технологической опрессовки корпусов микросборки, которое существенно влияет на НДС слоев плат [3] и электропараметры микросборки.

Применение математического моделирования НДС сложных конструкций изделий на основе предложенных моделей позволяет на ранних этапах их проектирования за счет конструкторско-технологических решений создавать микросборки с повышенной точностью, термостабильностью и надежностью в требуемом эксплуатационном режиме.

Список литературы

1. Юрков, Н. К. Технология радиоэлектронных средств : учеб. / Н. К. Юрков. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – 640 с.
2. Гладкий, С. Л. Интеллектуальное моделирование физических проблем / С. Л. Гладкий, Н. А. Степанов, Л. Н. Ясницкий. – М. ; Ижевск : НИЦ «Регуляция и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2006. – 200 с.
3. Литвинов, А. Н. Прикладные модели механики гетерогенных структур изделий приборостроения : моногр. / А. Н. Литвинов, М. А. Литвинов, В. В. Смогунов ; под ред. В. В. Смогунова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2009. – 320 с.
4. Лугин, А. Н. Экспериментальные исследования влияния термомеханических напряжений и ТКС тонкопленочных резисторов / А. Н. Лугин, А. Н. Литвинов, Н. В. Волков // Электронная промышленность. – Деп. № Р- 5512. 2001. – С. 28.
5. Литвинов, А. А. Тонкопленочные наборы резисторов при тепловых воздействия / А. Н. Лугин, А. Н. Литвинов, М. М. Оземша // Петербургский журнал электроники. – 2001. – № 1. – С. 40–46.
6. Композиционные материалы в ракетно-космическом аппаратостроении / Г. П. Гардымов [и др.]. – СПб. : Спец. лит., 1999. – 217 с.
7. Бардзокас, Д. И. Математическое моделирование физических процессов в композиционных материалах периодической структуры / Д. И. Бардзокас, А. И. Зобнин. – М. : Едиториал УРСС, 2003. – 376 с.
8. Сендецки, Дж. Механика композиционных материалов / Дж. Сендецки. – М. : Мир, 1978. – 567 с.
9. Фокин, А. Г. Эффективные модули упругости композита, составленные из анизотропных слоев / А. Г. Фокин, Т. Д. Шернегор // Механика полимеров. – 1975. – № 3. – С. 408–413.
10. Литвинов, А. Н. Модель для расчета эффективных характеристик слоистых структур / А. Н. Литвинов, Д. В. Артамонов // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – М. : МИЭМ НИУ ВИРЭ, 2012. – С. 190–195.
11. Литвинов А. Н. Термомеханические напряжения в плоских ИС / А. Н. Лугин, А. Н. Литвинов // Петербуржский журнал электроники. – 1998. – № 2. – С. 46–51.
12. Литвинов, А. Н. Уточненный расчет термомеханических напряжений в платах ИС / А. Н. Литвинов // Новые проникающие технологии. – М. : ЦНИИатоминформ, 2001. – № 6 (299). – С. 8–9.
13. Литвинов, А. Н. Тепловой расчет чувствительного элемента датчика давления / А. Н. Литвинов // Новые проникающие технологии. – М. : ФГУП «ЦНИИЛОГ» Росатом, 2009. – № 6. – С. 15–48.
14. Литвинов, А. Н. Анализ НДС корпусов микросборок в процессе производственно – технологического цикла их изготовления / А. Н. Литвинов, М. А. Ливнев // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. – М. : МИЭМ, 2010. – С. 248–250.
15. Литвинов, А. Н. Проектирование термостабильных круглых многослойных упругих элементов / А. Н. Литвинов // Методы и средства измерения в системах контроля и управления : тр. Междунар. конф. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2002. – С. 33–35.
16. Свидетельство об оригинальной регистрации программы для ЭВМ № 2005612/65-2005. Расчет НДС конструкции тонкопленочных резисторов «DefoRM» / А. Н. Лугин, А. Н. Ливнев, М. Н. Озенала, М. А. Литвинов. – М., 2005.
17. Моделирование нестационарных тепловых полей электрорадиоэлементов / Н. К. Юрков, В. Б. Алмаметов, А. В. Авдеев, А. В. Затылкин, Г. В. Таньков, В. Я. Баннов // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2010. – Т. 2. – С. 446–449.
18. Юрков, Н. К. Имитационное моделирование технологических систем : учеб. пособие / Н. К. Юрков. – Пенза : Изд-во ППИ, 1985. – 71 с.

19. Юрков, Н. К. Моделирование температурного градиента индукции в зазоре магнитной системы обратных преобразователей акселерометров / Н. К. Юрков, Д. А. Скаморин // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2008. – Т. 1. – С. 398–400.
20. Юрков, Н. К. Математическое моделирование конструкций РЭС в электронной среде / Н. К. Юрков, В. Б. Алмаметов, И. И. Кочегаров // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2002. – № 3. – С. 41–43.

УДК 621.316.867:539.216

Литвинов, А. Н.

Моделирование напряженно-деформированного состояния в слоистых структурах РЭС при технологических и эксплуатационных воздействиях / А. Н. Литвинов, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 3. – С. 16–22.

Литвинов Александр Николаевич
доктор технических наук, профессор,
кафедра теоретической и прикладной механики,
Пензенский государственный университет
440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40.
(8412) 36-82-75
E-mail: litvinov@pnzgu.ru

Юрков Николай Кондратьевич
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40.
(841-2) 56-43-46
E-mail: yurkov_NK@mail.ru

Litvinov Aleksandr Nikolaevich
doctor of technical scienses, professor,
sub-department of theoretical and applied mechanics,
Penza State University
440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia
(841-2) 36-82-75
E-mail: litvinov@pnzgu.ru

Yurkov Nikolay Kondrat'evich
doctor of technical science, professor,
head of sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia
(841-2) 56-43-46
E-mail: yurkov_NK@mail.ru

Аннотация. В работе обосновано применение адекватных прикладных моделей к анализу сложных радиоэлектронных средств ответственного назначения, многие элементы которых имеют слоистую структуру (или могут быть сведены к ней). Дается анализ применяемых математических моделей для моделирования напряженно-деформированного состояния в слоистых элементах радиоэлектронных средств ответственного назначения при внешних воздействиях на этапах их производства и эксплуатации. Показано, что существующие модели не в полной мере учитывают явления и процессы, происходящие в гетерогенных структурах изделий, и нуждаются в уточнении и совершенствовании. Рассмотрен пример моделирования напряженно-деформированного состояния многослойной структуры микросборки при тепловых воздействиях.

Ключевые слова: модель, многослойная структура, напряженно-деформированное состояние, внешнее воздействие.

Abstract. The application of adequate models application to the analysis of complex radio-electronic means of responsible destination, many of the elements which have a layered structure (or can be reduced to it). The analysis of mathematical models for simulation of stress-strain State in layered elements of radioelectronic facilities responsible assignments with external influences throughout their production and operation. Shows that the existing models do not fully take into account the phenomena and processes occurring in heterogeneous product structures, and need to be clarified and improved. An example of modeling of stress-strain State of multilayer structure by thermal effects.

Key words: model, multi-layer structure, the stress-strain State, external impact.

УДК 629.12.04

СТРУКТУРА ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А. В. Саушев

Введение

Процесс управления состоянием технических систем включает в свой состав целый комплекс задач анализа и синтеза, имеющих место на различных этапах и стадиях их жизненного цикла. Долгое время эти задачи применительно к электротехническим системам (ЭТС) рассматривались изолированно и независимо одна от другой, хотя при более общем взгляде все они оказываются тесно связанными. Объединяющим началом является то, что их решение сводится к изучению целенаправленных и случайных процессов изменения структуры и параметров элементов ЭТС, определяющих качество их работы, и способу и принципам управления этим процессом. Согласно функционально-структурному анализу любая техническая система реализует целевую, основные и дополнительные функции. Их воспроизведение осуществляется совокупностью некоторых элементов, объединенных в соответствующую структуру. При взаимодействии элементов системы можно выделить процессы преобразования вещества, энергии и информации.

Функциональный анализ электротехнических систем

Под электротехнической системой с информационно-энергетической точки зрения будем понимать такую техническую систему, основным носителем информации и видом энергии в которой является электрическая энергия.

С функциональной и морфологической точек зрения под ЭТС будем понимать упорядоченную совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих электротехнических устройств, образующих единое функциональное целое, предназначенное для решения определенной задачи. При этом согласно ГОСТ18311-80 под электротехническим устройством понимается устройство, предназначенное для производства, преобразования, распределения, передачи и использования электрической энергии или для ограничения возможности ее передачи.

Любое электротехническое устройство (ЭТУ) с системных позиций также состоит из совокупности связанных между собой элементов. Отдельные элементы – это части или компоненты ЭТУ, предназначенные для выполнения определенных функций и не подлежащие дальнейшему разбиению на части. Понятие элемента является весьма условным, и «расчленение» ЭТУ на элементы может быть произведено неоднозначно [1–3].

При изучении поведения электротехнических систем во времени последние обычно рассматриваются как динамические системы, т.е. системы, находящиеся в каждый момент времени в одном из возможных состояний и способные переходить из одного состояния в другое под действием внешних и внутренних причин. Чтобы учесть внешние причины, необходимо раскрыть процесс взаимодействия динамической системы и внешней среды.

Рассматривая ЭТС с позиций теории управления, можно заключить, что на ее входах и выходах наблюдаются следующие переменные: $u(t)$ – вектор входных (задающих) воздействий; $V(t)$ – вектор возмущающих (координатных и параметрических) воздействий; $Z(t)$ – вектор фазовых переменных (переменных состояния); $Y(t)$ – вектор выходных переменных, характеризующих качество работы системы.

Анализ показывает [1], что в состав всех видов ЭТС входят ЭТУ, которые отличает большое схемное разнообразие, а также широкое использование для их построения полупроводниковых элементов и микросхем. Реальные условия эксплуатации ЭТС приводят к изменению значений их

внутренних параметров. Установлено, что обратимые и необратимые изменения этих параметров могут достигать в процессе эксплуатации значительных величин [4]. Основной причиной изменения параметров элементов является их зависимость от температуры и влажности. Для активных элементов также имеет значение режим работы устройства.

Параметрические возмущения служат препятствием в обеспечении системой требуемых показателей качества и приводят к следующему виду дифференциального уравнения движения систем:

$$(\mathbf{A}+\Delta\mathbf{A})\dot{\mathbf{u}}(t)=(\mathbf{B}+\Delta\mathbf{B})\mathbf{Z}(t)+(\mathbf{C}+\Delta\mathbf{C})\mathbf{V}(t),$$

где **A**, **B**, **C** – матрицы коэффициентов.

Краткий функционально-структурный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. ЭТС в большинстве случаев можно рассматривать как системы автоматического управления (САУ) или автоматические управляющие устройства, объектом управления которых являются электрические машины или рабочие машины технологических установок.

2. Характерной особенностью ЭТС является их сложность, большое схемное разнообразие, в ряде случаев автономность работы, изменчивые условия эксплуатации, наличие нескольких выходных и большого числа внутренних параметров.

3. Координатные и параметрические возмущения, имеющие место при эксплуатации ЭТС, приводят к изменению требуемых значений их показателей качества, а также к постепенным отказам ЭТУ, доля которых составляет 30–70 % от общего числа отказов.

4. Большинство ЭТС относится к числу квазистационарных динамических систем, параметры состояния которых изменяются медленно в сравнении со скоростью протекания рабочих процессов.

Понятия и определения

Анализ поведения ЭТС во времени приводит к необходимости определения категории «состояние». В настоящее время отсутствует строгое определение этого понятия. Наиболее широко применительно к техническим объектам распространены две точки зрения. Согласно первой из них состояние рассматривается как совокупность свойств объекта в некоторый момент времени. Так, например, определяется стандартом категория «техническое состояние». Согласно второй точке зрения состояние определяется как совокупность количественных значений параметров, описывающих объект, и качественных признаков объекта. Из первого определения следует, что возможны такие моменты времени, при которых состояние объекта не изменяется. Второе определение выделяет и абсолютизирует лишь гносеологический аспект этой категории, что, например, приводит к трудности при его использовании для систем, поведение которых не описывается однозначным образом. Категория «состояние» тесно связана с категорией «свойство», которая характеризует особенность ЭТС с какой-либо одной стороны.

В соответствии с функционально-структурным подходом будем различать внутренние (материально-структурные) и внешние (функциональные) свойства ЭТС, которые количественно характеризуются соответственно ее внутренними и выходными параметрами [1]. В общем случае каждый системный элемент на любом уровне иерархии характеризуется набором собственных свойств различной физической природы. Свойства существуют объективно, в силу существования ЭТС, независимо от субъективных условий и требований их обнаружения и оценки. К основным свойствам при этом относятся: электромагнитные, механические, тепловые, геометрические, физико-химические свойства образующих материалов и функциональные. Первые пять групп свойств проявляются при материализации функциональных свойств.

В общем случае категория «состояние» должна отражать совокупность внутренних свойств системы, интенсивность их проявления в различные моменты времени, а также фиксировать процесс развития. Дадим следующее определение этому понятию.

Состояние – внутренняя определенность ЭТС, характеризуемая в рассматриваемый момент времени признаками, установленными технической документацией на ЭТС, которые являются начальными условиями процессов их дальнейшего изменения.

Совокупность внутренних свойств ЭТС и их характеристик в некоторый фиксированный момент времени определяет внутреннее или, что то же, материально-структурное состояние, которое, в свою очередь, характеризуется сочетанием состояния комплектующих элементов ЭТС и его коммутационного состояния. Совокупность функциональных свойств и выходных параметров ЭТС в некоторый фиксированный момент времени определяет его функциональное состояние. Состояние среды определяет режим работы ЭТС и может быть представлено двумя группами: режимом работы (в узком смысле) и состоянием условий использования, которые определяются атмосферными условиями, степенью «нагруженности» элементов, качеством технического обслуживания и ремонта и т.п.

Рассмотренные множества состояний ЭТС взаимосвязаны и позволяют объяснить и обосновать многообразие различаемых в эксплуатации видов технического состояния [1].

Модель эволюции состояния электротехнических систем

В самом общем случае модель эволюции состояния ЭТС должна отражать количественные и качественные изменения, которые происходят в его элементах во всех возможных режимах работы с момента начала эксплуатации до наступления предельного состояния. Представим эту модель в виде графа (рис. 1) с конечным набором состояний, общее число которых определяется технической возможностью или заданной точностью распознавания двух смежных состояний. Для раскрытия сущности эволюции состояния ЭТС следует выделять структурные и параметрические возмущения.

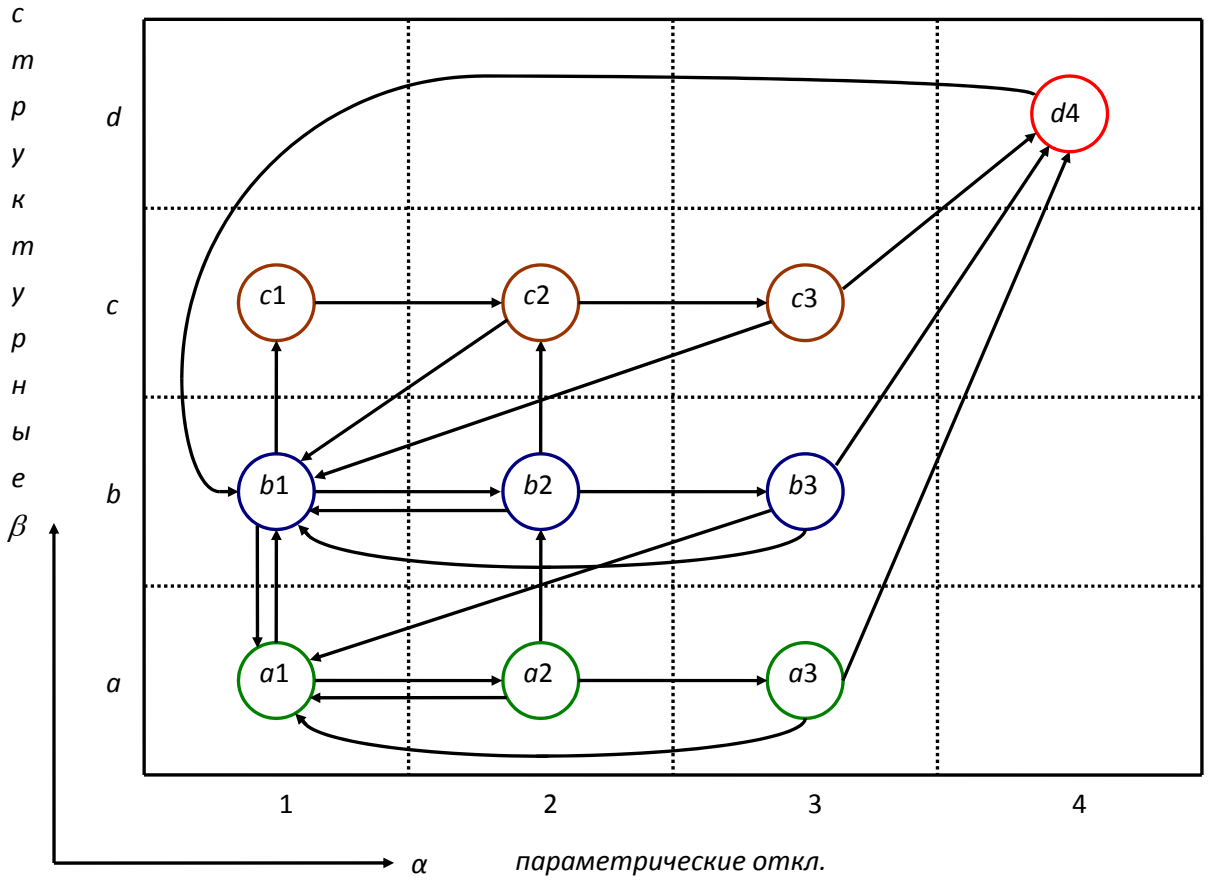


Рис. 1. Граф эволюции состояния электротехнической системы

Параметрические возмущения обусловлены непрерывным изменением интенсивности свойств комплектующих элементов ЭТС вследствие их старения, износа и действия внешних возмущающих воздействий. Эти возмущения приводят к непрерывному накоплению параметриче-

ских отклонений и, как следствие, к изменению запаса работоспособности ЭТС, каждому уровню которого в соответствии с заданной дискретностью ставится определенное состояние.

Структурные возмущения в отличие от параметрических возмущений приводят к накоплению структурных отклонений и, как следствие, к потере одного или нескольких свойств комплектующих элементов ЭТС, что отражается на изменении структуры ЭТС и в конечном счете приводит к ее внезапному отказу.

Представленный на рис. 1 граф дополняет установленные стандартом виды технических состояний. Рассмотрим эти состояния:

$\{a1\}$ – множество исправных состояний, различающихся объемом накопленных параметрических отклонений, которым соответствуют различные уровни $\rho_0, \rho_1, \ldots, \rho_{d-1}$ запаса работоспособности ЭТС;

$\{b1\}$ – множество работоспособных состояний, которые в общем случае различаются объемом накопленных параметрических и структурных отклонений. Различный объем структурных накоплений может иметь место, например, в ЭТС с резервированием;

$\{c1\}$ – множество состояний правильного функционирования, различающихся объемом накопленных параметрических и структурных возмущений в ЭТУ;

$\{a2\}$ – множество состояний ЭТС, при которых ни в одном режиме работы не выполняются внешние условия работоспособности системы. ЭТС выполняет свою основную функцию, но один или несколько показателей качества находятся за допустимыми пределами. Вместе с тем в ЭТС отсутствуют структурные отклонения, и как следствие – внезапный отказ;

$\{b2\}$ – множество состояний, отличающихся от множества $\{a2\}$ тем, что в ЭТС имеют место структурные отклонения, которые, однако, не привели к внезапному отказу;

$\{c2\}$ – множество состояний, отличающихся от множества $\{b2\}$ тем, что в ЭТС имеет место внезапный отказ и он выполняет возложенные на него функции с недопустимо низким уровнем качества лишь в одном или нескольких (но не всех) режимах работы;

$\{a3\}$ – множество состояний, различающихся уровнем параметрических отклонений, при которых ЭТС неспособен выполнять возложенные на него функции вследствие недопустимо низких значений показателей качества. Вместе с тем в ЭТС отсутствуют структурные отклонения;

$\{b3\}$ – множество состояний, отличающихся от множества $\{a3\}$ тем, что в ЭТС имеют место структурные отклонения, которые, однако, не привели к внезапному отказу;

$\{c3\}$ – множество состояний, отличающихся от множества $\{c2\}$ тем, что ЭТС неспособен выполнять возложенные на него функции вследствие недопустимо низких значений показателей качества;

$\{d4\}$ – множество состояний, различающихся уровнем параметрических и структурных отклонений, при которых ЭТС находится в предельном состоянии и физически не может выполнять возложенные на него функции (показатели назначения находятся на нулевом уровне).

Представим в виде графа (рис. 2) множество $\{b1\}$ работоспособных состояний ЭТС. Для наглядности будем предполагать, что в системе имеет место однократное резервирование элементов и три уровня качества, каждый из которых характеризуется запасом работоспособности ρ_1, ρ_2 и ρ_3 соответственно. Зная интенсивности переходов $\lambda_{12}, \ldots, \lambda_{65}$ из одного состояния в другое, можно, используя уравнения Колмогорова, получить динамическую модель графа и вычислить стационарные вероятности пребывания ЭТС в каждом состоянии.

В общем случае, следуя введенному определению, для класса работоспособных состояний можно выделить сколь угодно большое число состояний, различающихся значением запаса работоспособности системы.

Качество и эффективность работы ЭТС определяются способами управления процессами формирования и сохранения ее необходимых свойств и значений параметров на всех этапах и стадиях жизненного цикла: при исследовании, проектировании, изготовлении, обращении, эксплуатации. Под управлением состоянием будем понимать целенаправленный процесс изменения управляющих воздействий, внутренних параметров и структуры ЭТС с целью предупреждения и устранения отказов ее элементов и достижения оптимального по заданному критерию качества функционирования.

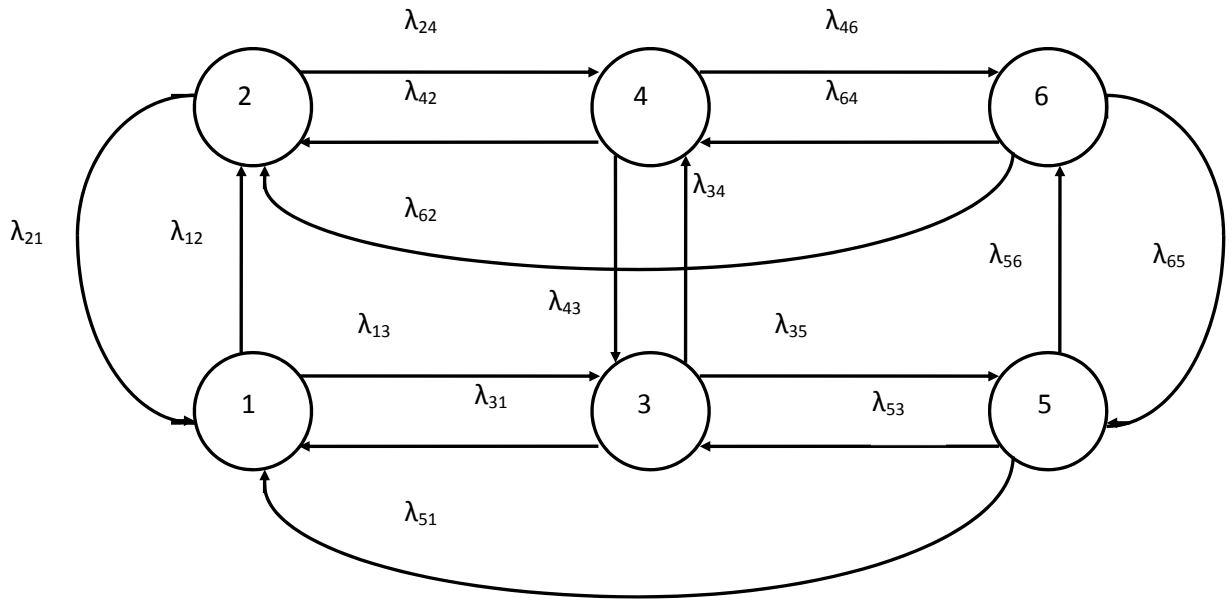


Рис. 2. Граф эволюции работоспособных состояний ЭТС

Для раскрытия сущности основных этапов жизненного цикла ЭТС следует использовать методологию системного анализа [1, 3].

Структура системотехнического комплекса ЭТС

Для анализа основных задач управления качеством технической эксплуатации ЭТС рассмотрим структуру системотехнического комплекса (рис. 3), которая включает в свой состав управляющую (УС), обслуживающую (ОС) и обеспечивающую системы. В состав последней входят: система материально-технического обеспечения (СМТО), система информационного обеспечения (СИО) и другие системы.

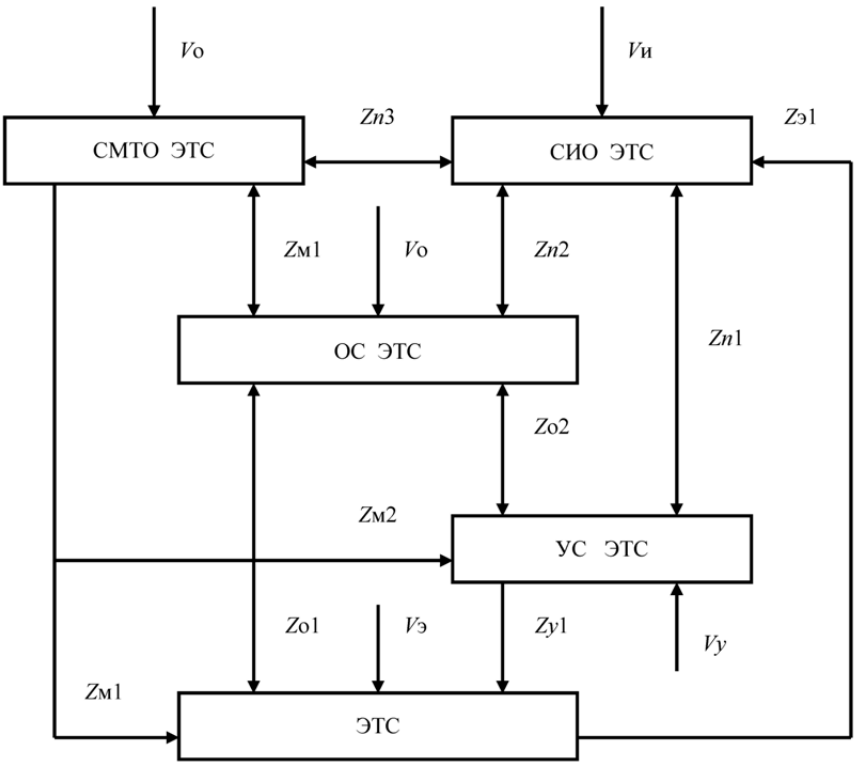


Рис. 3. Структура системотехнического комплекса ЭТС

Под управляющей понимается система, осуществляющая пуск, реверсирование, остановку, защиту электрических машин или других элементов ЭТС, а также обеспечивающая поддержание заданных режимов самих ЭТС и их изменение в соответствии с потребностями целевого использования. Управляющую систему образуют: персонал, управляющий работой ЭТС, необходимые технические средства управления, расходные материалы, продукты, изделия, техническая документация.

Обслуживающая система занимается поддержанием и восстановлением работоспособного состояния ЭТС и ее элементов посредством технического обслуживания и ремонта. В ее состав входят соответствующие персонал, технические средства, расходные материалы, продукты, изделия и техническая документация. Система материально-технического обеспечения создает материальные условия для нормального функционирования ЭТС и ее управляющей, обслуживающей и информационной систем, снабжая их необходимыми расходными материалами, продуктами и изделиями. Система информационного обеспечения предназначена для получения, переработки, передачи и хранения информации о состоянии ЭТС и составляющих ее ЭТУ [5].

Связь ЭТС с управляющей, обслуживающей и обеспечивающей системами в соответствующих им условиях **V** изображена на схеме (см. рис. 3) векторами направленных воздействий **Z**. Индексы при **Z** и **V** отражают их принадлежность к одной из указанных систем, а также порядковый номер воздействия. При эксплуатации ЭТС образуются несколько замкнутых контуров управления качеством, отличающиеся один от другого принципом действия, характером решаемых задач и техническими средствами СИО. В зависимости от вида информации V_0 и $V_и$, получаемой соответственно обслуживающей и информационной системами, можно выделить контур оперативного управления состоянием ЭТС, который базируется на информации о фактическом состоянии системы, получаемой в результате периодической проверки, и контур статистического управления состоянием ЭТС, который основывается на статистической информации о поведении однотипных ЭТУ. Контур управления качеством материально-технического обеспечения ЭТС образован связями $Z_{э1}, Z_{и3}, Z_{н1}$. Основной задачей контура является обеспечение ЭТС комплектами запасных изделий и приборов (ЗИП).

Структурная схема процесса управления состоянием ЭТС

В наиболее общем виде процесс управления состоянием ЭТС, охватывающий все стадии и этапы ее жизненного цикла, можно представить в виде структурной схемы, приведенной на рис. 4. В качестве объекта управления выступают свойства и параметры ЭТС и составляющих ее ЭТУ. Можно выделить три контура управления состоянием – параметрическое, координатное и структурное.

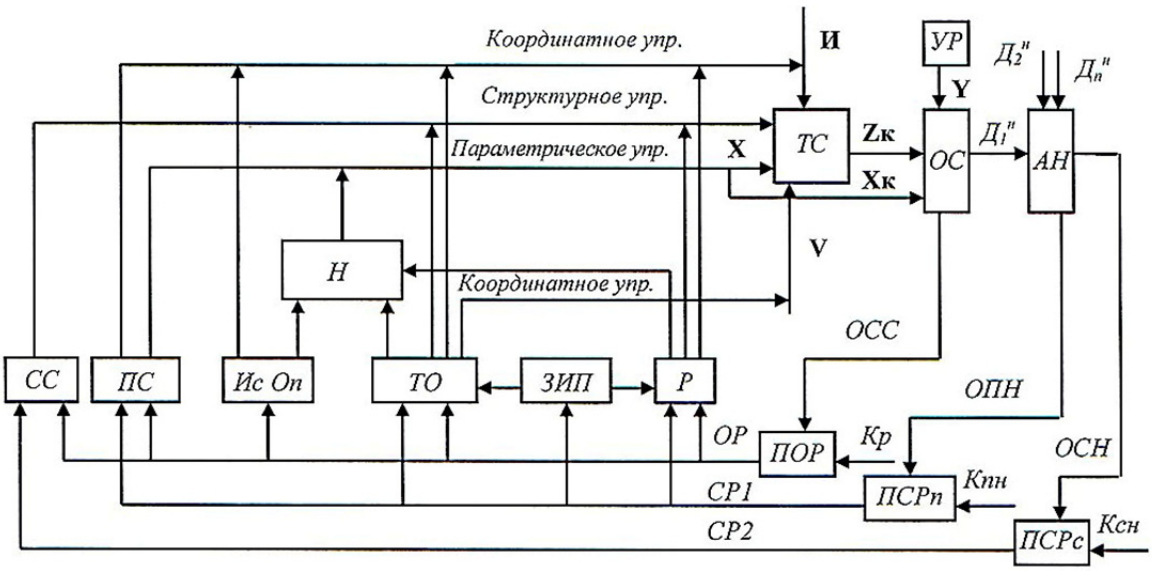


Рис. 4. Структура процесса управления состоянием ЭТС

Параметрическое управление предполагает целенаправленное воздействие на внутренние параметры **X** ЭТС. При координатном управлении эти воздействия представляют собой изменение параметров входных сигналов **u** и параметров внешних воздействий **V**, определяющих условия эксплуатации ЭТС. При структурном управлении управляющими воздействиями являются изменение состава элементов ЭТС и (или) связей между ними. Такое управление характерно для адаптивных систем. Необходимым условием реализации любого контура управления является возможность определения состояния ЭТС и ее элементов в любой момент времени.

При оперативном управлении принятие оперативного решения (ПОР) осуществляется с учетом требований заданного критерия работоспособности $K_{\text{р}}$ ЭТС. Принятие статистического решения (ПСРп и ПСРс) производится на основе оценки параметрической надежности (ОПН) и оценки структурной надежности (ОСН), которые получают в результате анализа надежности (АН) по донесениям $Д_1^{\text{н}}, Д_2^{\text{н}}, \ldots, Д_n^{\text{н}} \rightarrow$ об изменениях технического состояния, постепенных и внезапных отказах элементов ЭТС. При этом учитываются требования критерия параметрической надежности $K_{\text{пн}}$ и критерия структурной надежности $K_{\text{сн}}$. Оперативное решение (ОР) определяет на стадии эксплуатации ЭТС необходимый объем технического обслуживания (ТО) по состоянию или ремонта (Р) по состоянию, а также виды структурного синтеза (СС).

Параметрическое управление при испытании опытных образцов (ИсОп) осуществляется в результате выполнения операции настройки (Н). Структурный синтез реализуется в виде функций реконфигурации структуры системы и аварийной защиты. На стадии проектирования решение предполагает выполнение структурного синтеза (поиск варианта технического решения выбор оптимального по заданному критерию варианта) и параметрического синтеза (ПС). Статистическое решение (СР1) на стадии эксплуатации предусматривает регламентированное техническое обслуживание и ремонт, а на стадии проектирования – реализацию задачи параметрического синтеза по критерию, учитывающему показатели параметрической надежности ЭТС. Статистическое решение (СР2) предполагает на стадии проектирования реализацию функции резервирования с целью обеспечения требуемой структурной надежности.

Как следует из рис. 4, можно выделить три основных принципа управления – по ресурсу, по уровню надежности и по состоянию.

При управлении по ресурсу ЭТС эксплуатируется до выработки определенного ресурса. При управлении по уровню надежности ЭТС эксплуатируется до тех пор, пока интенсивность отказов не превысит установленный уровень. При управлении по состоянию ЭТС эксплуатируется до тех пор, пока ее параметры находятся в пределах установленных допусков.

Важнейшим элементом эксплуатации по состоянию является контроль, с помощью которого осуществляется наблюдение за состоянием ЭТС, его оценка и прогнозирование. При этом каждому состоянию соответствует определенный запас работоспособности ЭТС или его элемента. Под запасом работоспособности будем понимать степень приближения вектора фактического состояния ЭТС к его предельно допустимому значению, множество предельно допустимых значений которого определяется границей области работоспособности [6].

Заключение

Процесс управления состоянием сложных ЭТС предполагает необходимость решения целого комплекса задач анализа и синтеза, имеющих место на различных этапах их жизненного цикла. Функционально-структурный подход позволяет определить стратегию решения этих задач и выделить их основные особенности.

Список литературы

1. Саушев, А. В. Методы управления состоянием электротехнических систем / А. В. Саушев. – СПб. : Санкт-Петерб. гос. ун-т водных коммуникаций, 2004. – 126 с.
2. Юрков, Н. К. Инструментальная среда повышения надежности РЭС / Н. К. Юрков, Б. К. Кемалов, В. П. Перевертов // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2011. – Т. 2. – С. 192–194.
3. Юрков, Н. К. Оценка надежности радиовысотомеров с учетом предварительной информации / Н. К. Юрков, А. Е. Бухаров // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2007. – № 4. – С. 176–186.

4. Абрамов, О. В. Параметрический синтез стохастических систем с учетом требований надежности / О. В. Абрамов. – М. : Наука, 1992. – 176 с.
5. Юрков, Н. К. Системный подход к организации жизненного цикла сложных технических систем / Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 1. – С. 27–34.
6. Саушев, А. В. Области работоспособности электротехнических систем / А. В. Саушев. – СПб. : Политехника, 2013. – 407 с.

УДК 629.12.04

Саушев, А. В.

Структура процесса управления состоянием сложных электротехнических систем / А. В. Саушев // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 3. – С. 23–30.

Саушев Александр Васильевич
кандидат технических наук, профессор,
кафедра электропривода и электрооборудования
береговых установок,
Государственный университет морского
и речного флота им. адмирала С. О. Макарова.
198034, Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
(812) 334-38-34
E-mail: saushev@bk.ru

Аннотация. Приводится функционально-структурный анализ сложных электротехнических систем, и рассматриваются методологические основы управления их состоянием на различных стадиях жизненного цикла. Приводятся определения основных понятий, и раскрывается сущность эволюции состояния электротехнических систем. Рассматриваются возможные принципы управления и особенности их реализации.

Ключевые слова: системный анализ, электротехническая система, жизненный цикл, управление состоянием, структурная схема.

Saushev Aleksandr Vasil'evich
candidate of technical sciences, professor,
sub-department of electric drive and electric equipment
of coastal installations,
State University of sea and river fleet
named after admiral S. O. Makarov,
198034, 5/7 Dvinskaya street, St. Petersburg, Russia
(812) 334-38-34
E-mail: saushev@bk.ru

Abstract. The functional and structural analysis of difficult electrotechnical systems is provided, and methodological bases of management by their condition at various stages of life cycle are considered. Definitions of the main concepts are given, and the essence of evolution of a condition of electrotechnical systems reveals. The possible principles of management and feature of their realization are considered.

Key words: system analysis, electrotechnical system, life cycle, management of a condition, block diagram.

УДК 629.7.017

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ЭТАПЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

В. В. Белова

Постановка задачи

Происшедшие аварии в ракетно-космической отрасли в 2011–2012 г. [1] требуют анализа не только системы обеспечения контроля качества и надежности применяемой техники, но и рассмотрения вопросов совершенствования технологий комплексных автоматизированных испытаний структурно-сложных систем, которым в настоящее время в России не уделяется достаточного внимания.

В данной работе рассматривается задача анализа надежности системы обеспечения теплового режима (СОТР) транспортного грузового корабля (ТГК) «Прогресс» на этапе комплексных электрических испытаний (КЭИ) на контрольной испытательной станции (КИС), техническом комплексе (ТК) и стартовом комплексе (СК).

Этап КЭИ космического аппарата (КА) является одним из заключительных этапов наземных испытаний. Основной задачей КЭИ является проверка работоспособности всех систем полномасштабного изделия при заданных ресурсных и временных ограничениях.

СОТР является структурно-сложной системой и обладает рядом особенностей в реализации разнообразных способов резервирования (структурного, нагрузочного, временного, информационного, алгоритмического, функционального), оценки возможности возникновения нескольких несовместных видов отказов, а также наличия скрытых и явных отказов. Структурный состав, функциональная схема и характеристики надежности элементов определены для каждого этапа испытаний КЭИ (КИС, ТК, СК). В качестве основных показателей надежности рассматривается вероятность безотказной работы (ВБР) и вероятность отказа.

При анализе надежности должны учитываться ограничения:

1) функциональные элементы признаются восстанавливаемыми (заменяемыми) / невосстанавливаемыми в зависимости от фазы испытаний;

2) длительность любого этапа (фазы) испытаний ограничена верхней и нижней границами. Суммарная длительность всех этапов испытаний не превышает заданного времени;

3) на время испытаний разрешается использовать до 10 % от общего технического ресурса прибора. Так как объект работает не непрерывно, учитывается суммарная наработка;

4) наличие встроенной и/или внешней системы контроля с заданной достоверностью (методической или инструментальной);

5) необходимость автоматизации задач такого класса.

В настоящее время на российском рынке одним из лидеров автоматизации моделирования надежности является технология программных средств автоматизированного моделирования показателей надежности – программного комплекса (ПК) Relex Software (США).

В состав ПК Relex входят восемь аналитических модулей: прогнозирование безотказности (Reliability Prediction), прогнозирование ремонтопригодности (Maintainability Prediction), анализ видов, последствий и критичности отказов (FMEA/FMECA), блок-схемы надежности (Reliability Block Diagram), деревья отказов/событий (Fault Tree/Event Tree), марковский анализ (Markov Analysis), статистический анализ (Weibull Analysis), оценка стоимости срока службы (Life Cycle Cost) [2].

В связи с внедрением в ОАО РКК «Энергия» ПК Relex, представленного на российском рынке компанией PTC [3], для управления качеством, надежностью и рисками изделий корпорации решение задачи анализа надежности СОТР ТГК «Прогресс» реализуется основными видами логико-вероятностных методов (ЛВМ): блок-схем надежности, фазовых (поэтапных) диаграмм надежности, дерева отказов (ДО).

Следует отметить, что структурные схемы надежности (ССН) нельзя путать с принципиальными, функциональными, структурными и другими схемами систем, хотя в частных случаях они могут совпадать. На рис. 1 приведена функциональная схема СОТР ТГК «Прогресс».

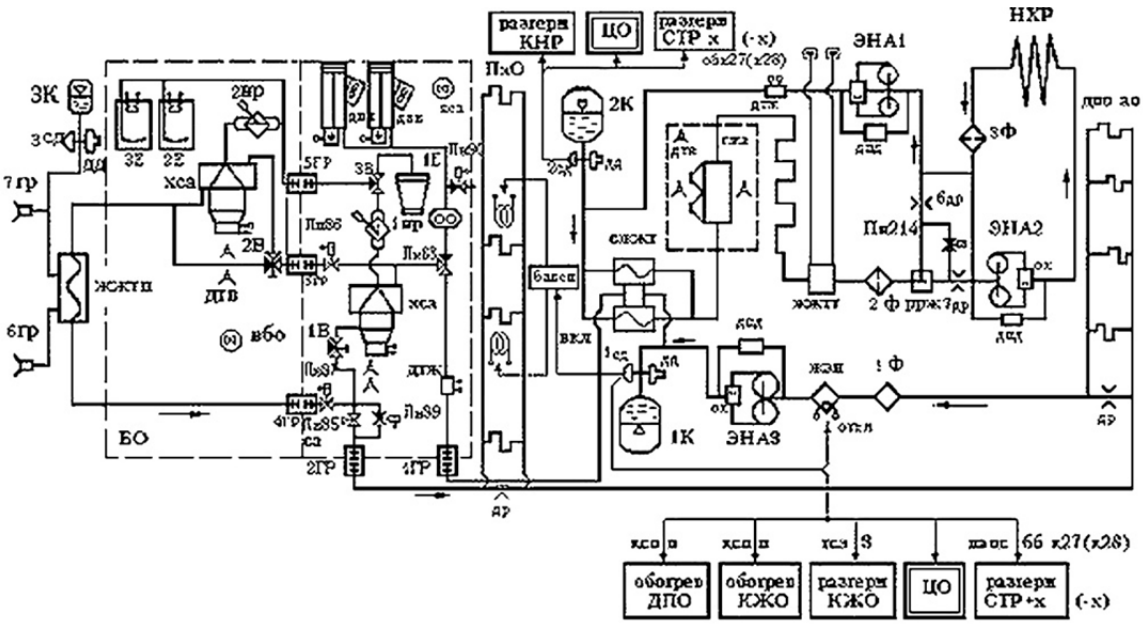


Рис. 1. Функциональная схема системы обеспечения теплового режима транспортного грузового корабля «Прогресс»

Системное дерево СОТР транспортного грузового корабля «Прогресс», набранное в модуле FMEA/FMECA ПК Relex, представлено на рис. 2.

Дерево системы

Фильтр

Наименование	Обозначение дет...	Идентификатор дерева системы	Позиционное обозначение	Описание
СТР	Система	Система		
КГО		Система1		
ЭНА3		Система4	33У.3592.003-01	агрегат электронасосный
Насос 1		Система25		насос
Насос 2		Система44		насос
ЖКТ2		Система11	11Ф615.52Ю 5010А77-0	теплообменник жидкостно-жид...
ГЖА2		Система24	11Ф615.52Ю 50006А77-0	агрегат газожидкостный
Теплообме...		Система26	11Ф615.52Ю 50006А77-200	теплообменник газожидкостный
вентилятор		Система27	11Ф615.52Ю 50005А77-0	вентилятор
1Ф		Система29	11Ф732.8033-0А	фильтр
ЗБЗ		Система30	11Ф732.8006-0А	блок клапанов
Клапан дрена...		Система31	11Ф732.8028-0	клапан дренажный
Клапан дрена...		Система36	11Ф732.8009-0	клапан дренажный
КР1		Система40	11Ф732.8001-0	кран ручной
1К		Система41	11Ф732.8031-0	компенсатор
ЖЭН		Система42	17К 8501-0	электронагреватель жидкостной
КНР		Система2		
ЭНА3		Система43	33У.3592.004	агрегат электронасосный
Насос 1		Система45		насос
Насос 2		Система47		насос
ЭНА1		Система48	11Ф615.52Ю 5035А77-0	
Насос 1		Система49		
Насос 2		Система50		
ЖКТ1		Система51	11Ф615.52Ю 5010А77-0	теплообменник жидкостно-жид...
ГЖА1		Система52	11Ф615.52Ю 50006А77-0	агрегат газожидкостный
Теплообме...		Система53	11Ф615.52Ю 50006А77-200	теплообменник газожидкостный
вентилятор		Система54	11Ф615.52Ю 50005А77-0	вентилятор
РРЖ		Система55	33У.3531.001	регулятор расхода жидкости
2Ф		Система56	11Ф732.8033-0А	фильтр
3Ф		Система57	11Ф732.8033-0А55	фильтр
Блок клапанов		Система58	11Ф732.8006-0А	блок клапанов
2К		Система62	11Ф732.8035-0	компенсатор
Клапан дрена...		Система63	11Ф732.8028-0	клапан дренажный
ПН214		Система68	11Ф732.8068-0	пироклапан
АТ5-АТ7		Система69	11Ф615.52Ю 5032А77-0	Термоплата
АТ8		Система74	11Ф615.52Ю 5033А77-0	Термоплата
ТБА		Система78	313ГК.52Ю 5001А-0	Термоплата
Средства венти...		Система13		
Вентилятор		Система79	17КС.53Ю 5011-0	
Вентилятор		Система80	17КС.53Ю 5002-0	
Автоматика СТР		Система16		
БАП-85		Система17		

Рис. 2. Дерево Системы СОТР транспортного грузового корабля «Прогресс» в модуле FMEA/FMECA ПК Relex

1. Структурная схема надежности СОТР КА

Предлагается методика оценки ВБР СОТР ТГК «Прогресс» методом ССН, что естественно при близости функциональной и надежностной схем. На рис. 3–13 приведены ССН функциональных элементов СОТР ТГК «Прогресс», построенные в графическом редакторе модуля OpSim ПК Relex.

В состав СОТР входит активная система терморегулирования (СТР) и средства пассивного терморегулирования (СПТР). ССН СОТР показана на рис. 3.

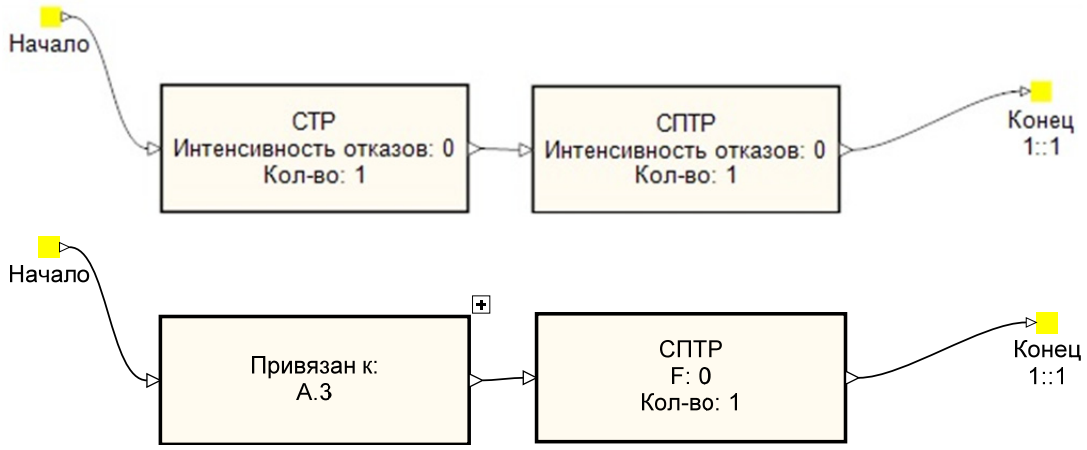


Рис. 3. Структурная схема надежности СОТР

Гидросистема СТР объединяет два замкнутых гидравлически несвязанных контура: контур грузового отсека (КГО) и контур навесного радиатора (КНР); вентиляционные устройства ее теплообменных агрегатов. ССН СТР показана на рис. 4.

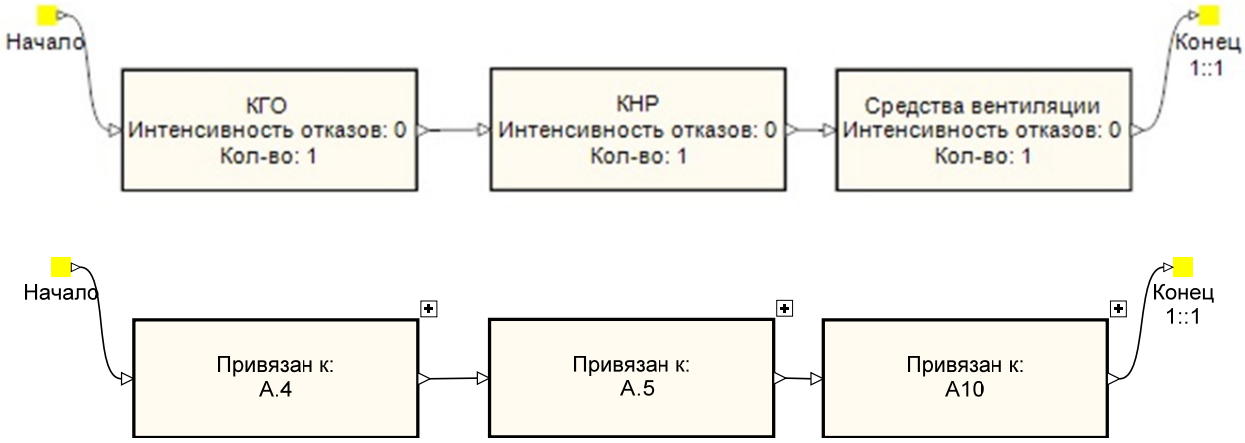


Рис. 4. Структурная схема надежности СТР

КГО определяется группой элементов электронасосного агрегата (ЭНА), обеспечивающей циркуляцию теплоносителя в контуре, и группой элементов, образующих контур и сохраняющих его герметичность.

ССН КГО показана на рис. 5. ССН ЭНА КГО показана на рис. 6.

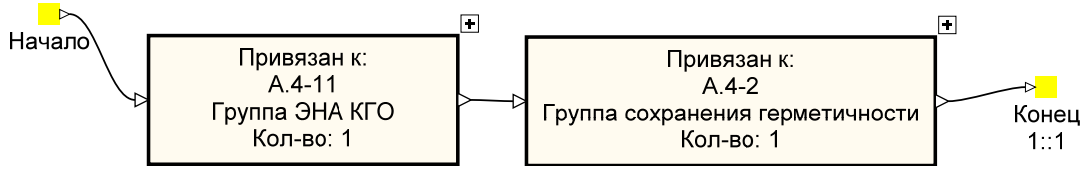


Рис. 5. Структурная схема надежности КГО

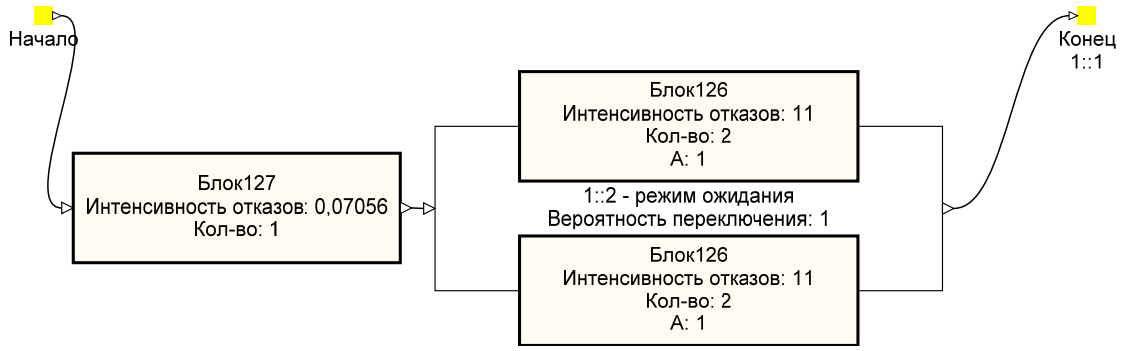


Рис. 6. Группа ЭНА КГО

Общий вид ССН группы ЭНА показана на рис. 7.

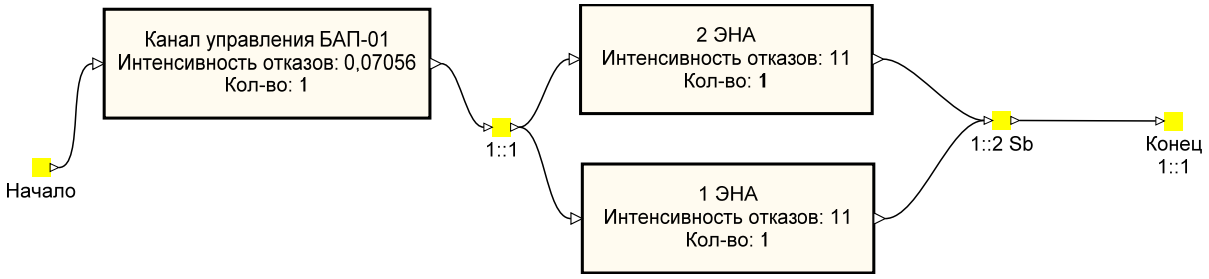


Рис. 7. Структурная схема надежности группы ЭНА

ССН группы сохранения герметичности КГО показана на рис. 8.

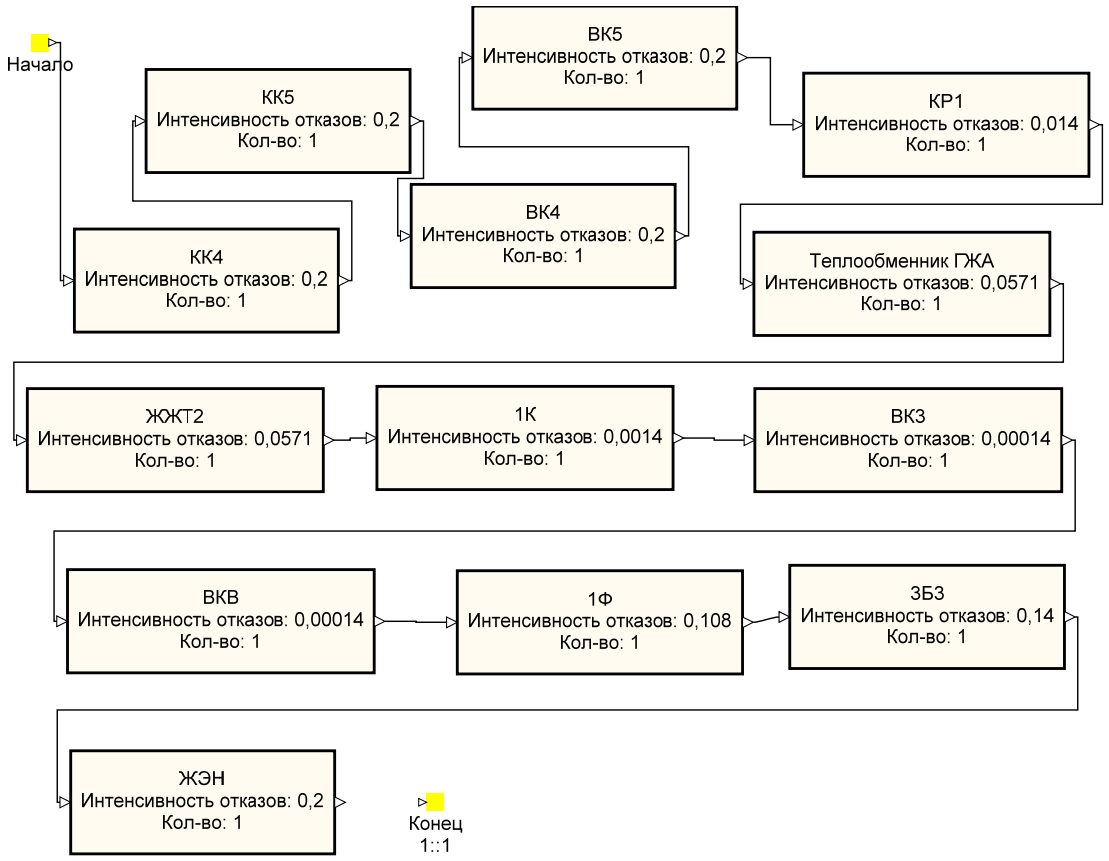


Рис. 8. Структурная схема надежности группы сохранения герметичности КГО

КНР имеет в своем составе внутреннюю и наружную магистрали. Внутренняя магистраль (ВМ) обеспечивает температурный режим в приборном отсеке (ПО) и агрегатном отсеке (АО) через регулятор расхода жидкости (РРЖ) и осуществляет тепловую связь с теплоносителем КГО через свои теплообменные устройства. Наружная магистраль (НМ) осуществляет транспортировку избыточного тепла к навесному холодному радиатору (НХР) для сброса его в окружающее пространство, средства вентиляции герметичных отсеков изделия предназначены для обеспечения направленной общей циркуляции газа в отсеках, средства управления обеспечивают управление агрегатами СОТР в соответствии с принятой логикой работы системы. ССН КНР показана на рис. 9.

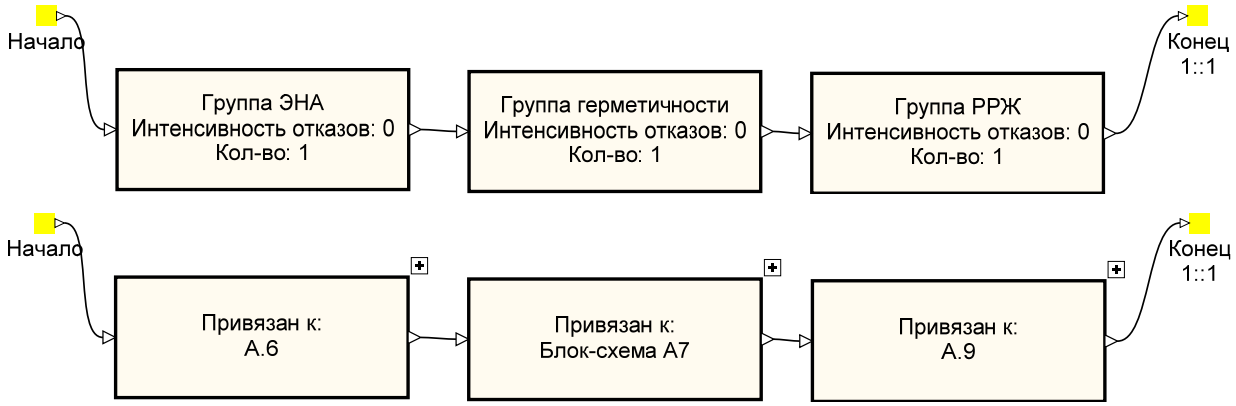


Рис. 9. Структурная схема надежности КНР (с привязкой к ССН групп ЭНА, герметичности, РРЖ)

ССН группы ЭНА КНР показана на рис. 10.

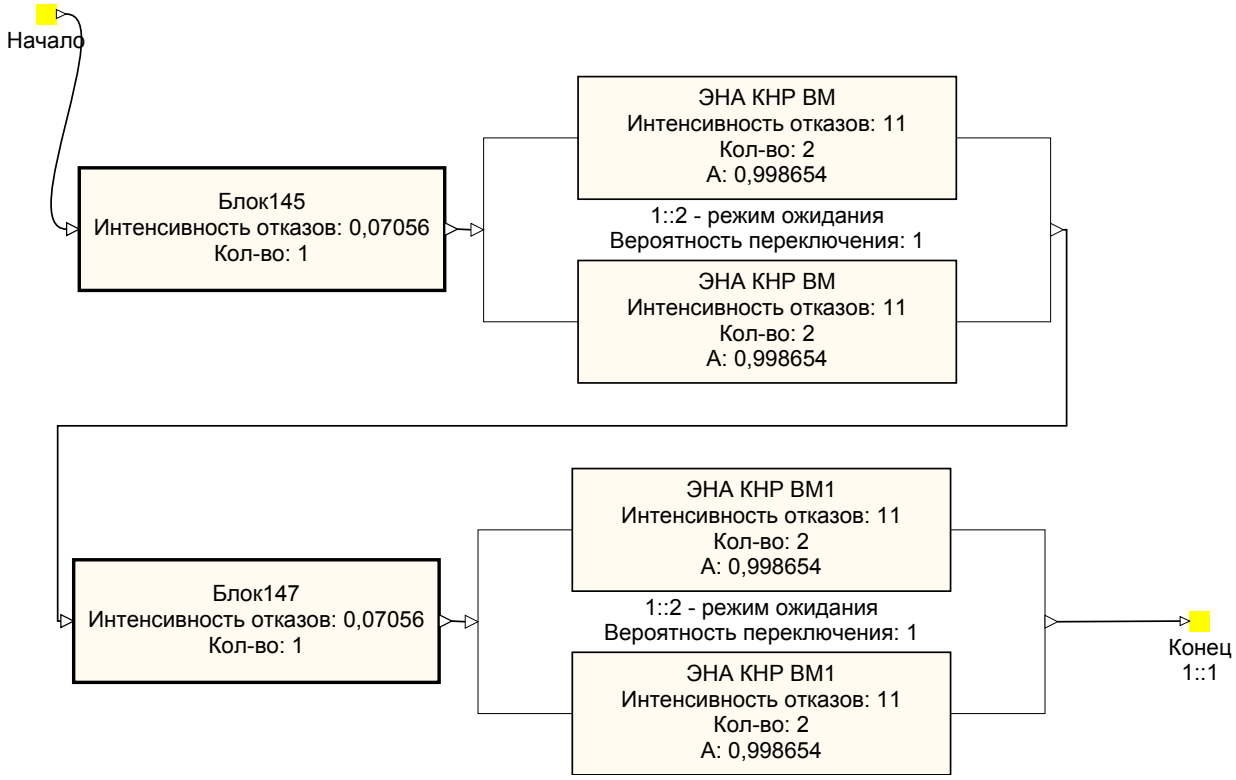


Рис. 10. Структурная схема надежности ЭНА КНР

ССН группы герметичности КНР показана на рис. 11.

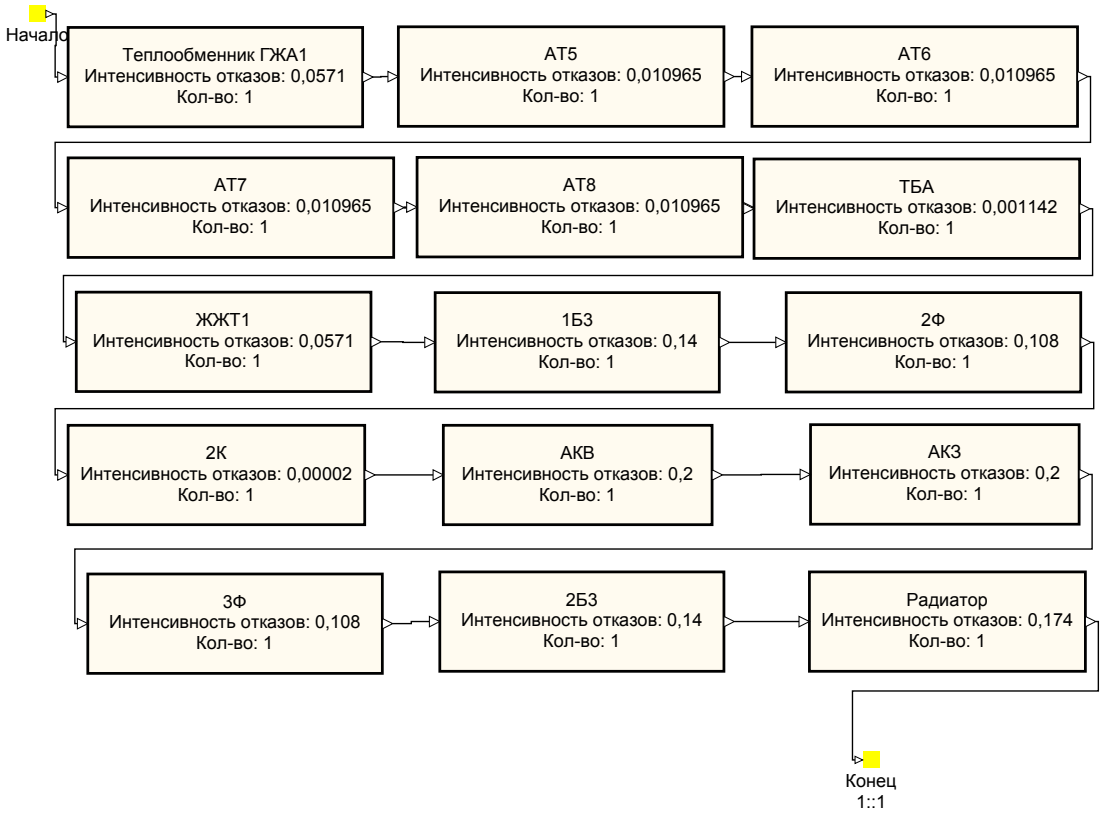


Рис. 11. Структурная схема надежности группы герметичности КНР

ССН группы РРЖ показана на рис. 12.

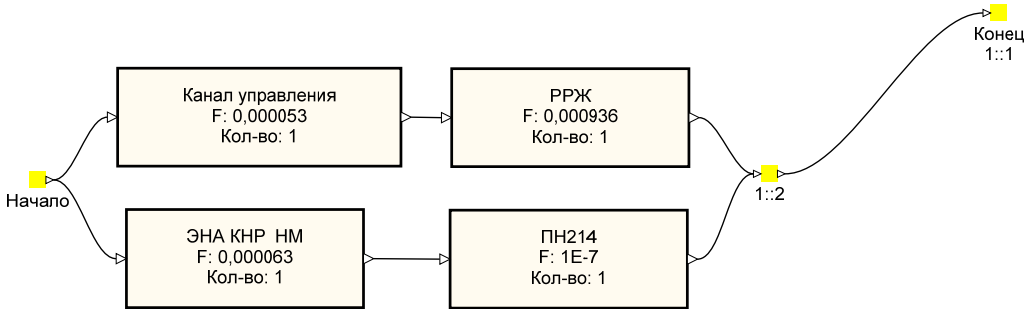


Рис. 12. Структурная схема надежности группы РРЖ

ССН средств вентиляции показана на рис. 13.

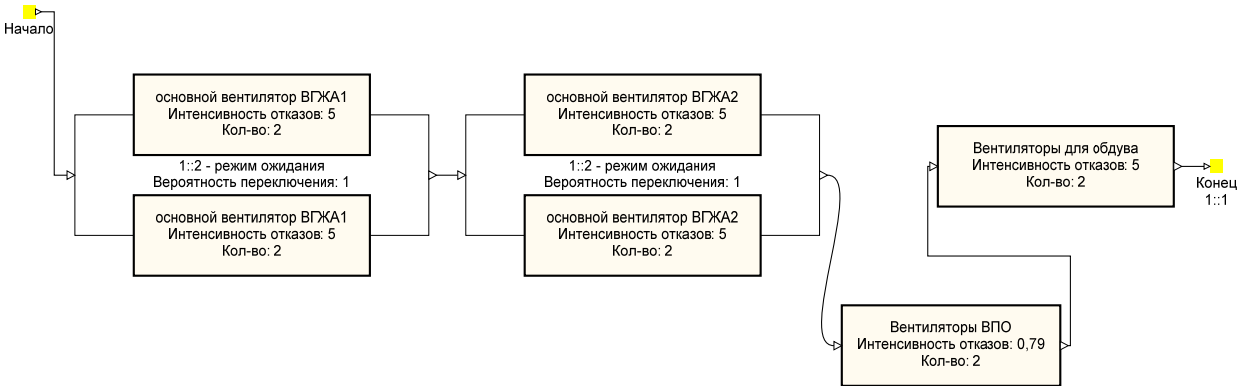


Рис. 13. Структурная схема надежности средств вентиляции

Основные показатели надежности группы герметичности КНР по результатам расчета модуля OpSim ПК Relex показаны на рис. 14.

Общие результаты OpSim

Результаты для Блок-схема A7:
Результаты стационарного режима:
Доступность стационарного режима: 0e+000
Доверительная вероятность (надежность): 95,00%
Доверительная вероятность (доступность): 95,00%
Метод расчета: Аналитический
Выполнено 1000 итераций

Результаты на момент времени 720,00:
Надежность: 9,991154e-001
Ненадежность: 8,846483e-004
Нижняя граница доверительного интервала надежности: 9,991154e-001
Верхняя граница доверительного интервала надежности: 9,991154e-001
Доступность: 9,99856e-001
Недоступность: 1,439896e-004
Нижняя граница доверительного интервала доступности: 9,99856e-001
Верхняя граница доверительного интервала доступности: 9,99856e-001
Потенциал: 9,99e+001
Средний потенциал: 9,990861e+001

Время	Надежность	Ненадежность	Нижняя границ...	Верхняя грани...	Доступность	Недоступность	Нижняя границ...	Верхняя грани...	Потенциал	Средний потен
0	1,000000e+000	0,000000e+000	1,000000e+000	1,000000e+000	1,000000e+000	0,000000e+000	1,000000e+000	1,000000e+000	1,000000e+002	1,000000e+0
72,00	9,999115e-001	8,850007e-005	9,999115e-001	9,999115e-001	9,999856e-001	1,439990e-005	9,999856e-001	9,999856e-001	9,990000e+001	9,998614e+0
144,00	9,998230e-001	1,769923e-004	9,998230e-001	9,998230e-001	9,999712e-001	2,879959e-005	9,999712e-001	9,999712e-001	9,990000e+001	9,994307e+0
216,00	9,997345e-001	2,654767e-004	9,997345e-001	9,997345e-001	9,999568e-001	4,319907e-005	9,999568e-001	9,999568e-001	9,990000e+001	9,992871e+0
288,00	9,996460e-001	3,539533e-004	9,996460e-001	9,996460e-001	9,999424e-001	5,759834e-005	9,999424e-001	9,999424e-001	9,990000e+001	9,992154e+0
360,00	9,995576e-001	4,424220e-004	9,995576e-001	9,995576e-001	9,999280e-001	7,199741e-005	9,999280e-001	9,999280e-001	9,990000e+001	9,991723e+0
432,00	9,994691e-001	5,308829e-004	9,994691e-001	9,994691e-001	9,999136e-001	8,639627e-005	9,999136e-001	9,999136e-001	9,990000e+001	9,991436e+0
504,00	9,993807e-001	6,193360e-004	9,993807e-001	9,993807e-001	9,998992e-001	1,007949e-004	9,998992e-001	9,998992e-001	9,990000e+001	9,991231e+0
576,00	9,992922e-001	7,077813e-004	9,992922e-001	9,992922e-001	9,998848e-001	1,151934e-004	9,998848e-001	9,998848e-001	9,990000e+001	9,991077e+0
648,00	9,992038e-001	7,962187e-004	9,992038e-001	9,992038e-001	9,998704e-001	1,295916e-004	9,998704e-001	9,998704e-001	9,990000e+001	9,990957e+0
720,00	9,991154e-001	8,846483e-004	9,991154e-001	9,991154e-001	9,998560e-001	1,439896e-004	9,998560e-001	9,998560e-001	9,990000e+001	9,990861e+0

Рис. 14. Основные показатели надежности группы герметичности КНР
по результатам расчета модуля OpSim ПК Relex

Основные показатели надежности средств вентиляции по результатам расчета модуля OpSim ПК Relex показаны на рис. 15.

Общие результаты OpSim

Результаты для Блок-схема22:
Результаты стационарного режима:
Метод расчета: Аналитический

Результаты на момент времени 4800,00:
Надежность: 9,997166e-001
Ненадежность: 2,834332e-004

Время	Надежность	Ненадежность
0	1,000000e+000	0,000000e+000
533,33	9,999965e-001	3,549241e-006
1066,67	9,999858e-001	1,417176e-005
1600,00	9,999682e-001	3,182984e-005
2133,33	9,999435e-001	5,648596e-005
2666,67	9,999119e-001	8,810270e-005
3200,00	9,998734e-001	1,266428e-004
3733,33	9,998279e-001	1,720692e-004
4266,67	9,997757e-001	2,243450e-004
4800,00	9,997166e-001	2,834332e-004

Рис. 15. Основные показатели надежности средств вентиляции
по результатам расчета модуля OpSim ПК Relex

Значения показателей надежности СОТР ГТК «Прогресс» по расчетной методике сравнивались с результатами расчета по предложенным моделям в модуле Opsim ПК Relex. Значения по точным и приближенным методам (с заданной погрешностью) совпали с точностью до знака. Расчет проводился аналитическими методами: точными и приближенными с заданной погрешностью.

2. Моделирование надежности СОТР на этапе комплексных электрических испытаний

Решение проблемы математического моделирования этапа электрических испытаний на основе моделей, аналогичных в теории надежности, привлекает многих авторов [2]. Однако результатов такого моделирования для конкретных примеров не приводится.

Для решения задачи моделирования СОТР ТГК «Прогресс» на этапе КЭИ предлагается использовать расширение Relex RBD – фазовые (поэтапные) диаграммы (Phase Block Diagram – PBD). Для успешной работы СОТР необходимо успешное выполнение ее назначения в каждой из шести последовательно выполняемых фаз (определяется технологией испытаний). В каждой фазе используется одно и то же оборудование СОТР, соединенное в различные структурные схемы надежности, с различными характеристиками надежности. Характеристики определяются режимом работы оборудования СОТР на данном этапе. Используются структурные схемы надежности, которые рассматривались в предыдущем параграфе.

Для учета в модели надежности СОТР наличия системы контроля (с заданной достоверностью для конкретной фазы) необходимо рассматривать объединенную систему (СОТР + Система Контроля). Наличие системы контроля (встроенной или внешней) обязательно требует учета в моделировании надежности последовательности возникновения отказов.

На рис. 16 показана поэтапная схема СОТР ТГК «Прогресс» на этапе КЭИ для КИС и ТК.

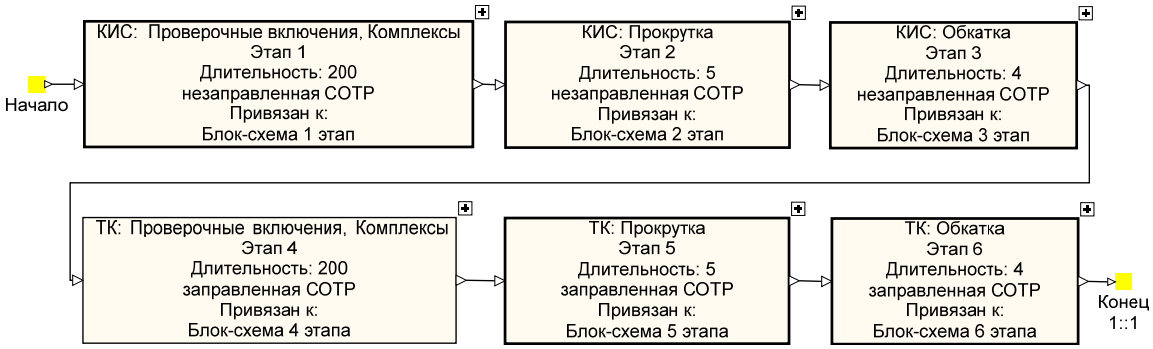
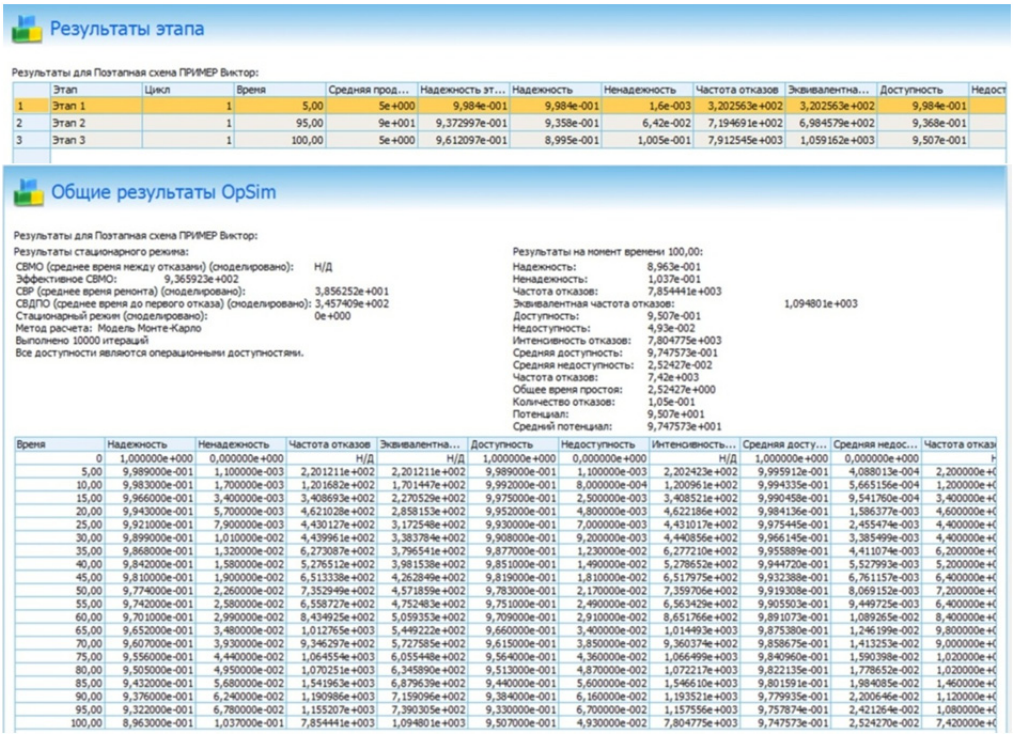


Рис. 16. Поэтапная схема СОТР КА на этапе КЭИ для КИС и ТК

На рис. 17 показана поэтапная схема СОТР ТГК «Прогресс» на этапе СК.

Рис. 17. Поэтапная схема СОТР КА на этапе СК

Результаты расчета RBD для исходных данных рис. 17 представлены на рис. 18.



Результаты этапа

Результаты для Поэтапная схема ПРИМЕР Виктор:

	Этап	Цикл	Время	Средняя прод...	Надежность эт...	Надежность	Ненадежность	Частота отказов	Эквивалентна...	Доступность	Недост
1	Этап 1	1	5,00	5e+000	9,984e-001	9,984e-001	1,6e-003	3,202563e+002	3,202563e+002	9,984e-001	
2	Этап 2	1	95,00	9e+001	9,372997e-001	9,358e-001	6,42e-002	7,194691e+002	6,984579e+002	9,368e-001	
3	Этап 3	1	100,00	5e+000	9,612097e-001	8,995e-001	1,005e-001	7,912545e+003	1,059162e+003	9,507e-001	

Общие результаты OpSim

Результаты для Поэтапная схема ПРИМЕР Виктор:

Результаты стационарного режима:

СВМО (среднее время между отказами) (смоделировано): Н/Д
Эффективное СВМО: 9,365923e+002
СВР (среднее время ремонта) (смоделировано): 3,856252e+001
СВДПО (среднее время до первого отказа) (смоделировано): 3,457409e+002
Стационарный режим (смоделировано): 0e+000
Метод расчета: Модель Монте-Карло
Выполнено 10000 итераций
Все доступности являются операционными доступностями.

Результаты на момент времени 100,00:

Надежность: 8,963e-001
Ненадежность: 1,037e-001
Частота отказов: 7,854441e+003
Эквивалентная частота отказов: 1,094801e+003
Доступность: 9,507e-001
Недоступность: 4,93e-002
Интенсивность отказов: 7,804775e+003
Средняя доступность: 9,747573e-001
Средняя недоступность: 2,52427e-002
Частота отказов: 7,42e+003
Общее время простоя: 2,52427e+000
Количество отказов: 1,05e-001
Потенциал: 9,507e+001
Средний потенциал: 9,747573e+001

Время	Надежность	Ненадежность	Частота отказов	Эквивалентна...	Доступность	Недоступность	Интенсивность...	Средняя досту...	Средняя недос...	Частота отказ
0	1,000000e+000	0,000000e+000	Н/Д	Н/Д	1,000000e+000	0,000000e+000	Н/Д	1,000000e+000	0,000000e+000	Н
5,00	9,989000e-001	1,100000e-003	2,201211e+002	2,201211e+002	9,989000e-001	1,100000e-003	2,202423e+002	9,995912e-001	4,088013e-004	2,200000e+0
10,00	9,983000e-001	1,700000e-003	1,201682e+002	1,701447e+002	9,992000e-001	8,000000e-004	1,200961e+002	9,994335e-001	5,665156e-004	1,200000e+0
15,00	9,966000e-001	3,400000e-003	3,408693e+002	2,270529e+002	9,975000e-001	2,500000e-003	3,408521e+002	9,990458e-001	9,541760e-004	3,400000e+0
20,00	9,943000e-001	5,700000e-003	4,621028e+002	2,858153e+002	9,952000e-001	4,800000e-003	4,622186e+002	9,984136e-001	1,586377e-003	4,600000e+0
25,00	9,921000e-001	7,900000e-003	4,430127e+002	3,172548e+002	9,930000e-001	7,000000e-003	4,431017e+002	9,975445e-001	2,455474e-003	4,400000e+0
30,00	9,899000e-001	1,010000e-002	4,439961e+002	3,383784e+002	9,908000e-001	9,200000e-003	4,440856e+002	9,966145e-001	3,385499e-003	4,400000e+0
35,00	9,868000e-001	1,320000e-002	6,273087e+002	3,796541e+002	9,877000e-001	1,230000e-002	6,277210e+002	9,955889e-001	4,411074e-003	6,200000e+0
40,00	9,842000e-001	1,580000e-002	5,276512e+002	3,981538e+002	9,851000e-001	1,490000e-002	5,278652e+002	9,944720e-001	5,527993e-003	5,200000e+0
45,00	9,810000e-001	1,900000e-002	6,513338e+002	4,262849e+002	9,819000e-001	1,810000e-002	6,517975e+002	9,932388e-001	6,761157e-003	6,400000e+0
50,00	9,774000e-001	2,260000e-002	7,352949e+002	4,571859e+002	9,783000e-001	2,170000e-002	7,359706e+002	9,919308e-001	8,069152e-003	7,200000e+0
55,00	9,742000e-001	2,580000e-002	6,558727e+002	4,752483e+002	9,751000e-001	2,490000e-002	6,563429e+002	9,905503e-001	9,449725e-003	6,400000e+0
60,00	9,701000e-001	2,990000e-002	8,434925e+002	5,059353e+002	9,709000e-001	2,910000e-002	8,651766e+002	9,891073e-001	1,089265e-002	8,400000e+0
65,00	9,652000e-001	3,480000e-002	1,012765e+003	5,449222e+002	9,660000e-001	3,400000e-002	1,014493e+003	9,875380e-001	1,246199e-002	9,800000e+0
70,00	9,607000e-001	3,930000e-002	9,346297e+002	5,727585e+002	9,615000e-001	3,850000e-002	9,360374e+002	9,858675e-001	1,413253e-002	9,000000e+0
75,00	9,556000e-001	4,440000e-002	1,064554e+003	6,055448e+002	9,564000e-001	4,360000e-002	1,066499e+003	9,840960e-001	1,590398e-002	1,020000e+0
80,00	9,505000e-001	4,950000e-002	1,070251e+003	6,345890e+002	9,513000e-001	4,870000e-002	1,072217e+003	9,822135e-001	1,778652e-002	1,020000e+0
85,00	9,432000e-001	5,680000e-002	1,541963e+003	6,879639e+002	9,440000e-001	5,600000e-002	1,546610e+003	9,801591e-001	1,984085e-002	1,460000e+0
90,00	9,376000e-001	6,240000e-002	1,190986e+003	7,159096e+002	9,384000e-001	6,160000e-002	1,193521e+003	9,779935e-001	2,200646e-002	1,120000e+0
95,00	9,322000e-001	6,780000e-002	1,155207e+003	7,390305e+002	9,330000e-001	6,700000e-002	1,157556e+003	9,757874e-001	2,421264e-002	1,080000e+0
100,00	8,963000e-001	1,037000e-001	7,854441e+003	1,094801e+003	9,507000e-001	4,930000e-002	7,804775e+003	9,747573e-001	2,524270e-002	7,420000e+0

Рис. 18. Основные показатели надежности СОТР КА на этапе СК
по результатам расчета модуля OPSim (PBD)

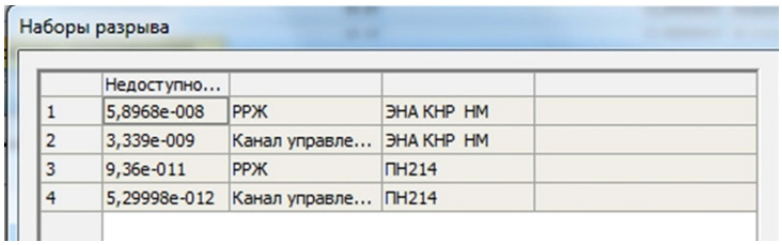
3. Моделирование Дерева отказов СОТР

В программе-методике испытаний СОТР, директивно предлагаемой испытателям, неявно используется принцип планирования по критерию максимальной надежности с последовательной проверкой реакции встроенной системы контроля на расчетный отказ, имитируемой автоматизированной испытательной системой (АИС).

Однако выбор управляющего воздействия (УВ) для имитации отказа не предусматривает расчета вероятностей инициирующих событий (отказов) для подтверждения заданного уровня надежности по результатам проведенных испытаний. К тому же не оценивается влияние выбора этого УВ на отказ системы в целом. Временная циклограмма выдачи УВ (отказов) в определенной последовательности обосновывается технологией испытаний, а не принципом максимальной надежности.

В модуле RDB ПК Relex автоматически строятся наборы разрывов, по которым можно построить ДО системы с целью вычисления вероятностей отказов интересующих событий. Таким образом, можно посчитать вероятности отказа всех инициирующих (базовых) событий, выбрать те из них, которые имеют максимальную вероятность, и моделировать выборку выдачей УВ из АИС.

На рис. 19 приведено автоматически построенные наборы разрывов группы РРЖ при моделировании ССН группы РРЖ (см. рис. 12).



Наборы разрыва

	Недоступно...			
1	5,8968e-008	РРЖ	ЭНА КНР НМ	
2	3,339e-009	Канал управле...	ЭНА КНР НМ	
3	9,36e-011	РРЖ	ПН214	
4	5,29998e-012	Канал управле...	ПН214	

Рис. 19. Наборы разрывов группы РРЖ

На рис. 20 приведено дерево отказов группы РРЖ с вычисленными вероятностями отказов исходных событий (отказ РРЖ, отказ ЭНА КНР НМ, отказ КУ, отказ ПН214).

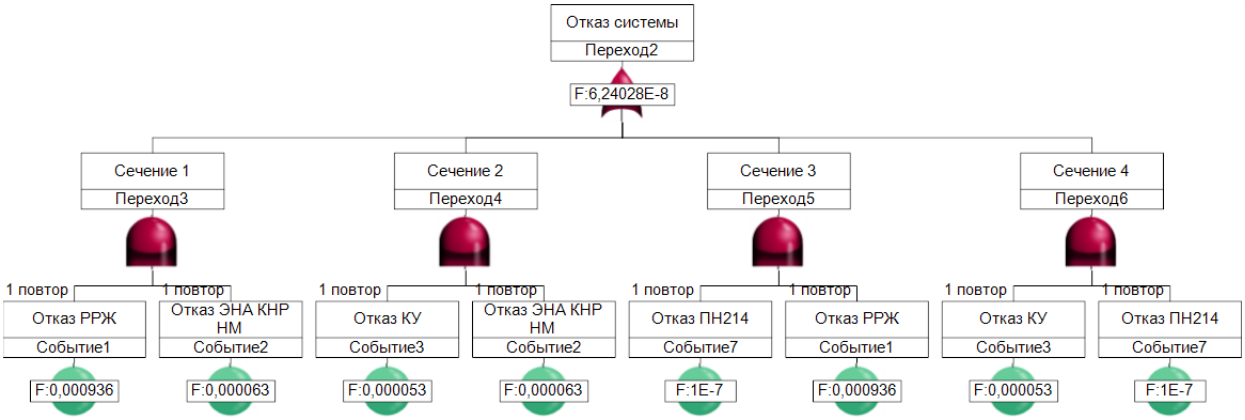


Рис. 20. Дерево отказов группы РРЖ

При реализации программы отказов СОТР на этапе КЭИ, построенной на выборе в модели ДО расчетных событий (УВ) по критерию максимальной вероятности, можно построить экспериментальные функции распределения ВБР СОТР КА по результатам испытаний.

Заключение

Задача анализа надежности СОТР ТГК «Прогресс» на этапе КЭИ относится к классу вероятностных задач, представляющих большой практический интерес [4]. Результаты моделирования ДО предлагается использовать при построении программы отказов СОТР по критерию максимальной надежности, а структурных схем надежности и фазовых (поэтапных) диаграмм – для

априорной оценки уровня надежности СОТР на этапе электрических испытаний. При дальнейшем развитии предложенного подхода предполагается использовать метод обзора данных по эксплуатации (FRACAS) [2]. Результаты модуля FRACAS необходимы для объединения данных моделирования и результатов испытаний. Имитация отказа с его контролем по данным телеметрической информации реализуется в форматах оперативного отображения [5–7].

Список литературы

1. Сайт Российского Космического Агентства. 2013 – URL: http:// www.federalspace.ru (дата обращения: 24.03.2013).
2. Relex 2011. Reference Manual / Relex Software Corporation 41West Otterman Street, Greensburg, Pensilvania 15601 USA.
3. Общие ресурсы PTC // Сайт Parametric Technology Corporation. – 2011. – URL: http:// www.relex.com (дата обращения: 30.05.2013).
4. Белова, В. В. Моделирование надежности системы обеспечения теплового режима космического аппарата / В. В. Белова // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – Т. 1. – С. 148–154.
5. Белова, В. В. Оперативный контроль телеметрических параметров системы теплового режима транспортных грузовых и пилотируемых кораблей на этапе комплексных электрических испытаний / В. В. Белова // Вестник ФГУП «НПО им. С. А. Лавочкина». – 2012. – № 1. – С. 50–58.
6. Юрков, Н. К. К вопросу разработки нормативно-методического обеспечения испытаний РЭС на вибростойкость / Н. К. Юрков, В. Н. Писарев, Г. В. Таньков // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2002. – С. 274–275.
7. Кочура, С. Г. О математическом моделировании электрических испытаний космических аппаратов связи / С. Г. Кочура, Н. А. Кузнецов, А. А. Носенков // Известия вузов. Приборостроение. – 2011. – Т. 54, № 4. – С. 43–47.

УДК 629.7.017

Белова, В. В.

Моделирование надежности системы обеспечения теплового режима космического аппарата на этапе электрических испытаний / В. В. Белова // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 3. – С. 31–40.

Белова Виктория Викторовна
аспирант, инженер-испытатель,
Ракетно-космическая
корпорация «Энергия» им. С. П. Королева,
141070, Россия, Королёв, ул. Ленина, 4а
E-mail: post@rsce.ru

Аннотация. Рассматривается задача построения модели надежности для системы обеспечения теплового режима транспортного грузового корабля «Прогресс» на основе логико-вероятностного моделирования структурных схем надежности, фазовых (поэтапных) диаграмм надежности и дерева отказов, реализованных в программном комплексе Relex (США).

Ключевые слова: этап электрических испытаний; модель надежности; структурная схема надежности; фазовая (поэтапная) диаграмма надежности; дерево отказов.

Belova Victoria Victorovna
postgraduate student, engineer−system tester,
Rocket and Space Corporation «Energia»
named after S. P. Korolev,
141070, 4a Lenin street, Korolev, Russia
E-mail: post@rsce.ru.

Abstract. In the article presents the problem of modeling the reliability for the thermal control system of «Progress» cargo transportation spacecraft. Model is founded on the basis reliability block diagram, phase block diagram, fault tree methodology, implemented in the software package Relex.
The simulation results are proposed to use for the program evaluation as a priori failure level reliability of the thermal control system «Progress» cargo transportation spacecraft during electrical testing.

Key words: stage of electrical testing; reliability model; reliability block diagram; phase block diagram; fault-tree.

УДК 621.396.6

«ОБЛАЧНЫЕ» ТЕХНОЛОГИИ В АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТНОЙ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ СТРУКТУРНО-СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

В. В. Жаднов, А. Н. Тихменев

В настоящее время развиваются и получают широкое применение «облачные» технологии, одной из которых является модель предоставления пользователям доступа к программному обеспечению (ПО) через глобальную сеть Интернет без установки ПО на компьютер пользователя. Такая модель получила название *Software as a Service* (*SaaS*), одним из основных преимуществ которой является простота интеграции ПО в различные процессы (проектирования, обучения и др.), так как в этом случае не требуется установки ПО на рабочие компьютерные станции, а стоимость услуги аренды ПО существенно ниже стоимости лицензии [1].

Использование технологии *SaaS* имеет целый ряд преимуществ для пользователя, среди которых особенно ценны доступ к ПО практически с любого компьютера, подключенного к сети Интернет и возможность совместной работы над одним проектом разными людьми и с разных рабочих мест, в том числе и из разных городов. Определенные преимущества имеет также перенос вычислительной нагрузки на сервер, что позволяет задействовать большие вычислительные мощности и выполнять сложные расчеты в течение длительного срока, не прекращая работу над другими задачами. Также пользователь освобождается от задач хранения данных и ответственности за их сохранность, так как эти задачи ложатся на сам сервис и его обслуживающий персонал [1].

Наиболее распространенным типом ПО, предоставляемого по модели *SaaS*, являются *HRM*-системы, IT-сервисы для предприятий, приложения для бухгалтерии и т.п. [1, 2]. Решения, связанные с реализацией *CAE/CAD*-систем по модели *SaaS* только появляются. В основном этим занимаются крупные компании, уже завоевавшие себе имя, ПО которых имеет высокую репутацию и свой круг потребителей [3]. Сложности реализации *CAD/CAE*-систем в виде облака заключаются в необходимости передачи большого объема информации от пользователя к вычислительному ядру при работе, к примеру, с 3D-моделями [4]. В таких условиях технология *SaaS* может оказаться более выгодной для небольших программ, только выходящих на рынок и не имеющих авторитета и устоявшегося круга потребителей.

Поскольку разработка *CAE/CAD*-систем является дорогостоящим процессом, в котором необходимо задействовать квалифицированных разработчиков и специалистов в предметной области, на которую направлена данная система, то соответственно и цена лицензии оказывается достаточно большой. В результате становится сложно убедить руководство предприятий в том, что это ПО им действительно нужно, в то время как *SaaS* позволяет минимизировать затраты на его использование и тем самым помочь продукту выйти на рынок и завоевать себе потребителей.

Также сложным вопросом является обеспечение безопасности данных [1, 4, 5]. Даже если провайдер и сможет обеспечить защиту информации от третьих лиц, то невозможно гарантировать его добросовестность. В этом вопросе остается полагаться только на то, что провайдер услуги дорожит своей репутацией. Это также является значимым препятствием для развития *SaaS* в области *CAD*/*CAE*-систем [4].

При всей сложности внедрения облачных технологий уже сейчас они могут найти потребителей в лице вузов, так как подготовка квалифицированных кадров просто обязана включать в себя обучение современным средствам проектирования, а покупка дорогостоящих лицензий и полноценное техническое оснащение учебных заведений являются сложной задачей, даже с учетом обилия льгот, которые поставщики *CAD*/*CAE*-систем готовы предоставить им.

Рассмотрим перспективы использования *SaaS* на примере ПО для расчета надежности электронных средств. Эта задача актуальна для предприятий, занимающихся разработкой и выпуском электронных средств ответственного и специального применения, таких как изделия для военной и космической техники.

В технических заданиях на разработку таких изделий обязательно входит требование по обеспечению показателей надежности (как правило, достаточно высоких), а процесс проектирования включает мероприятия по оценке проектной надежности на каждом этапе.

Процедура оценки проектной надежности разбивается на две стадии. На первой оценивается надежность составных частей (СЧ), на второй – структурная надежность изделия. Первая стадия использует информацию об элементной базе, ее режимах работы и условиях эксплуатации. Результатом являются показатели надежности структурно-простых СЧ. На надежность электрорадиоизделий (ЭРИ) влияют климатические условия, внешние воздействующие факторы и другие параметры. Математические модели и их параметры для оценки показателей надежности стандартизированы в специализированных справочниках по элементной базе. Для автоматизации таких расчетов применяется специализированное ПО (системы *АСРН*, АСОКИКА-К-СЧ, модули *Reliability Prediction* и др.). При этом система АСОНИКА-К-СЧ активно продвигается как инструмент обучения и используется в различных вузах страны.

Программное обеспечение для этой стадии оценки надежности является универсальным и востребованным практически в каждом проекте, поэтому его преобразование в «облачный» сервис не столь актуально. Но и здесь в этом есть некоторая перспектива. Например, программный комплекс АСОНИКА-К изначально разрабатывался по технологии клиент-серверного приложения с ориентацией на локальную сеть предприятий, как по требованиям соблюдения секретности, так и из-за отсутствия свободного доступа к глобальной сети. Однако сейчас эти ограничения уже не столь распространены, так как *SaaS* используют для ведения бухгалтерии предприятий [6], т.е. достигнут высокий уровень безопасности и доверия между поставщиками *SaaS* услуг и их клиентами.

Использование клиент-серверной архитектуры в системе АСОНИКА-К-СЧ связано с большим объемом справочной базы данных с параметрами ЭРИ и моделями интенсивностей отказов, которые требуют своевременного, централизованного обновления для обеспечения воспроизводимости расчетов, что затруднено при реализации ПО в виде простых приложений. Переход на облачную технологию в формате *SaaS* или *S*+*S* [1] (аналогичная технология, но с программным клиентом) позволит обеспечить своевременное обновление и расширить круг клиентов как среди вузов, так и среди предприятий, не ограниченных требованиями секретности, за счет снижения стоимости услуги [4].

На второй стадии на основе результатов первой и информации о структуре ЭС определяется надежность всего изделия с учетом резервирования и реконфигураций, внесенных в алгоритм функционирования. При проектировании сложной аппаратуры на этом этапе возникает ряд трудностей, которые, как правило, решаются путем упрощения моделей для получения нижней оценки показателей надежности. Однако при этом нельзя оценить значение ошибки, а так как по результатам этого расчета необходимо принять решение о выполнении требований ТЗ или о коррекции проекта с целью повышения надежности, то это может привести к проведению избыточных мероприятий по обеспечению надежности и, как следствие, к дополнительным расходам и ухудшению массогабаритных характеристик. На этой стадии используются более сложные методы анализа структурной надежности, что обусловлено следующими особенностями ЭС:

– применение резервирования на разных уровнях разукрупнения приводит к тому, что интенсивность отказов не является постоянной во времени;

– при разработке структуры для повышения надежности учитываются индивидуальные особенности, что приводит к сложным алгоритмам восстановления после отказа;

– в ходе функционирования составные части работают с переменной нагрузкой.

Для такой аппаратуры необходимо строить индивидуальные модели, учитывающие особенности функционирования, для их анализа, как правило, используются методы анализа структурной схемы надежности [7], которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Методы анализа структурной надежности

Метод анализа структурной надежности	Ограничения
Метод, основанный на применении классических теорем теории вероятностей	Математическая модель выводится конкретно для каждого БРЭУ, включает законы распределения отказов, сложности в полном алгоритма функционирования
Логико-вероятностный метод	Не учитывает изменения законов распределения отказов во времени
Методы, основанные на теории марковских процессов	Только экспоненциальные распределения, для структурно-сложной аппаратуры возрастает размерность графа
Топологические методы	Не учитывает изменения законов распределения отказов во времени, сложные критерии отказов
Имитационное моделирование	Сложность создания модели, высокие вычислительные потребности

На основе этих методов создан ряд программных продуктов, которые автоматизируют вычисление показателей надежности [8]. В качестве примера можно привести модуль *Markov Chain* системы *RAM Commander*, который реализует расчет на основе марковских процессов, ПК АСМ СЗМА – логико-вероятностный метод [9], система АСОНИКА-СИ – гибридный метод статистических испытаний (совокупность методов топологического и Монте-Карло) [10], *AvSim* – метод имитационного моделирования, направленный на моделирование запасов ЗИП [11].

Все эти программы не имеют реализации в виде *SaaS* и слабо распространены в практике отечественного проектирования, где, как правило, используются не автоматизированные расчеты (программирование математических моделей в универсальных математических пакетах типа *MathCad* и *MatLab*).

В научной литературе неоднократно рассматривался высокий потенциал метода имитационного моделирования [7, 12], однако на практике он редко применяется из-за отсутствия подходящих инструментов, позволяющих упростить создание и верификацию моделей [13]. Это определяет малое распространение метода имитационного моделирования, несмотря на целый ряд его несомненных преимуществ. Так, этот метод позволяет использовать произвольные законы распределения отказов и восстановлений, моделировать весь алгоритм функционирования и реконфигураций и тем самым более точно оценивать структурную надежность.

Для реализации метода имитационного моделирования была разработана система АСОНИКА-К-РЭС [14]. Она основана на модели ЭС, описывающей состав, критерии отказов и действия реконфигурации в формате специализированного языка [15]. При этом исходные данные для моделирования – текстовый файл с моделью, а результат – показатели надежности, их временные зависимости. Основным преимуществом системы является то, что модель описывает ЭС «как есть», без необходимости преобразования в некоторый формат структурной схемы надежности. Это позволяет не только заметно повысить точность модели и применять ее при анализе проектных решений, но и эффективно использовать в ходе обучения как специалистов в области надежности, так и инженеров-проектировщиков. Такая модель позволяет не только разъяснить и проиллюстрировать алгоритмы функционирования и реконфигураций сложных систем, но и получить численную оценку их эффективности в виде показателей безотказности.

Структура системы объединяет интерфейсный модуль, обеспечивающий ввод и редактирование формальной модели в текстовом виде, а также ее верификацию (см. рис. 1), с модулями компиляции, верификации, выполнения имитационных экспериментов и обработки результатов. При этом обмен данными между модулями минимален – это текст модели, параметры моделирования и в случае верификации – тестовое воздействие на модель, ее состояние после него и отчет о действиях модели.

Непосредственно для оценки показателей надежности необходимо выполнить большое количество вычислений (имитационных экспериментов), в ходе которых не требуется какого-либо контроля от пользователя. Все это, а также простой интерфейс ввода и верификации модели позволяют легко перенести программу в формат *SaaS* и разделить вычислительную нагрузку от многих пользователей по различным серверам с минимальным использованием каналов связи.

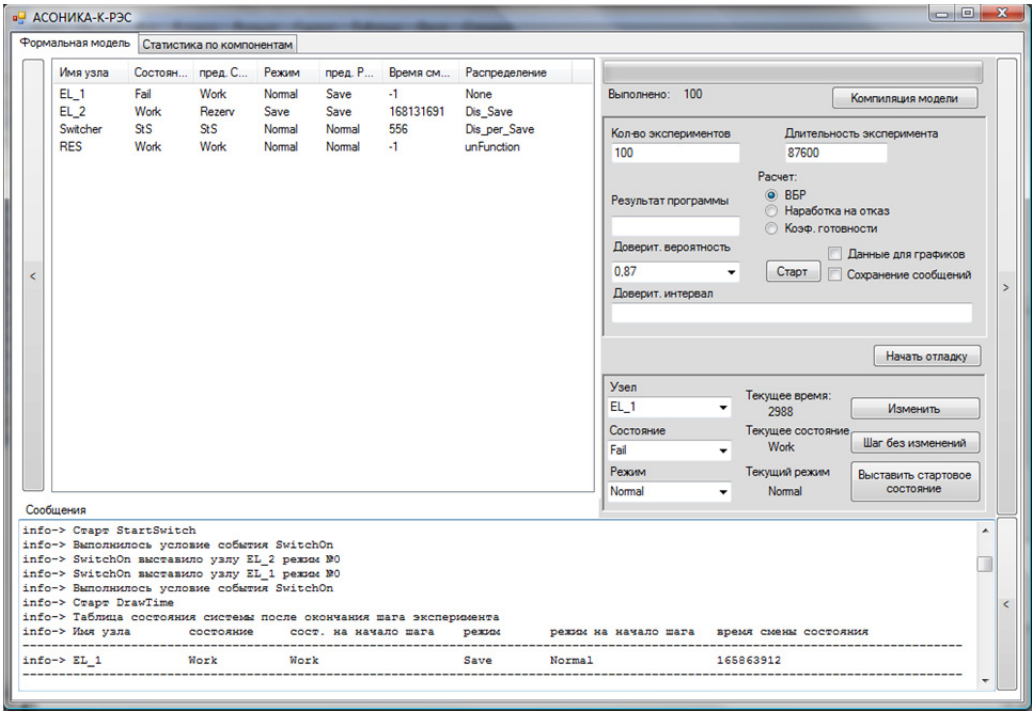


Рис. 1. Система АСОНИКА-К-РЭС: Интерфейс пользователя

В настоящий момент ведутся работы по реализации системы АСОНИКА-К-РЭС в формате *SaaS*, структура которой приведена рис. 2.

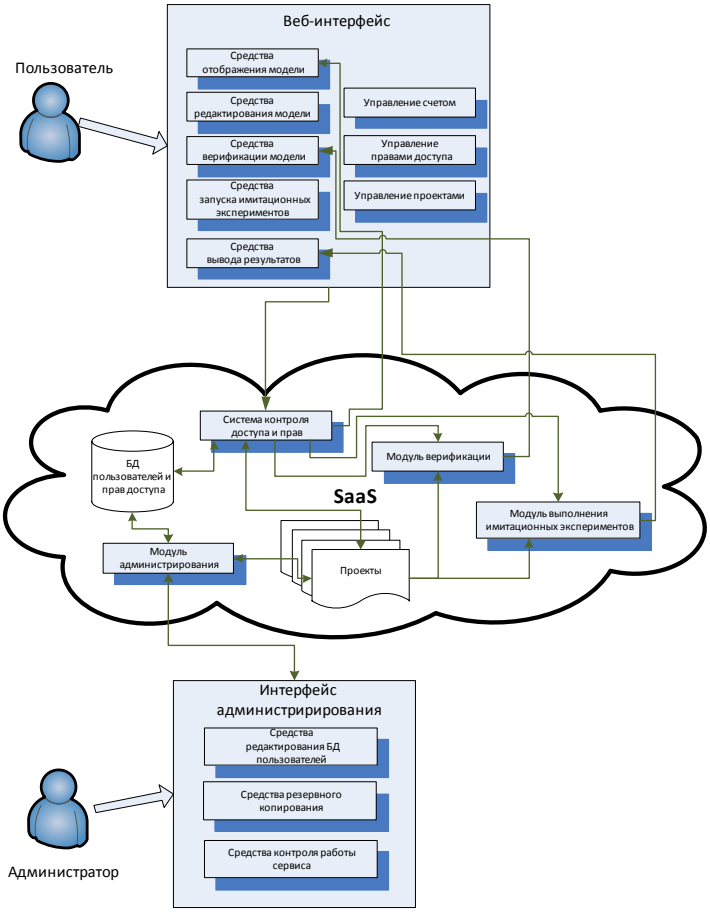


Рис. 2. Структура системы АСОНИКА-К-РЭС в формате *SaaS*

Предполагается, что пользователь будет взаимодействовать с сервисом только через веб-интерфейс. Посредством веб-интерфейса будет проводиться ввод и редактирование модели, а также ее верификация. Кроме непосредственной работы с моделью, веб-интерфейс должен предоставлять контроль условий доступа к сервису и инструменты подачи заявки на продление услуг. Учет прав доступа осуществляет система контроля пользователей, это центральный узел всей системы. Для ее работы используется база данных пользователей и хранилище проектов, из которого выбираются только те, которые принадлежат конкретному пользователю. Разработка системы контроля пользователей является главной задачей, так как она должна обеспечивать основную часть функционирования сервиса и обеспечивать безопасность конфиденциальной информации пользователя.

Остальные модули, проводящие обработку моделей, элементарные действия верификации в виде тестового воздействия и получения его результата, выполняющие имитационные эксперименты и обрабатывающие их результаты, уже реализованы в составе системы АСОНИКА-К-РЭС и необходимо только реализовать передачу исходных данных от пользователя и результатов к пользователю через веб-интерфейс.

Анализ объема информации, необходимого для передачи, и ожидаемого количества пользователей показал, что необходимо реализовывать систему, изначально базирующуюся на одном сервере, который будет выполнять все задачи (взаимодействие с пользователями и проведение расчетов). При такой реализации структуры системы АСОНИКА-К-РЭС схема использования аппаратных средств будет иметь вид, представленный на рис. 3.

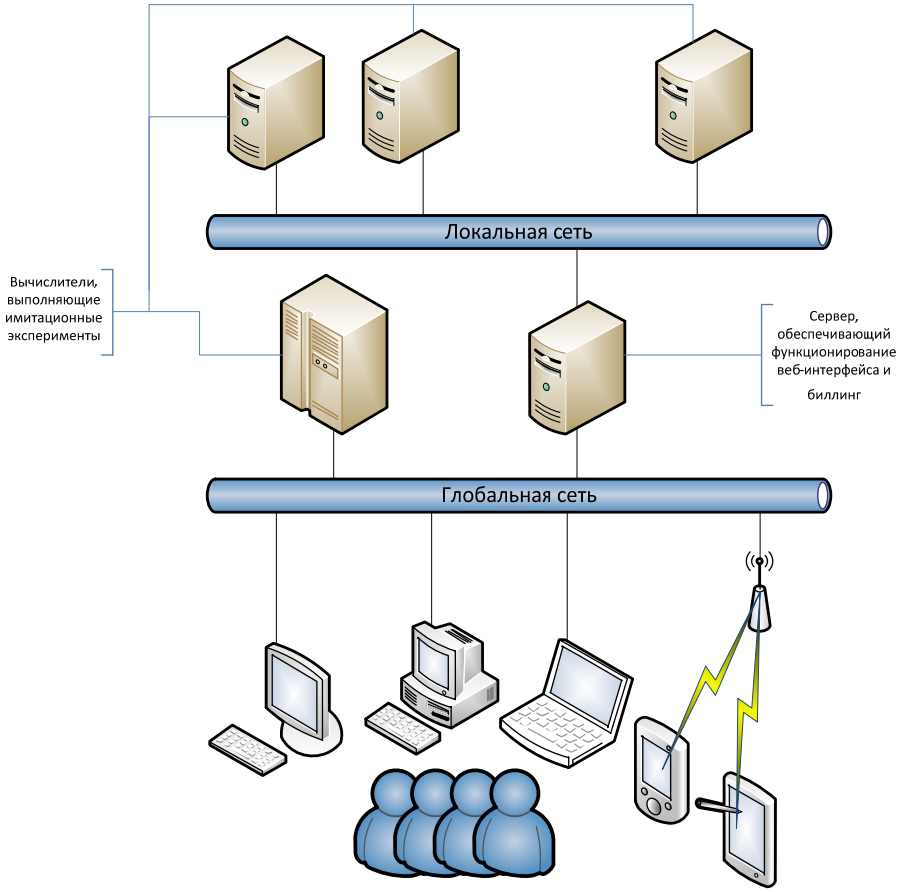


Рис. 3. Схема использования аппаратных средств

В перспективе планируется перенос выполнения имитационных экспериментов на отдельные сервера с целью повысить вычислительную мощность сервиса. Канал связи между серверами может проходить как через локальную, так и через глобальную сеть (в случае аренды серверов). При этом для выполнения остальных задач (взаимодействие с пользователями, управление вычислительными нагрузками) привлекать дополнительные мощности не требуется ввиду относи-

тельно небольшого количествава работающих одновременно клиентов и малого объема передаваемой информации.

В итоге такая реализация должна обеспечить несколько весомых конкурентных преимуществ, которые должны сделать решение привлекательным для потребителя и обеспечить спрос на ПО среди вузов и предприятий, разработки которых не являются секретными.

Так, за счет низкой стоимости начала использования различные предприятия, задействованные в одном проекте для работы над разными частями аппаратуры, могут легко использовать один и тот же инструмент оценки надежности и взаимодействовать друг с другом при построении моделей.

Кроме того, облегчается использование метода имитационного моделирования при проектировании ЭС, сложность структуры которых выходит за рамки ограничений традиционных методов ее анализа, а такая ситуация неизбежно возникает у разработчиков бортовой аппаратуры космических аппаратов. Также весомым аргументом именно для системы АСОНИКА-К-РЭС является возможность дистанционной верификации модели [12].

Таким образом, форма *SaaS* в данном случае удачно дополняет функционал системы АСОНИКА-К-РЭС, которая и без нее имеет ряд преимуществ за счет реализации методов имитационного моделирования в форме, пригодной для использования инженерами-разработчиками ЭС.

В заключение отметим, что в сфере, более тесно знакомой с *SaaS* (бизнес-приложения), уже наметилась тенденция к падению интереса к ПО в форме *SaaS*, как таковому. При выборе решения больше ориентируются на функциональность и возможности ПО, чем на форму его реализации.

В сфере проектирования аналогичного бума *SaaS* еще не было, и если он и будет, то вероятно гораздо меньший по объему в силу указанных выше причин. Поэтому текущая концепция проекта, когда в красивую обертку *SaaS* «заворачивается» ПО, изначально имеющее ряд инструментов и возможностей, в которых нуждаются потенциальные потребители, а «обертка» *SaaS* добавляет продукту доступности, выглядит весьма перспективной.

Список литературы

1. Колесников, А. Модель SaaS – в мире и в России / А. Колесников // BYTE Россия : журнал для ИТ-профессионалов. – 2008. – № 10. – С. 38–46.
2. URL: http://www.cnews.ru/news/top/index.shtml?2009/02/03/336541
3. Рынок САПР одним из последних уйдет в «облака»? – URL: http://konstruktor.net/podrobnee-sapr/items/rynok-sapr-odnim-iz-poslednix-ujdet-v-oblaka.html.
4. Green, R. Облачные технологии в САПР / Robert Green // CAD/cam/cae Observer. – 2010. – № 6. – С. 30–33.
5. What Does That Server Really Serve? – URL: http://bostonreview.net/BR35.2/stallman.php
6. Рейтинг SaaS инструментов. Онлайн бухгалтерия на высоте. – URL: http://www.livebusiness.ru
7. Половко, А. М. Основы теории надежности / А. М. Половко, С. В. Гуров. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.
8. Строганов, А. В. Обзор программных комплексов по расчету надежности сложных технических систем / А. В. Строганов, В. В. Жаднов, С. Н. Полесский // Компоненты и технологии. – 2007. – № 5 (70). – С. 74–81.
9. Ушаков, И. А. Надежность: прошлое, настоящее, будущее. Обзор / И. А. Ушаков // Методы менеджмента качества. – 2001. – № 6.
10. Информационная технология обеспечения надежности сложных электронных средств военного и специального назначения / В. В. Жаднов, Д. К. Авдеев, В. Н. Кулыгин, С. Н. Полесский, А. Н. Тихменев // Компоненты и технологии. – 2011. – № 6. – С. 168–174.
11. Тихменев, А. Н. Применение имитационного моделирования для исследования надежности электронных средств со сложной структурой / А. Н. Тихменев // Инновационные информационные технологии : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. С. У. Увайсова. – М. : МИЭМ, 2012. – С. 326–331.
12. Юрков, Н. К. Структура и программно-информационное обеспечение информационно-измерительного лабораторного комплекса / Н. К. Юрков, Н. В. Горячев, А. В. Лысенко // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2012. – Т. 130, № 5. – С. 169–173.

УДК 621.396.6

Жаднов, В. В.

«Облачные» технологии в автоматизации расчетной оценки надежности структурно-сложных электронных средств / В. В. Жаднов, А. Н. Тихменев // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 3. – С. 41–47.

Жаднов Валерий Владимирович
кандидат технических наук, доцент,
кафедра радиоэлектроники и телекоммуникаций,
Московский институт электроники и математики
Национального исследовательского университета
«Высшая школа экономики»
109028, Россия, г. Москва,
Б. Трехсвятительский пер., 3
(8-495) 916-88-80
E-mail: vzhadnov@hse.ru

Тихменев Александр Николаевич
аспирант,
кафедра радиоэлектроники и телекоммуникаций,
Московский институт электроники и математики
Национального исследовательского университета
«Высшая школа экономики»
109028, Россия, г. Москва,
Б. Трехсвятительский пер., 3
(8-495) 916-88-80

Аннотация. В статье рассматривается возможность создания программного обеспечения для расчетов надежности электронных средств с использованием технологии «облачных» вычислений. Показано, что использование модели *SaaS* наиболее эффективно для программного обеспечения, реализующего методы имитационного моделирования на примере системы АСОНИКА-К-РЭС.

Ключевые слова: электронные средства, надежность, имитационное моделирование, облачные вычисления.

Zhadnov Valeriy Vladimirovich
candidate of technical scienses, associate professor,
sub-department of radio electronic
and telecommunications,
Moscow institute of electronic and mathematic
of National Research University
«High School of Economics»,
109028, 3 Trekhsvyatitel'skiy lane, Moscow, Russia
(8-495) 916-88-80
E-mail: vzhadnov@hse.ru

Tikhmenev Aleksandr Nikolaevich
postgraduate student,
sub-department of radio electronic
and telecommunications,
Moscow institute of electronic and mathematic
of National Research University
«High School of Economics»
109028, 3 Trekhsvyatitel'skiy lane, Moscow, Russia
(8-495) 916-88-80
E-mail: alextikhmenev@gmail.com

Abstract. The article considers the possibility of software creation for calculation of reliability of electronic equipment with the use of technology of cloud computing. It is shown that using the SaaS model is the most effective for the software that implements of the simulation methods of the system ASONIKA-K-RES as an example.

Key words: electronic equipment, reliability, simulation method, cloud computing.

УДК 001.891.5

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

А. М. Михеев, И. Ю. Семочкина

Безопасная эксплуатация пространственно-распределенных технически сложных объектов (РТСО) [1] предполагает осуществление мониторинга и контроля их технических состояний. Основная сложность построения систем мониторинга РТСО заключается в необходимости обеспечения существенного расширения территории контроля при сохранении оперативности предоставления информации лицу, принимающему решения (ЛПР). Обычно для обеспечения оперативного реагирования на нештатные и аварийные ситуации необходимо обеспечить работу в реальном времени [2, 3].

Для решения этой задачи информацию о РТСО, его структуре и параметрах элементов целесообразно представить в виде структуры данных, отражающих текущее техническое состояние РТСО с добавлением его позиции на карте местности.

Под словом «структура» (от латинского *structura* – строение, расположение, порядок) подразумевается «устойчивая картина взаимных отношений элементов целостного объекта». Под структурой информации будем также подразумевать систему взаимоотношений информационных объектов, а под *структурированием* информации – выделение информационных объектов из информационной среды соответствующей предметной области, и установление связей между информационными объектами, обеспечивающими адекватное восприятие информации в соответствии с выделенными целями.

Структурирование информации в виде совокупности информационных объектов и связей между ними должно обеспечить формирование *цельного образа исследуемой информационной среды.* Информационные объекты формируются в соответствии с целями и потребностями индивидуальных пользователей, их частными целями и решаемыми задачами, однако их структура главным образом определяется существующей инфраструктурой информационной среды, включающей системы сбора обработки и хранения информации.

Такая структура информации предоставляет возможность осуществить комплекс мероприятий, направленных на прогнозирование изменения технического состояния РТСО, что важно для его эффективной и безопасной эксплуатации. Для удобства принятия решений использовались алгоритмы интеллектуального анализа данных *Data Mining* [4], а также графические приложения, используемые в ГИС-технологиях.

Data Mining – технология интеллектуального анализа данных с целью выявления скрытых закономерностей в виде значимых особенностей, корреляций, тенденций и шаблонов. В основу технологии *Data Mining* положена концепция шаблонов, отражающих фрагменты многоаспектных взаимоотношений в данных. Эти шаблоны представляют собой закономерности, свойственные выборкам данных, которые могут быть компактно выражены в понятной человеку форме. Поиск шаблонов производится методами, не ограниченными рамками априорных предположений о структуре выборки и виде распределений значений анализируемых показателей.

Отображение структуры данных существенно влияет на адекватность решений, принимаемых ЛПР при мониторинге и контроле состояния РТСО. Последние достижения в области передачи и представления пространственной информации привели к тому, что современные геоинформационные системы (ГИС) более активно используются в различных сферах: от сферы услуг до производства и безопасности. Применение ГИС для отображения пространственной инфраструктуры данных позволяет сделать этот процесс более наглядным и гармоничным. Они могут дать более полное представление о структуре РТСО, нежели экранные формы и мнемосхемы, и

имеют возможность просмотра объектов с любой точки пространства. Применение пространственной инфраструктуры РТСО в ГИС позволяет упростить процессы планирования, контроля и принятия решений, что особенно важно при контроле элементов РТСО. Таким образом, задача организации мониторинга и контроля текущего состояния РТСО уточнения их математических и информационно-структурных моделей для управления их состоянием и планирования адекватных мер по обеспечению безопасного функционирования с применением ГИС является актуальной.

В процессе проектирования и разработки информационной системы (ИС) мониторинга и контроля удаленного РТСО, для обеспечения возможности предоставления консолидированной информации о РТСО использовались алгоритмы интеллектуального анализа данных *Data Mining* [2], для визуального контроля распределенного РТСО было принято решение использовать возможности ГИС. Главными особенностями, реализованными в процессе разработки ИС мониторинга и контроля удаленного РТСО, включающей в себя интеллектуальные многофункциональные датчики, унифицирующие измерительные преобразователи, средства хранения и цифровой обработки информации, соединенные между собой каналами связи, являются обеспечение и соблюдение следующих основных требований:

– обмен данными между удаленным объектом и ИС;

– удаленный, визуальный контроль пространственной структуры с предоставлением консолидированной информации о состоянии физического объекта;

– визуализация пространственной информации, которая должна отображать объекты при ориентации на современные программные среды, привязывать к графическим объектам произвольную информацию, предоставлять возможность использования графических материалов, накопившихся при работе с другими графическими системами, а также обеспечивать ряд необходимых сервисных возможностей.

Визуализация пространственной структуры РТСО осуществляется за счет использования *API*, реализованных в библиотеке *OpenLayers* [5]. В качестве программной платформы для разработки использовалась *MS Visual Studio 2010* , язык программирования – *C#* [6] и *JavaScript* [7].

Библиотека *OpenLayers* позволяет очень быстро и легко создать web-интерфейс для отображения картографических материалов, представленных в различных форматах и расположенных на различных серверах. Благодаря *OpenLayers* предоставляется возможность создать, к примеру, собственную карту, включающую слои, предоставляемые *WMS* (и *WFS*) серверами, такими как *OpenStreetMap* или *Geoserver*, и данными картографических сервисов *Google*. Помимо собственно визуализации *WMS* и *WFS* слоев на единой *web*-карте, а также редактирования предоставляемых данных (только для *WFS-T* серверов) *OpenLayers* обладает следующими возможностями:

– добавления на карту панели навигации (включена по умолчанию). На панели находятся кнопки сдвига карты (север-юг, запад-восток), увеличение и уменьшение масштаба;

– сдвиг карты с помощью мыши;

– изменение масштаба карты при прокрутке среднего колеса мыши;

– получение координат точки, над которой находится указатель мыши;

– добавление панели управления видимостью/невидимостью слоев карты;

– выбор произвольного объекта и получение атрибутивной информации о нем;

– управление прозрачностью используемых слоев карты;

– добавление к карте определяемых пользователем элементов (точек, линий, полигонов).

В *OpenLayers API* есть два основополагающих понятия, идентичных аналогичным предложениям *Mapserver*, – это объекты *Map* и *Layer*. *Map* хранит информацию о проекции, географическом охвате, единицах измерения и других параметрах карты в целом. Внутри карты (*Map*) данные задаются посредством одного или нескольких объектов *Layer*. *Layer* содержит информацию о слоях данных, которые будут помещены на карту, и о том, как каждый из этих слоев должен отображаться на карте. Алгоритм настройки объекта для визуализации пространственной информации включает в себя следующую последовательность:

1. Создание и настройка объекта *Settings*. В контексте данного объекта осуществляются настройка параметров позиционирования карты, адресов серверов с пространственной информацией, настройка параметров масштабирования и разрешения изображений, параметры измерения и буферизация.

2. Создание слоя карты для визуализации основной ландшафтной информации и слоя для осуществления обработки действий пользователя.

3. Инициализация объекта *Map* и передача ему соответствующих настроек и параметров.

Далее на рис. 1 представлен листинг на языке *JavaScript,* на котором представлен механизм настройки объекта *map*, обеспечивающего отображение информации об исследуемом РТСО на карте местности.

```
var Settings = {};
Settings.mapBounds = [488000, 5884000, 516000, 5905000];
var map;
var bounds = new OpenLayers.Bounds(Settings.mapBounds[0], Settings.mapBounds[1], Set-
tings.mapBounds[2], Settings.mapBounds[3]);
var popupBounds = new OpenLayers.Bounds(50, 50, 50, 50);
var options = { maxExtent: bounds, controls: [], numZoomLevels: 4, resolutions: [30, 14,
6, 2.5, 1.2, 0.5], projection: "EPSG:4326", units: "degrees", paddingForPopups:
popupBounds, buffer: 1 };
var map;
var map;
var fixSize = function () {
  window.scrollTo(0, 0);
  document.body.style.height = '100%';
  if (!(/(iphone|ipod)/.test(navigator.userAgent.toLowerCase()))) {
    if (document.body.parentNode) {
      document.body.parentNode.style.height = '100%';
    }
  }
};
setTimeout(fixSize, 1500);
var init = function () {
  map = new OpenLayers.Map('map', options);
  var iMap = new OpenLayers.Layer.WMS(
              "buffer 0 OpenLayers WMS", Settings.tileServers,
              { layers: 'basic' },
          { transitionEffect: "resize", IsBaseLayer: true }
             );
  var openStreetMap = new OpenLayers.Layer.OSM("OpenStreetMap", null, {
    transitionEffect: 'resize'
  });
  var vector = new OpenLayers.Layer.Vector("Vector Layer", {});
  map.addLayers([iMap, vector]);
  map.addControl(new OpenLayers.Control.Attribution());
  map.addControl(new OpenLayers.Control.TouchNavigation({ dragPanOptions: { enableKinet-
ic: true} }));
  map.addControl(new OpenLayers.Control.Zoom());
  map.zoomToMaxExtent();
};
```

Рис. 1. Настройка объекта *map* для визуализации пространственной информации.

Таким образом, разработан макетный образец, который предоставляет возможность осуществить визуализацию пространственной структуры данных описывающей РТСО на карте местности. Расширение зоны контроля и выделение структуры РТСО в виде пространственной информации позволяет оперативно реагировать на предотвращения критического состояния РТСО. Применение современных ГИС-технологий и алгоритмов интеллектуального анализа данных позволило существенно упростить процесс мониторинга и контроля состояния РСТО. Визуализация пространственной информации осуществляется средствами *OpenLayers*.

Список литературы

1. Системы интеллектуального анализа данных: методология, реализация, приложения : моногр. / под науч. ред. А. Г. Дмитриенко. – Пенза : Приволжский Дом знаний, 2012. – 164 с.
2. Юрков, Н. К. Интеллектуальные компьютерные обучающие системы : моногр. / Н. К. Юрков. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2010. – 304 с.

3. Модели объекта изучения интеллектуальной компьютерной обучающей системы / Н. К. Юрков, В. А. Трусов, И. Д. Граб, В. Я. Баннов, А. В. Затылкин // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2009. – Т. 1. – С. 237–239.
4. Барсегян, А. А. Технологии анализа данных / А. А. Барсегян // Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP. – СПб. : БХВ-Петербург, 2007. – 384 с.
5. Hazzard, E. OpenLayers 2.10 Beginner's Guide / E. Hazzard. – N.Y., 2011. – 372 с.
6. Эспозито, Д. Microsoft ASP.NET 2.0 базовый курс / Д. Эспозито. – М. : Вильямс, 2007. – 688 с.
7. Флэган, Д. JavaScript. Подробное руководство / Д. Флэган. – М., 2008. – 992 с.

УДК 001.891.5

Михеев, А. М.

Интеллектуальная геоинформационная система мониторинга и контроля состояний пространственно распределенных технически сложных объектов / А. М. Михеев, И. Ю. Семочкина // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 3. – С. 48–51.

Михеев Алексей Михайлович
аспирант,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
8-987-503-35-42
E-mail: dagas_88@mail.ru

Семочкина Ирина Юрьевна
кандидат технических наук, доцент,
кафедра информационных технологий и систем,
Пензенский государственный
технологический университет,
440039, Россия, г. Пенза, проезд Байдукова/
ул. Гагарина, 1а/11
8-905-015-89-90
E-mail: ius@pgta.ru

Аннотация. Процессы, реализуемые системами мониторинга и контроля распределенных технически сложных объектов (ТСО), носят сложный, динамичный и, как правило, случайный характер. При управлении такими процессами возникает проблема принятия обоснованных решений в условиях дефицита времени и необходимости обобщения и структурирования большого количества информации для обеспечения их безопасной эксплуатации. Одним из путей решения этой проблемы является применение геоинформационных систем в составе системы мониторинга и контроля распределенного ТСО.

Ключевые слова: интеллектуальные геоинформационные системы, мониторинг, технически сложные системы.

Mikheev Aleksey Mikhaylovich
postgraduate student,
sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia
8-987-503-35-42
E-mail: dagas_88@mail.ru

Semochkina Irina Yur'evna
candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of information technologies and systems,
Penza State University of Technology,
440039, 1a/11 Baydukova lane/Gagarina street,
Penza, Russia
8-905-015-89-90
E-mail: ius@pgta.ru

Abstract. The processes realized by systems for monitoring and control of distributed technically complex objects are complex, dynamic, and usually. In managing such processes a problem is to make decisions under time pressure and the need for generalization and structuring large amounts of data to ensure their safe operation. One solution to this problem is the use of geoinformation systems in the monitoring and control of distributed technically complex objects.

Key words: intellectual geoinformation systems, monitoring, technically complex objects.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

УДК 62.50 519.6

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ МЕТОДОМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ[1]

А. И. Дивеев, Е. Ю. Шмалько

Введение

Современные достижения робототехники начинают использоваться во всех новых прикладных областях, связанных с проведением работ в условиях повышенного риска и неопределенности. Парадигмы нового времени предполагают построение автономных мобильных систем без включения в них представителей внешнего мира. Такие роботы должны самостоятельно принимать решения в сложной и заранее неопределенной обстановке, поэтому автономные роботы должны обладать интеллектуальной системой управления.

Основная сложность, связанная с решением задачи синтеза системы управления, состоит в организации автоматического поиска самой структуры функции управления, а не только ее параметров.

Постановка задачи

Эффективным средством, позволяющим решить задачу синтеза управления, может выступать предложенный метод сетевого оператора [1–6] с алгоритмом поиска методом интеллектуальной эволюции [7]. Такой подход позволяет исключительно за счет средств вычислительной машины вырабатывать управление с учетом динамики протекания процессов в реальном времени, компенсируя неточности математической модели.

Рассмотрим задачу синтеза системы управления мобильным роботом. Математическая модель объекта управления имеет вид

$$\dot{x} = (u_l + u_r)\cos\phi / 2\,, \tag{1}$$

$$\dot{y} = (u_l + u_r)\sin\phi / 2\,, \tag{2}$$

$$\dot{\phi} = \pi(u_l - u_r) / 2\,, \tag{3}$$

[1] Работа выполнена по гранту РФФИ №10-08-00532-а.

где x, y – координаты положения центра масс объекта на плоскости, φ – угол между вектором скорости объекта и осью x, u_l, u_r – компоненты вектора управления $\mathbf{u} = [u_l \quad u_r]^T$, регулирующие уровень напряжения на левом и правом двигателях колес робота.

Заданы ограничения на управление

$$-1 \le u_l \le 1,\ -1 \le u_r \le 1. \tag{4}$$

В отличие от модели машины Дубинса [8] компоненты управления могут иметь отрицательные значения.

Заданы функционалы, определяющие критерии качества управления

$$J_1 = E(t_f) \to \min, \tag{5}$$

$$J_2 = t_f \to \min, \tag{6}$$

где $E(t_f)$ – терминальная ошибка,

$$E(t_f) = |x(t_f) - x_f| + |y(t_f) - y_f| + |\phi(t_f) - \phi_f|,$$

t_f – длительность процесса управления,

$$t_f = \begin{cases} t, & \text{если } E(t_f) \le \varepsilon \\ t^+ & \text{– иначе} \end{cases},$$

ε – малая положительная величина, t^+ – максимальное время процесса управления, x_f, y_f, ϕ_f – терминальные условия.

Задано множество начальных значений

$$\mathrm{X}_0 = \left\{ [x_{0,1}, y_{0,1}, \phi_{0,1}]^T, \ldots, [x_{0,k}, y_{0,k}, \phi_{0,k}]^T \right\}. \tag{7}$$

Необходимо синтезировать систему управления в виде

$$\mathbf{u} = \mathbf{g}(\mathbf{x}, \mathbf{q}), \tag{8}$$

где $\mathbf{q} = [q_1 \ldots q_R]^T$ – вектор параметров, значения которого находим в процессе решения задачи.

Для поиска решения задачи синтеза (1)–(8) используем метод сетевого оператора [1–6], который использует специальную структуру данных, представляющую математическое выражение в форме целочисленной матрицы. Метод включает создание множества возможных решений и поиск в нем лучшего решения с помощью генетического алгоритма. В подавляющем большинстве работ по методу сетевого оператора используется генетический алгоритм, построенный на принципе вариации базисного решения. Такой подход ограничивает область поиска и способен найти решение при удачном выборе базиса [11–12].

В настоящей работе рассматривается другой алгоритм для поиска решения в виде сетевого оператора. Алгоритм включает этап создания нескольких базисных решений на основе анализа характеристик множества возможных решений. Данный алгоритм называем методом интеллектуальной эволюции.

Общую схему алгоритма интеллектуальной эволюции можно описать следующими этапами.

1. Инициализация, генерация множества возможных решений.

2. Оценка каждого возможного решения по критериям качества. Для многокритериальной оптимизации в качестве оценки используется ранг множества Парето, который указывает для каждого решения количество возможных решений лучших в смысле Парето, чем оцениваемое решение.

3. Выбор базисных решений по рангу Парето.

4. Распределение возможных решений по базисам обратно пропорционально рангу Парето.

5. Создание новых возможных решений на основе операций генетического алгоритма: отбор, скрещивание и мутация.

6. Улучшение множества возможных решений за счет замены плохих решений новыми хорошими возможными решениями.

7. После прохождения определенного количества циклов происходит формирование новых базисных решений.

8. Проверка условий остановки алгоритма по количеству циклов или критерию нахождения точного решения.

Рассмотрим этапы алгоритма подробнее. Множество сетевых операторов $\Xi = \left\{ G^i, i = 0,... \right\}$ определяет пространство поиска решений. Любой сетевой оператор $G^i \in \Xi$ соответствует определенному математическому выражению

$$G^i \Leftrightarrow g^i(x,q) \ . \tag{9}$$

От множества Ξ сетевых операторов зависит решение задачи (1) − (8) поиска оптимального математического выражения.

Для построения множества Ξ сетевых операторов задаем первоначально одну базисную матрицу $\mathbf{\Psi}^0$, представляющую собой одно из возможных решений задачи, построенное на основе опыта разработчика. Для базисного решения задаем начальный набор нулевых векторов вариаций:

$$\mathbf{W}^0 = \left(\mathbf{w}^{01}, ..., \mathbf{w}^{0l} \right),$$

$$\mathbf{w}^{0i} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T, \ i = \overline{1,l}.$$

Нулевой набор не меняет базисное решение.

Далее генерируем родительскую популяцию, представляющую собой упорядоченное множество векторов вариаций

$$\mathbf{W}^i = \left(\mathbf{w}^{i,1}, ..., \mathbf{w}^{i,l} \right), \ i = \overline{1,H} \ , \tag{10}$$

где H – количество возможных решений. Эти вариации определяют вариации структуры управления.

Параметрическую часть каждого возможного решения генерируем с помощью кода Грея в виде битовых строк

$$\mathbf{s}^i = \left[s_1^i, ..., s_{p(c+d)}^i \right]^T, \ i = \overline{1,H} \ , \tag{11}$$

где p – число параметров, c – число бит под целую часть, d – число бит под дробную часть числа. Получаем множество возможных решений, состоящее из пар $\mathbf{W}^j$ и $\mathbf{s}^j$:

$$\left(\mathbf{W}^j, \mathbf{s}^j \right) \ , \ j = \overline{1,H}. \tag{12}$$

Производим оценку множества возможных решений. Для каждого возможного решения $\left(\mathbf{W}^j, \mathbf{s}^j \right)$, $1 \le j \le H$ вычисляем значения функционалов (5), (6) путем построения матрицы сетевого оператора $\mathbf{\Psi}^j$: $\mathbf{\Psi}^j = \mathbf{W}^{j,l} \circ ... \circ \mathbf{W}^{j,1} \circ \mathbf{\Psi}^0$ и перевода параметрической части картежа из двоичного кода в вектор параметров $\mathbf{q}^i = \left[q_1{}^i \ldots q_p{}^i \right]^T$.

Оцениваем решения по рангу Парето. Для каждого оцениваемого решения $\left(\mathbf{W}^j, \mathbf{s}^j \right)$ вычисляем

$$\Lambda_j = \sum_{k=1}^{H} \lambda_k(J^j) \ , \tag{13}$$

где

$$\lambda_k(J^j) = \begin{cases} 1, \text{ если } J^k \le J^j \\ 0 - \text{иначе} \end{cases} .$$

Все возможные решения сортируем по показателю Λ_j.

На основе исходного базисного решения $\mathbf{\Psi}^0$ и заданного числа k_b, лучших с точки зрения расстояния до множества Парето возможных решений $\left(\mathbf{W}^j, \mathbf{s}^j\right)$, формируем множество базисов $\mathbf{\Psi}^{0,i}$, $i = \overline{1, k_b}$. Каждому из новых базисов ставим в соответствие значение вероятности его использования P_i, обратно пропорциональное рангу Парето. Формируем новое множество возможных решений, распределяем вновь сформированные базисы по половине популяции с вероятностью P_i, для оставшейся половины популяции сохраняем исходный базис

$$\left(\mathbf{W}^i, \mathbf{s}^i, n_i\right), \ i = \overline{1, H} \ , \tag{14}$$

где n_i – номер базиса из множества $\mathbf{\Psi}^{0,n_i}$, $i = \overline{0, k_b}$, $\mathbf{\Psi}^{0,0} = \mathbf{\Psi}^0$.

Данный подход реализует идею нового пчелиного алгоритма [9], который формирует подмножества возможных решений, пропорциональные оценке качества найденных базисов.

Формирование новых возможных решений осуществляем с помощью классических операций генетического алгоритма: отбора, скрещивания, мутации. Причем эти операции реализуем как для структурной, так и параметрической части кода возможных решений.

При улучшении множества возможных решений используем идеи культурного алгоритма [10]. Формируем множества возможных решений по ситуационным и нормативным характеристикам. В качестве ситуационной характеристики используем оценки критериев наихудшего решения. Все новые решения должны иметь оценки не хуже, чем наихудшее. При включении нового решения во множество отбрасываем наихудшее решение, улучшая тем самым ситуационную характеристику множества решения. Нормативную характеристику определяем множеством базисных решений. Все рассматриваемые решения должны находиться в окрестности базисных решений, которые, в свою очередь, формируем на основе исходного базисного решения.

После заданного количества циклов производим смену эпохи, формируем новые базисные решения $\mathbf{\Psi}^{0,n_i}$.

Решением задачи считаем новое множество Парето, построенное из решений, имеющих нулевые ранги Парето:

$$\Pi^0 = \left\{\left(\mathrm{W}^{i_k}, \mathbf{s}^{i_k}, n_{i_k}\right), \Lambda_{i_k} = 0, 1 \le i_k \le H, k = \overline{1, K}\right\}. \tag{15}$$

Приведем результаты численного синтеза системы управления колесным мобильным роботом.

Мобильный робот должен пройти по пространственной траектории, заданной точками на плоскости $\{x, y\}$

$$\mathrm{T} = \left(\begin{bmatrix} x_i^f & y_i^f \end{bmatrix}^T : i = \overline{1, k}\right) . \tag{16}$$

Рассматривалась траектория из восьми точек:

$$\mathrm{T} = \left([1 \quad 1]^T, [2 \quad 0]^T, [1 \quad -1]^T, [0 \quad 0]^T, [-0.5 \quad -0.5]^T, [1 \quad 1.5]^T, [2.5 \quad 0]^T, [1 \quad 1.5]^T\right) .$$

Для поиска решения использовали алгоритм интеллектуальной эволюции со следующими параметрами: мощность исходного множества возможных решений 1023; количество поколений

256; число скрещиваний в одном поколении 256; число поколений между сменой базисных решений 32; количество базисных решений 5; вероятность мутации 0,7.

На первом этапе решалась задача попадания в терминальную точку $x^f = 0$, $y^f = 0$ с помощью одной синтезирующей функции из различных восьми начальных значений:

$$\mathbf{x}^{0,1} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & \pi/4 \end{bmatrix}^T, \ \mathbf{x}^{0,2} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & \pi/4 \end{bmatrix}^T, \ \mathbf{x}^{0,3} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & \pi/4 \end{bmatrix}^T, \ \mathbf{x}^{0,4} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & \pi/4 \end{bmatrix}^T,$$
$$\mathbf{x}^{0,5} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & \pi/4 \end{bmatrix}^T, \ \mathbf{x}^{0,6} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & \pi/4 \end{bmatrix}^T, \ \mathbf{x}^{0,7} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \pi/4 \end{bmatrix}^T, \ \mathbf{x}^{0,8} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \pi/4 \end{bmatrix}^T.$$

В качестве критериев оптимальности использовали критерии быстродействия и точность движения попадания в терминальную точку.

На втором этапе использовалось полученное синтезированное управление при движении робота по пространственной траектории (16).

В результате было получено следующее решение

$$u_l = \begin{cases} 1, & \text{если } \tilde{u}_l \ge 1 \\ \tilde{u}_l, & \text{если } -1 < \tilde{u}_l < 1 \\ -1, & \text{если } \tilde{u}_l \le -1 \end{cases}, \quad u_r = \begin{cases} 1, & \text{если } \tilde{u}_r \ge 1 \\ \tilde{u}_r, & \text{если } -1 < \tilde{u}_r < 1 \\ -1, & \text{если } \tilde{u}_r \le -1 \end{cases},$$

где

$$\tilde{u}_l + \tilde{u}_r = \operatorname{sgn}\left(A - A^3 + B + q_3\right) + 1,$$

$$\tilde{u}_l - \tilde{u}_r = \operatorname{sgn}(A)\left(e^{|A|} + 1\right)\operatorname{sgn}(A)\left(\ln|A| + 1\right),$$

$$A = \left(\operatorname{arctg}\frac{y^f - y}{x^f - x} - \phi\right)q_2,$$

$$B = \operatorname{sgn}\left(\left(x^f - x\right)\dot{x} + \left(y^f - y\right)\dot{y}\right)\Delta(x, y)q_1,$$

$$\Delta(x, y) = \sqrt{\left(x^f - x\right)^2 + \left(y^f - y\right)^2},$$

$$q_1 = 3{,}87744, \ q_2 = 3{,}75513, \ q_3 = 0{,}02355.$$

На рис. 1–4 приведены результаты моделирования полученной системы управления.

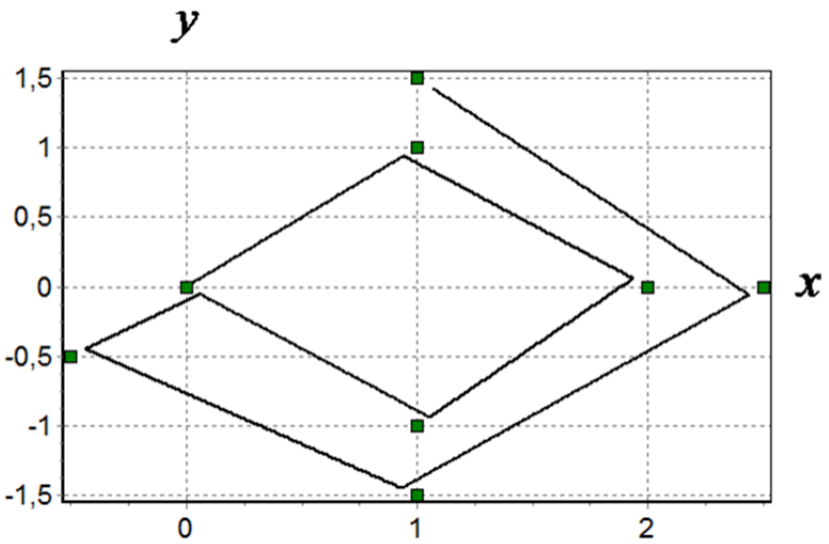


Рис. 1. Траектория движения объекта на плоскости

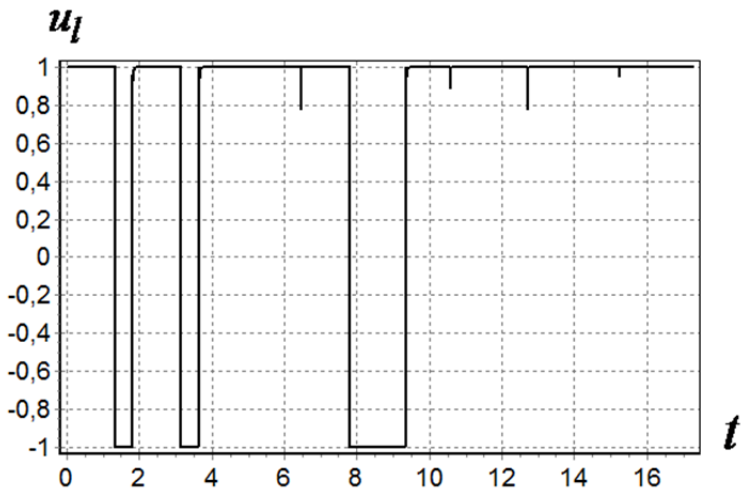


Рис. 2. Управление u_l при движении по траектории

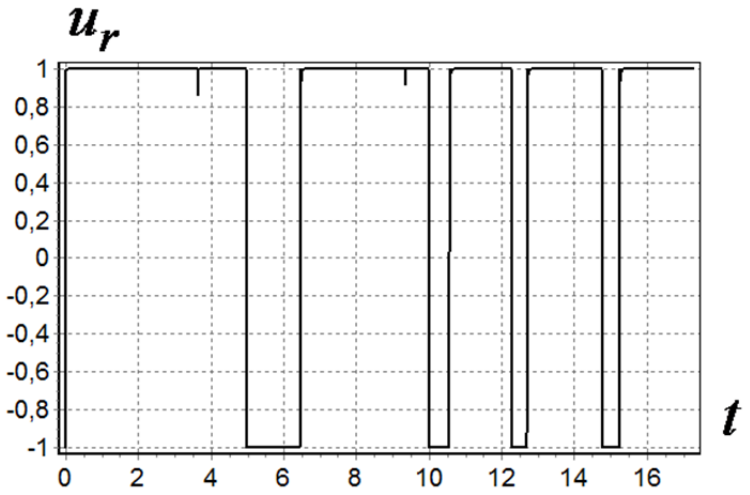


Рис. 3. Управление u_r при движении по траектории

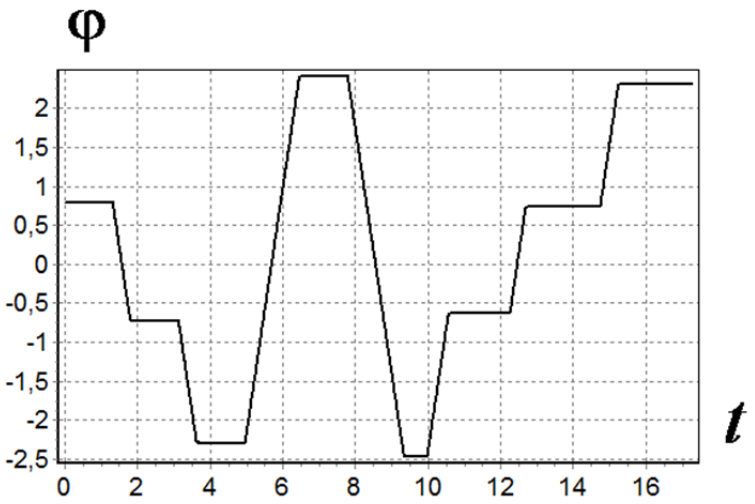


Рис. 4. Управление u_r при движении по траектории

Из графика, приведенного на рис. 1, видно, что объект управления движется точно по траектории, сохраняя прямолинейное направление между заданными точками независимо от угла направления движения.

Из графиков, приведенных на рис. 2–4, видно, что управление носит импульсный характер, что соответствует характеру оптимального по быстродействию управления.

Список литературы

1. Дивеев, А. И. Метод сетевого оператора / А. И. Дивеев. – М. : ВЦ РАН, 2010. – 178 с.
2. Дивеев, А. И. Метод сетевого оператора и его применение в задачах управления / А. И. Дивеев, Е. А. Софронова. – М. : РУДН, 2012. – 182 с.
3. Дивеев, А. И. Численный метод сетевого оператора для синтеза системы управления с неопределенными начальными значениями / А. И. Дивеев // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2012. – № 2. – С. 63–78.
4. Дивеев, А. И. Синтез системы управления посадкой на Марс / А. И. Дивеев, Е. Ю. Шмалько // Труды ИСА РАН. Динамика неоднородных систем / под ред. чл.-корр. РАН Ю. С. Попкова. – М. : ИСА РАН, Книжный дом ЛИБРОКОМ, 2010. – Вып. 14, Т. 53 (1). – С. 275–281.
5. Дивеев, А. И. Синтез системы управления спуском космического аппарата в атмосфере Марса / А. И. Дивеев, Н. А. Северцев, Е. Ю. Шмалько // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2011. – Т. 1. – С. 379–380.
6. Дивеев, А. И. Синтез адаптивной системы управления методом сетевого оператора / А. И. Дивеев // Вопросы теории безопасности и устойчивости систем : сб. ст. – М. : ВЦ РАН, 2010. – Вып. 12. – С. 41–55.
7. Дивеев, А. И. Применение методов интеллектуальной эволюции для синтеза систем управления / А. И. Дивеев, Е. Ю. Шмалько // Интеллектуальные системы : тр. Десятого междунар. симп. / под ред. К. А. Пупкова. – М. : РУСАКИ, 2012. – С. 54–58.
8. Dubins, L. E. On curves of minimal length with a constraint on average curvature and with prescribed initial and terminal positions and tangents / L. E. Dubins // Amer. J. Math. – 1957. – V. 79. – P. 497–516.
9. The Bees Algorithm – A Novel Tool for Complex Optimisation Problems / D. T. Pham, A. Ghanbarzadeh, E. Koç, S. Otri, S. Rahim, M. Zaidi // Proc. 2nd Virtual International Conference on Intelligent Production Machines and Systems (IPROMS-2006). – Cardiff, UK, 2006. – P. 454–459.
10. Reynolds, R. G. An Introduction to Cultural Algorithms / R. G. Reynolds // Proceedings of the Third Annual Conference on Evolutionary Programming San Diego. – California, February 24–26, 1994. – P. 131–139.
11. Юрков, Н. К. Системные методологии, идентификация систем и теория управления: промышленные и аэрокосмические приложения / Н. К. Юрков, И. А. Гарькина, А. М. Данилов, Э. В. Лапшин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2009. – № 1. – С. 3–11.
12. Юрков, Н. К. Концепция создания автоматизированной системы выбора теплоотвода электрорадиоэлемента / Н. К. Юрков, Н. В. Горячев // Современные информационные технологии. – 2010. – № 11. – С. 171–176.

УДК 62.50 519.6

Дивеев, А. И.

Синтез системы управления мобильным роботом методом интеллектуальной эволюции / А. И. Дивеев, Е. Ю. Шмалько // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 3. – С. 52–59.

Дивеев Асхат Ибрагимович
доктор технических наук, начальник сектора,
Вычислительный центр им. А. А. Дородницына
Российской академии наук,
119333, Россия, г. Москва, Вавилова 40
E-mail: aidiveev@mail.ru

Шмалько Елизавета Юрьевна
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Вычислительный центр им. А. А. Дородницына
Российской академии наук,
119333, Россия, г. Москва, Вавилова 40
E-mail: e.shmalko@gmail.com

Diveev Askhat Ibragimovich
doctor of technical sciences, head of department,
Computing center named after A. A. Dorodnitsyn
of Russian Academy of Sciences,
119333, 40 Vavilov street, Moscow, Russia
E-mail: aidiveev@mail.ru

Shmal'ko Elizaveta Yur'evna
candidate of technical sciences,
senior stuff scientist,
Computing center named after A. A. Dorodnitsyn
of Russian Academy of Sciences,
119333, 40 Vavilov street, Moscow, Russia
E-mail: e.shmalko@gmail.com

Аннотация. Рассмотрена задача синтеза оптимального закона управления колесным мобильным роботом. Задача поиска структуры функции управления и подбора ее параметров в данной работе решается компьютером автоматически с помощью метода сетевого оператора и алгоритма интеллектуальной эволюции. Приведен численный пример решения задачи синтеза на базе разработанного программного комплекса.

Ключевые слова: эволюционный алгоритм, метод сетевого оператора, синтез управления, мобильный робот.

Abstract. The paper discusses the problem of synthesizing an optimal control system for a wheeled mobile robot. The developed approach allows a computer to search automatically the structure of control function and it parameters using the network operator method and intellectual evolution algorithm. The numerical example is shown on the basis of the developed computer program.

Key words: evolutionary algorithm, network operator, control system synthesis, mobile robot.

УДК 004.932.2

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА ПОЛЯ ЗРЕНИЯ ВИДЕОДАТЧИКА

С. С. Садыков, С. В. Савичева, Д. П. Гранченко

Введение

Уровень использования систем технического зрения (СТЗ) в прикладных областях является одним из наиболее ярких и наглядных показателей развития высоких технологий в самых различных областях человеческой деятельности. Традиционно развитие СТЗ связано с промышленным производством [1, 2].

Практически всегда на изображении каждого реального объекта и в поле зрения видеодатчика присутствует шумовая составляющая. Она может возникать из-за несовершенства камеры, износа датчиков освещения, наличия пыли или грязи на обрабатываемой поверхности. Все эти помехи затрудняют распознавание объектов с помощью видеодатчика, и если не уменьшить (в лучшем случае удалить), они могут привести к серьезным ошибкам.

Для избежания подобных ошибок актуальной является задача разработки алгоритма определения возможных ситуаций положения объектов в поле зрения сразу после их получения с видеодатчика с учетом возможных помех.

В поле зрения СТЗ возможны следующие ситуации:

1) пустое поле зрения – в кадре нет ни одного объекта и ни одной помехи;
2) помехи – в кадре нет ни одного объекта;
3) отдельный объект – в кадре находится один отдельный объект и возможно отдельные помехи;
4) два отдельных объекта – два изолированных друг от друга объекта;
5) наложенные объекты – два объекта, которые между собой пересекаются.

Описание алгоритма

Предлагаемый алгоритм состоит из двух этапов.

1. Маркировка и определение ситуации 1 (пустое поле зрения).

Под маркировкой понимается процесс формирования, на основе исходного бинарного изображения, изображения, в котором каждой точке каждого объекта присвоен номер связной компоненты, представляющей собой объект или помеху. Выполняется с использованием алгоритма последовательной разметки, приведенного в [3, 4].

Для обнаружения пустого поля проверяется условие:

$$\begin{cases} \text{если } k = 0, \text{ то пустое поле,} \\ \text{иначе, поле содержит объекты или помехи.} \end{cases} \tag{1}$$

2. Отсев помех и определение ситуаций 2, 3, 4 и 5.

Обозначим площади эталонных объектов как $S_{э1}, S_{э2}, ..., S_{эn}$, а обнаруженных объектов как $S_{o1}, S_{o2}, ..., S_{ok}$. Количество обнаруженных объектов обозначено как k.

Все помехи отсеиваются по площади на основе следующего условия:

$$S_{oi} < B_n, \tag{2}$$

где B_n – разность между минимальной площадью эталонного объекта и порога по площади B_{so}. Определяется по формуле

$$B_n = \min_{i=1,N} S_{эi} - B_{so} \ , \tag{3}$$

где B_{so} – порог, который определяется на большой выборке ситуаций отдельных и наложенных объектов.

Пусть размер выборки равен M. Тогда для каждого i-го объекта из выборки рассчитываются отклонения по площади d_s по формуле

$$d_s = \min_{i=1,M} | S_{oi} - S_{эj} , \tag{4}$$

где i=1,…, M – количество объектов в выборке; j=1,…, N – количество эталонных объектов

Среди них находятся минимальное $d_{s\min}$ и максимальное $d_{s\max}$ отклонения. Порог B_{so} последовательно перебирается от значения $d_{s\min}$ до значения $d_{s\max}$. Для каждого значения перебираемого порога относительно всех объектов проверяется условие

$$d_s < B_{so}. \tag{5}$$

В случае выполнения условия (5) можно сделать вывод, что в поле зрения расположен отдельный объект, в противном случае объекты наложены.

В общем виде данный алгоритм может быть представлен следующим образом:

$$\begin{cases} \text{ситуация 1, если } k = 0 \\ \text{ситуация 2, если } (k \neq 0) \wedge (S_{oi} < B_n) \\ \text{ситуация 3, если } (k = 1) \wedge (S_{oi} > B_n) \wedge (d_s < B_{S0}) \\ \text{ситуация 4, если } (k = 2) \wedge (S_{oi} > B_n) \wedge (d_s > B_{S0}) \\ \text{ситуация 5, иначе} \end{cases} . \tag{6}$$

Блок-схема описанного алгоритма приведена на рис. 1.

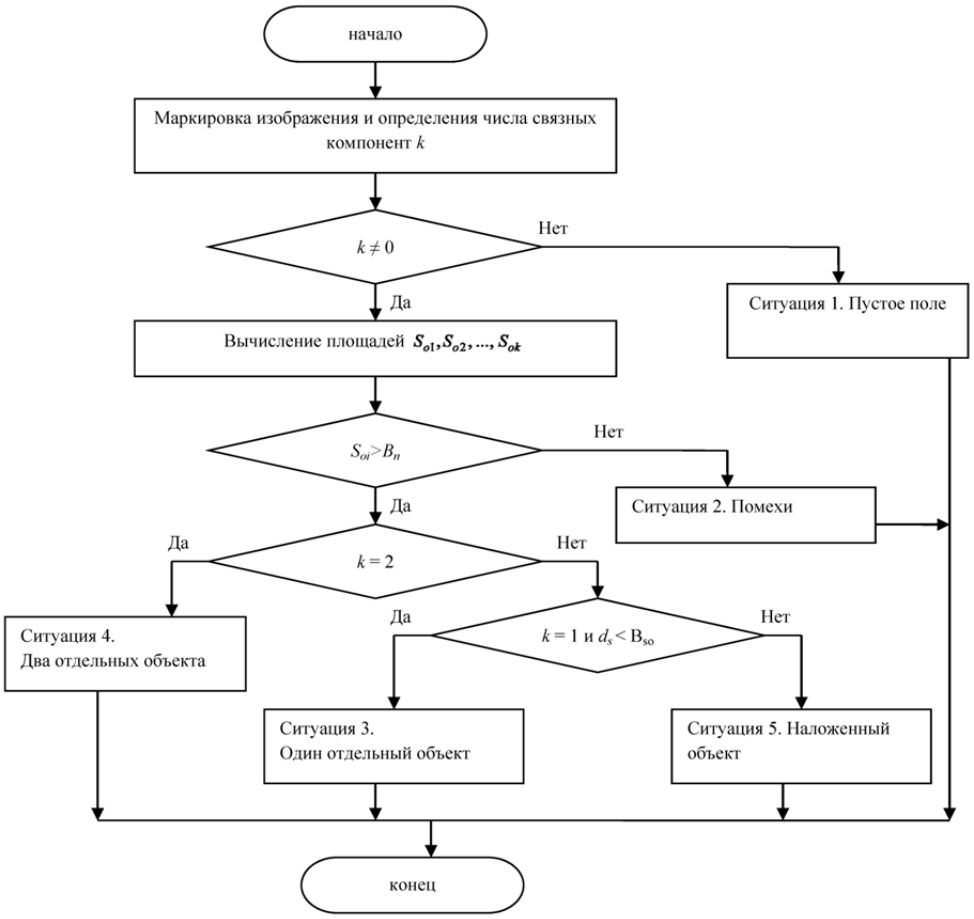


Рис. 1. Блок-схема алгоритма определения типа поля зрения

Для проведения исследований данного алгоритма была составлена выборка из изображений реальных плоских объектов различных типов с помехами и без.

Презентабельное количество испытаний было выбрано равным 2000.

На рис. 2 приведен график зависимости числа ошибок от возможных ситуаций.

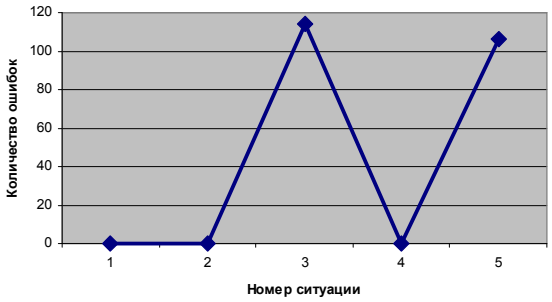


Рис. 2. Результаты проведенных экспериментов

Исследования показали, что при определении ситуаций положения объектов в поле зрения СТЗ по количеству связных компонент и площадям объектов суммарный процент ошибок равен примерно 11 %.

Анализ показал, что ошибки возникают в случае, когда наложенный объект при определенной комбинации объектов и проценте наложения удовлетворяет условию (5). В результате не удается правильно различить ситуации 3 и 5.

Для избежания данных ошибок было решено ввести дополнительный признак, который бы учитывал форму объектов. В качестве такого признака был выбран центральный момент объекта второго порядка, который определяется по формуле

$$\mu = \sum_{i=1}^{n} (x_i - x_0)^2 (y_i - y_0)^2, \tag{6}$$

где (x_i, y_i) – координаты точек объекта; (x_0, y_0) – координаты центра тяжести; $i = 1, \ldots, N$ – число точек объекта.

Центральный момент объекта чувствителен к изменению формы, в отличие от площади с помощью него можно более точно определить, к какой ситуации относится обнаруженный объект.

Для каждого из эталонных объектов рассчитываются их центральные моменты $\mu_{э1}, \mu_{э2}, ..., \mu_{эn}$. Для сокращения вычислений центральный момент применяется только в том случае, когда алгоритм по площади дает ошибку.

В этом случае для обнаруженного объекта рассчитывается отклонение d_m по моменту

$$d_m = \min_{i=1,M} |\mu_{oi} - \mu_{эj}| \ , \tag{7}$$

где μ_{oi} – центральный момент обнаруженного объекта; μ_{oi} – центральный момент эталонного объекта.

Решение о том, что обнаруженный объект является отдельным, принимается при выполнении условия

$$d_ь < B_{mo}, \tag{8}$$

где B_{mo} – порог по моментам, вычисляется аналогично порогу по площади.

В общем виде алгоритм выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \text{ситуация 1, если } k = 0 \\ \text{ситуация 2, если } (k \neq 0) \wedge (S_{oi} < B_n) \\ \text{ситуация 3, если } (k = 1) \wedge (S_{oi} > B_n) \wedge (d_s < B_{S0}) \wedge (d_m < B_{mo}) \\ \text{ситуация 4, если } (k = 2) \wedge (S_{oi} > B_n) \wedge (d_s > B_{S0}) \wedge (d_m > B_{mo}) \\ \text{ситуация 5, иначе} \end{cases}. \tag{9}$$

В результате блок-схема алгоритма определения типа поля зрения примет следующий вид (рис. 3).

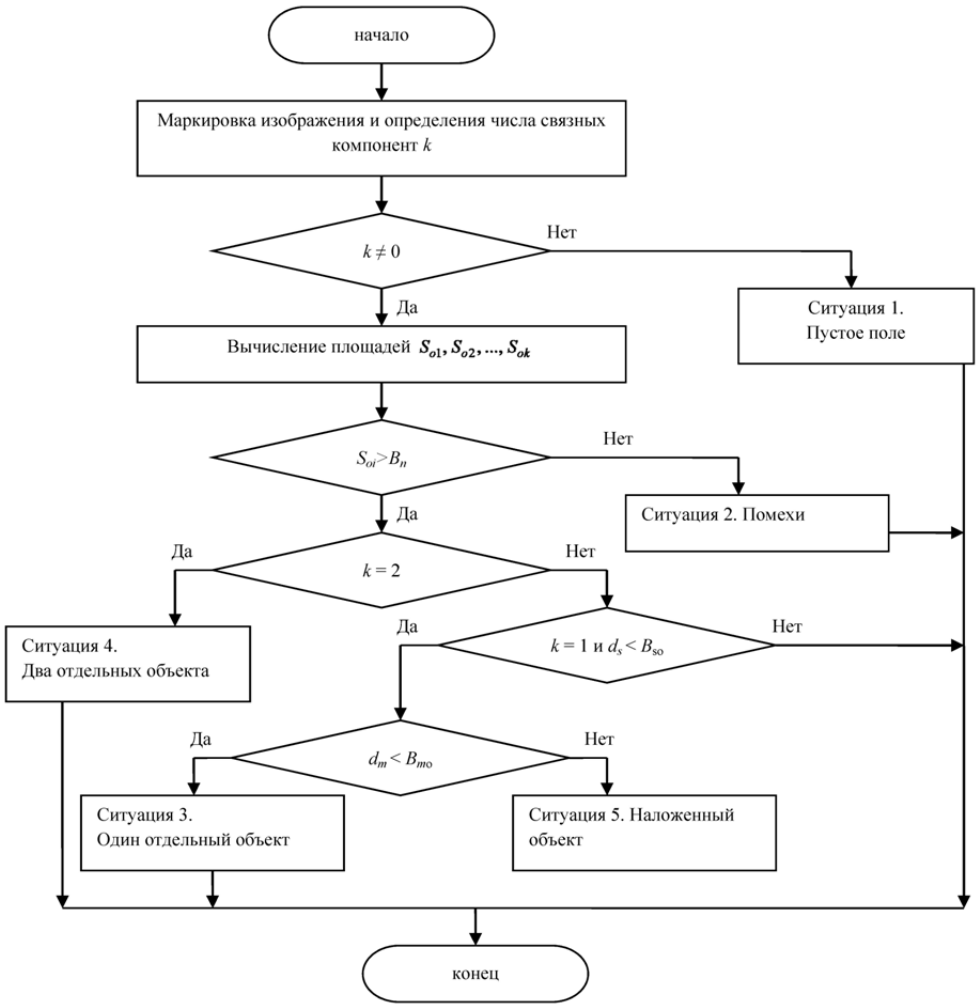


Рис. 3. Блок-схема алгоритма деления типа поля зрения (измененная)

Исследования проводились на той же выборке, что и в предыдущих экспериментах. Результаты показаны на графике (рис. 4).

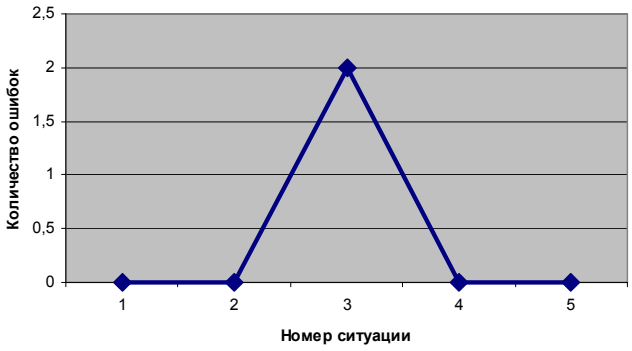


Рис. 4. Результаты повторного эксперимента

Полученные результаты показали, что в случае введения дополнительного признака (центрального момента) для идентификации ситуаций количество ошибок сократилось с 11 до 0,1%, что является приемлемым результатом для работы СТЗ.

Заключение

На основе предложенного алгоритма было создано программное приложение, которое позволяет определить тип поля зрения СТЗ. В качестве основных признаков были использованы количество связных компонент и площади объектов. Дополнительным признаком является центральный момент, который применяется только для разрешения спорных ситуаций между наложенными и отдельными объектами.

Алгоритм исследовался на изображениях реальных объектов. Его достоинствами являются простота реализации, точность работы и высокое быстродействие, которое дает возможность использовать его в системах, работающих в режиме реального времени.

Список литературы

1. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений : пер с англ. / У. Прэтт. – М. : Мир, 1982. – 788 с.
2. Рузняев, Д. А. Использование комбинирования алгоритмов сжатия мультимедийной информации для повышения надежности передачи данных / Д. А. Рузняев, А. П. Поддубный, Н. К. Юрков // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2009. – Т. 1. – С. 239–240.
3. Садыков, С. С. Экспериментальное исследование алгоритма идентификации наложенных объектов на основе алгоритмов трансформации контура и α-функции / С. С. Садыков, С. В. Савичева, А. С. Веденин // Алгоритмы, методы и системы обработки данных / под ред. С. С. Садыкова, Д. Е. Андрианова. – Муром : Муромский институт (филиал) ВлГУ, 2012. – Вып. 1 (19). – С. 22.
4. Садыков, С. С. Сравнение алгоритмов распознавания наложенных объектов на основе α-функции и на основе особых участков / С. С. Садыков, С. В. Савичева, В. А. Комков // Алгоритмы, методы и системы обработки данных / под ред. С. С. Садыкова, Д. Е. Андрианова. – Муром : Муромский институт (филиал) ВлГУ, 2012. – Вып. 1 (19). – С. 23.

УДК 004.932.2

Садыков, С. С.

Алгоритм определения типа поля зрения видеодатчика / С. С. Садыков, С. В. Савичева, Д. П. Гранченко // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 3. – С. 60–65.

Садыков Султан Сидыкович
доктор технических наук, профессор,
кафедра информационных систем,
Муромский институт (филиал)
Владимирского государственного
университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых,
600254, Россия, г. Муром, ул. Орловская, 23,
8-920-913-82-42
E-mail: sadykovss@yandex.ru

Savicheva Svetlana Vladimirovna
senior lecturer,
sub-department of information systems,
Murom Institute (branch) of
Vladimir State University
named after A. G. and N. G. Stoletovyh,
600254, 23 Orlovskaya street, Murom, Russia
8-920-622-71-60
E-mail: savicheva.svetlana2010@yandex.ru

Sadykov Sultan Sidykovich
doctor of technical sciences, professor,
sub-department of information systems,
Murom Institute (branch) of
Vladimir State University
named after A. G. and N. G. Stoletovyh,
600254, 23 Orlovskaya street, Murom, Russia
8-920-913-82-42
E-mail: sadykovss@yandex.ru

Савичева Светлана Владимировна
старший преподаватель,
кафедра информационных систем,
Муромский институт (филиал)
Владимирского государственного
университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых,
600254, Россия, г. Муром, ул. Орловская, 23
8-920-622-71-60
E-mail: savicheva.svetlana2010@yandex.ru

Гранченко Дмитрий Павлович
магистр,
кафедра информационных систем,
Муромский институт (филиал)
Владимирского государственного
университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых,
600254, Россия, г. Муром, ул. Орловская, 23

Granchenko Dmitriy Pavlovich
master,
sub-department of information systems,
Murom Institute (branch) of
Vladimir State University
named after A. G. and N. G. Stoletovyh,
600254, 23 Orlovskaya street, Murom, Russia

Аннотация. Приведен алгоритм определения типа поля зрения видеодатчика, в котором в качестве признаков используются количество связных компонент, площади и центральные моменты объектов.

Ключевые слова: алгоритм; тип поля зрения; связные компоненты; площадь объекта; центральные моменты.

Abstract. An algorithm for determining the type of field of view vision systems, which are used as signs of connected components, area and central moments of the objects.

Key words: algorithm, the type of field of view, connected components, building area, the central moments.

УДК 616.71-001.5-089.84:669.295

НАКОСТНЫЙ ОСТЕОСИНТЕЗ С ПОМОЩЬЮ МАЛОКОНТАКТНОЙ ДЕРОТАЦИОННОЙ ЗИГЗАГООБРАЗНОЙ ПЛАСТИНЫ

О. И. Зинькив, В. В. Василов, С. В. Билык, И. С. Олексюк, А. Г. Шайко-Шайковский

Введение

При оперативном лечении переломов костей опорно-двигательного аппарата широко используются различные технические системы и приспособления. На сегодняшний день общепризнанным стало мнение, что принципы и методы оперативного лечения переломов и повреждений костей, а также их последствий являются более предпочтительными и эффективными по сравнению с консервативными методами лечения, что подтверждается практически всеми авторами исследований на эту тему [1]. В пользу этого мнения можно привести следующие данные.

По данным ООН, дорожно-транспортные происшествия являются в мире второй причиной смертности среди молодежи 5–29 лет и третьей – в возрасте 30–44 лет. Материальные убытки общества от гибели и травматизма людей составляют миллиарды долларов. В дорожно-транспортных происшествиях (ДТП) в мире ежегодно погибают более миллиона человек, в десятки раз больше людей травмируются или становятся калеками. По данным Всемирной организации здравоохранения, ежедневно в мире только в результате ДТП 15 тыс. чел. становятся инвалидами.

Переломы длинных костей фиксируются у 33–38 % пациентов травматологических стационаров. При консервативных методах лечения инвалидность возникает в 8–35 % случаев. При оперативных методах лечения неудовлетворительные результаты возникают в 5–25 % случаев. При этом вследствие нестабильности остеосинтеза неудовлетворительные результаты фиксируются в 36–38 % случаев. Для сравнения – только в США среди 2 млн переломов костей случающихся ежегодно около 100 тыс. (5 %) заканчиваются развитием несращений, а еще большее количество – замедленно срастающихся переломов [1, 2]. Приведенная статистика свидетельствует о важности проблемы совершенствования техники, методов и способов фиксации отломков костей (остеосинтеза), что возможно только в результате системного, комплексного подхода и усилий специалистов разного профиля: медицинских работников-практиков, специалистов-травматологов, научных работников, представителей инженерно-технических специальностей, материаловедов, конструкторов, прочнистов, работающих в области сопротивления материалов и теории упругости.

Материалы и методы

В настоящее время практическое применение нашли и широко используются следующие виды остеосинтеза: погружной (интрамедуллярный) остеосинтез с помощью стержней и других металлоконструкций, вводимых в костномозговую полость; накостный остеосинтез с помощью различных накостных пластин и конструкций; стержневой аппаратный остеосинтез, ярким примером которого является фиксация отломков с помощью аппарата Илизарова.

Каждый из этих видов остеосинтеза имеет свои преимущества и недостатки, имеет право использоваться в тех или иных случаях. Применение и использование того или иного вида остеосинтеза определяется лечащим врачом исходя из специфики травмы, возраста и состояния пострадавшего, возможностей лечебного учреждения.

Самым доступным и достаточно эффективным из перечисленных выше является накостный остеосинтез. Его реализация является доступной в наше время даже для мелких районных больниц. Кроме того, он может осуществляться врачами-травматологами не наивысшей квалификации. Из всех видов остеосинтеза именно накостный остеосинтез является также наиболее простым и дешевым [3, 4].

При оперативном лечении переломов костей и их последствий в настоящее время широко используется накостный остеосинтез пластинами разных моделей ассоциации остеосинтеза АО (arbeiis-gemeinschaft fur osteosynthesefragen). Однако при использовании таких конструкций, как одноплоскостная пластина с круглыми отверстиями DCP или LC-DCP, наблюдаются явления «шунтирования» и ротации костных отломков. «Шунтирование» заключается в том, что при скреплении отломков накостной пластиной участок кости между фиксирующими винтами в области перелома при статическом остеосинтезе выключается из активной работы, не испытывает внешних нагрузок, что приводит к вымыванию кальция и ослаблению костного вещества. Это является причиной довольно частых повторных переломов в той области кости, где накладывалась пластина. В таких случаях пластина выступает в качестве своеобразной распорки и в области перелома (поперечного, косого, осколочного) не достигается желаемой и необходимой с физиологической точки зрения компрессии между отломками. Эллипсовидная форма отверстий в корпусах пластины вкупе с конусными боковинами этих отверстий, что задумано для создания определенной компрессии (усилия сжатия отломков кости) при проведении фиксирующих винтов, не дает желаемых результатов. Создание необходимого компрессирующего усилия между отломками кости может быть достигнуто только при проведении операции врачом-травматологом с достаточным опытом работы и зависит от множества различных факторов, учесть которые заранее в большинстве случаев не представляется возможным. Все это нередко приводит к возникновению ближайших и отдаленных постоперационных осложнений.

Результаты и их обсуждение

В настоящее время в траматологии и ортопедии существует новая концепция остеосинтеза, принципами которой является максимально стабильное соединение отломков с обеспечением возможности микроподвижности костных фрагментов при условии безиммобилизационного режима пациентов в послеоперационном периоде с одновременно максимально сохраненным кровоснабжением зоны перелома.

Такими фиксаторами стали накостные пластины с волнообразным демпфером и деротационным элементом. Число и размеры полуволн демпфирующего участка пластины подбираются расчетным путем исходя из анатомических особенностей пострадавшего, вида перелома. При этом средняя часть демпфирующей пластины приподнята над поверхностью кости и имеет мостообразную форму, что обеспечивает кровоснабжение зоны перелома. Все конструкции для остеосинтеза, как правило, изготавливают из легированной хромо-никелево-титановой стали марки 12Х18Н9Т, являющейся биоинертной. Такая пластина относится к так называемым малоконтактным пластинам.

Основным недостатком такой конструкции является достаточно сильно выступающий над поверхностью корпуса пластины демпфирующий волнообразный участок. При этом основная доля демпфирования приходится именно на волнообразные демпфирующие участки, где и происходят деформации растяжения-сжатия. Приподнятый мостообразный участок, который предназначен обеспечить улучшенное кровоснабжение области перелома является жестким и не деформируется в той же степени, как волнообразные демпфирующие участки [5].

Для создания возможности равномерного деформирования конструкции по всей ее длине, что гораздо физиологичнее и способствует созданию условий для более благоприятного протекания репаративных процессов, предложена конструкция зигзагообразной накостной пластины [6]. Вследствие конструктивных особенностей демпфирование равномерно распределено по всей длине накостного фиксатора. Поскольку корпус конструкции не имеет элементов, выступающих над боковой поверхностью кости, демпфирующая деротационная зигзагообразная пластина не препятствует прилеганию мягких тканей к поверхности кости. Вследствие этого не будут возникать болевые симптомы. Геометрическая форма и размеры зигзагов на корпусе накостного фиксатора, их количество максимально приближают деформативность разработанного и запатентованного фиксатора к деформативности целой неповрежденной кости. Сегментная форма сечения пластины препятствует ротационным воздействиям на биотехническую систему «кость–фиксатор», а зигзагообразные участи делают ее одновременно малоконтактной, что обеспечивает

нормальное кровоснабжение к месту перелома, уменьшает возможность повреждения периоста, ускоряет процесс образования костного мозоля.

Конструкция может в зависимости от вида перелома использовать 4–5 контактных площадок в основной продольной плоскости, что определяется конструктивным вариантом используемой пластины, что в свою очередь определяет число фиксирующих винтов, а также – две-три контактные площадки во вспомогательной фронтальной плоскости.

Для фиксации пластины используются два вида эллипсовидных отверстий, стенки которых имеют коническую форму для создания межотломковой компрессии. Количество фиксирующих винтов, контактных площадок, величина, модель пластины определяются специалистом-травматологом и зависят от вида и типа перелома, его локализации и специфических анатомических особенностей пострадавших. Форма отверстий для фиксирующих винтов позволяет создавать компрессию в зоне перелома за счет эксцентричного проведения винтов, которые вкручиваются под некоторым углом к кости.

Для пластин, используемых при остеосинтезе костей нижних конечностей, наименьший диаметр эллипсовидных отверстий равен 4 мм. При остеосинтезе верхних конечностей (костей предплечья) – 3,5 мм.

При таком способе создания остеосинтеза отпадает необходимость использования внешнего дополнительного компрессирующего приспособления. Контактные площадки на нижней поверхности пластины, прилегающей к периосту кости, имеют форму желоба, что благоприятствует надежному креплению фиксатора к поврежденной кости. Закругления по углам зигзагообразных участков корпуса пластины уменьшают местную концентрацию напряжений, обеспечивают сохранение ее целостности в условиях циклических знакопеременных нагрузок. Толщина металлического корпуса накостной зигзагообразной демпфирующей деротационной пластины регламентирована ее прочностью и для различных модификаций находится в пределах 3–5 мм.

Выводы

1. Разработанная зигзагообразная накостная пластина позволяет осуществлять динамический компрессионный накостный остеосинтез.

2. Форма, размеры и число зигзагообразных участков накостного фиксатора позволяют максимально приблизить его деформативность к соответствующим показателям целой неповрежденной кости.

3. Предложенная накостная пластина благодаря своей форме является малоконтактной, что обеспечивает нормальное кровоснабжение зоны перелома и ускорение репаративных процессов.

4. Разработанный накостный фиксатор является также деротационным, что позволяет блокировать биотехническую систему от внешних деротационных воздействий.

Список литературы

1. Діафізарні переломи в структурі травм опорно-рухової системи у населення України / Г. В. Гайко, А. В. Калашніков, В. А. Боєр, П. В. Нікітін, А. М. Чигирко та ін. // Вісник ортопедії, травматології та протезування. – 2006. – № 1. – С. 84–86.
2. Експериментально-біомеханічні випробування накісткового остеосинтезу при переломах діафіза великогомілкової кістки / М. Л. Анкін, Л. М. Анкін, М. С. Шидловський, М. М. Сатишев // Вісник ортопедії, травматології та протезування. – 2011. – № 1. – С. 68–73.
3. Литвинов, И. И. Накостный малоинвазивный остеосинтез при закрытых переломах нижней трети бедренной кости / И. И. Литвинов, В. В. Ключесвский // Вестник травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. – 2006. – № 1. – С. 13–18.
4. Функции и виды пластин и винтов в современном остеосинтезе / К. К. Романенко, А. И. Белостоцкий, Д. В. Прозоровский, Г. Г. Голка // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2010. – № 10. – С. 68–75.
5. Патент Украины № 7 А 61 В 17/56.15.06.2004. Пристрій для остеосинтезу з хвилеподібним демпфером / А. Г. Шайко-Шайковский, С. В. Билык, К. В. Стеблина, А. В. Солийчук, В. М. Василов // Патент УкраЇни (11)2601(51), 2004, Бюл. № 6.
6. Патент УкраЇни № 67676. Демпфуюча деротаційна зтгзагоподібна накісткова пластина для остеосинтезу / О. Г. Шайко-Шайковский, І. С. Олексюк, С. В. Білик, М. С. Назарак // Патент України А 61 17/72(2006.01), 2012, Бюл. № 3.

УДК 616.71-001.5-089.84:669.295
Зиньків, О. И.
Накостный остеосинтез с помощью малоконтактной деротационной зигзагообразной пластины / О. И. Зиньків, В. В. Василов, С. В. Билык, И. С. Олексюк, А. Г. Шайко-Шайковский // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 3. – С. 66–69.

Зиньків Олег Игоревич
ординатор,
ортопедо-травматологическое отделение,
Областная клиническая больница г. Черновцы.
58000, Украина, г. Черновцы, ул. Головна, 137
0372-54-55-98.

Василов Валентин Васильевич
ординатор,
ортопедо-травматологическое отделение,
Областная клиническая больница г. Черновцы.
58000, Украина, г. Черновцы, ул. Головна, 137
0372-54-55-98.

Билык Сергей Викторович
кандидат медицинских наук, ассистент,
кафедра травматологии, ортопедии
и нейрохирургиии,
Буковинский государственный
медицинский университет,
58013, Украина, г. Черновцы,
ул. Красноармейская, 226
0372-515-882

Олексюк Иван Степанович
кандидат медицинских наук, доцент,
кафедра травматологии, ортопедии
и нейрохирургиии,
Буковинский государственный
медицинский университет,
58000, Украина, г. Черновцы, ул. Головна, 137
0372-54-55-98.

Шайко-Шайковский Александр Геннадьевич
доктор технических наук, профессор,
кафедра общей физики,
Черновицкий национальный университет
им. Юрия Федьковича,
58012, Украина, г. Черновцы, ул. Коцюбинского, 2
0372-58-48-89

Аннотация. Рассмотрен способ создания стабильного динамического остеосинтеза с помощью оригинальной конструкции – демпфирующей зигзагообразной малоконтактной деротационной пластины.

Ключевые слова: остеосинтез, накостные фиксаторы, компрессия.

Zin'kiv Oleg Igorevich
resident,
Orthopedic and trauma department,
Regional Clinical Hospital of Chernivtsi.
58000, 137 Golovna street,Chernivtsi, Ukraine
0372-54-55-98

Vasilov Valentin Vasil'evich
resident,
Orthopedic and trauma department,
Regional Clinical Hospital of Chernivtsi.
58000, 137 Golovna street,Chernivtsi, Ukraine
0372-54-55-98

Bilyk Sergey Viktorovich
candidate of medical sciences, assistant,
sub-department of traumatology, orthopaedics
and neurosurgery,
Bukovinian State medical University,
58013, 226 Krasnoarmeyskaya street,
Chernivtsi, Ukraine
0372-515-882

Oleksyuk Ivan Stepanovich
candidate of medical sciences, associate professor,
sub-department of traumatology, orthopaedics
and neurosurgery,
Bukovinian State medical University,
58000, 137 Golovna street, Chernivtsi, Ukraine
0372-54-55-98

Shayko-Shaykovskiy Aleksandr Gennad'evich
doctor of technical sciences, professor,
sub-department of physics,
Chernivtsi National University
named after Yuri Fedkovich,
58012, 2 Kotsyubinskogo street, Chernivtsi, Ukraine
0372-58-48-89

Abstract. A method for creating a stable dynamic of osteosynthesis with the original design - a bead-forming a little damper contact derotation plate.

Key words: fixation, extramedullary latches, compression.

УДК 621.396.6.001.2

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ И МЕТОДИК АНАЛИЗА И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Н. В. Горячев, М. К. Танатов, Н. К. Юрков

Введение

Повышение степени интеграции радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) и ее элементной базы, стремление постоянно снижать габариты и массу изделий приводят к более тяжелым тепловым режимам работы РЭА. Современная РЭА нередко эксплуатируется в жестких температурных условиях (производственные помещения, военная техника, космос, автономно функционирующее на открытом воздухе информационно-измерительное оборудование и т.п.) одновременно с повышенными механическими и электромагнитными воздействиями. Между тем, надежное функционирование аппаратуры возможно лишь при условии обеспечения ее оптимального теплового режима. Последнее может решаться как на системотехническом или схемотехническом уровне, так и на конструктивном уровне [1]. Методы и средства обеспечения теплового режима РЭА изложены в работе [2]. Наиболее распространенным средством, обеспечивающим тепловой режим является воздушная система охлаждения (СО) [3]. В современных условиях проектирования практически отпала необходимость в проведении расчета конструктивных параметров СО. Это связанно с доступностью широкой номенклатуры унифицированных конструкций воздушных СО с заранее известными теплофизическими и конструктивными характеристиками. В связи с чем задача конструктора при теплофизическом проектировании РЭА может быть сведена к выбору унифицированной СО. Однако в связи с большим номенклатурным перечнем унифицированных СО, который включает несколько тысяч типовых конструкций, такой выбор в ручном режиме достаточно трудоемок. Также отсутствуют специализированные аппаратные средства, позволяющие проводить анализ работы СО.

Таким образом, актуальность исследования заключается в необходимости разработки комплексных аппаратно-программных средств, позволяющих не только проводить анализ СО РЭА, но и обеспечить их автоматизированный выбор из базы унифицированных конструкций, выпускаемых промышленностью.

Постановка задачи

Необходимо совершенствование существующих и разработка новых аппаратно-программных средств и методик, предназначенных для анализа работы и автоматизированного выбора СО РЭА.

В работе [4] в результате анализа программного обеспечения, применяемого при теплофизическом проектировании РЭА, выявлены основные недостатки этих средств. Показана необходимость создания новых, комплексных средств теплофизического проектирования, включающих в свой состав инструменты проведения натурального эксперимента. Обоснованно спрогнозированы возможные результаты от создания таких средств.

В работе [5] доказана актуальность создания автоматизированной системы СО электрорадиоэлемента. Предложена концепция создания подобной системы, обеспечивающей выбор унифицированной конструкции СО. Одновременно определенны требования к системе. Выведены основные задачи, которые необходимо решить при создании автоматизированной системы выбора СО. Обоснование применения системы в рамках интегрированной среды проектирования электроники дано в работе [6].

Попытка создания аппаратной платформы для проведения натурных испытаний сделана в работе [7]. Авторами на примере стенда исследования температурного поля одного типа СО описан эффективной способ создания лабораторного оборудования, предназначенного для снятия

температурных характеристик исследуемого объекта. Основным недостатком работы [7] следует считать закрытость архитектуры созданного стенда, возможность исследования только одного типа СО, отсутствие элементов межсистемного взаимодействия с программными средствами.

В работах [8, 9] авторы, основываясь на результатах, приведенных в [7], усовершенствовали стенд исследования СО и предложили информационно-измерительный комплекс (ИИК). В отличие от предыдущей конструкции новый ИИК обладает открытой, масштабируемой архитектурой и позволяет исследовать воздушные СО различного типа. Последнее осуществляется за счет вынесения исследуемой СО в отдельный от основного блока функциональный модуль, названный авторами сменным блоком исследуемого объекта (СБИО). Описание тепловой модели СБИО предложено в работе [10], а ее совершенствование с целью учета дестабилизирующих факторов приведено в работе [11].

Алгоритмическое обеспечение ИИК описано в работах [12, 13]. Описание схемы информационного обмена между аппаратной частью ИИК и его программной частью, функционирующей на ПЭВМ, дано в [12]. Особенности работы компьютерной программы, являющейся программной частью ИИК, и ее алгоритм приведены в [13].

Особенности создания автоматизированной системы выбора СО приведены в [14], где рассмотрен алгоритм функционирования системы поддержки принятия решений в области выбора теплоотвода. Фактически выбор СО из базы данных осуществляет экспертная система, используя для этого методику многокритериального выбора. Авторы, основываясь на работе [15], в которой описана программа для расчета температуры перегрева электрорадиоизделия РЭА, выбирают в качестве критерия, имеющего наибольший вес, тепловое сопротивление СО. Алгоритм функционирования программы показан на рис. 1.

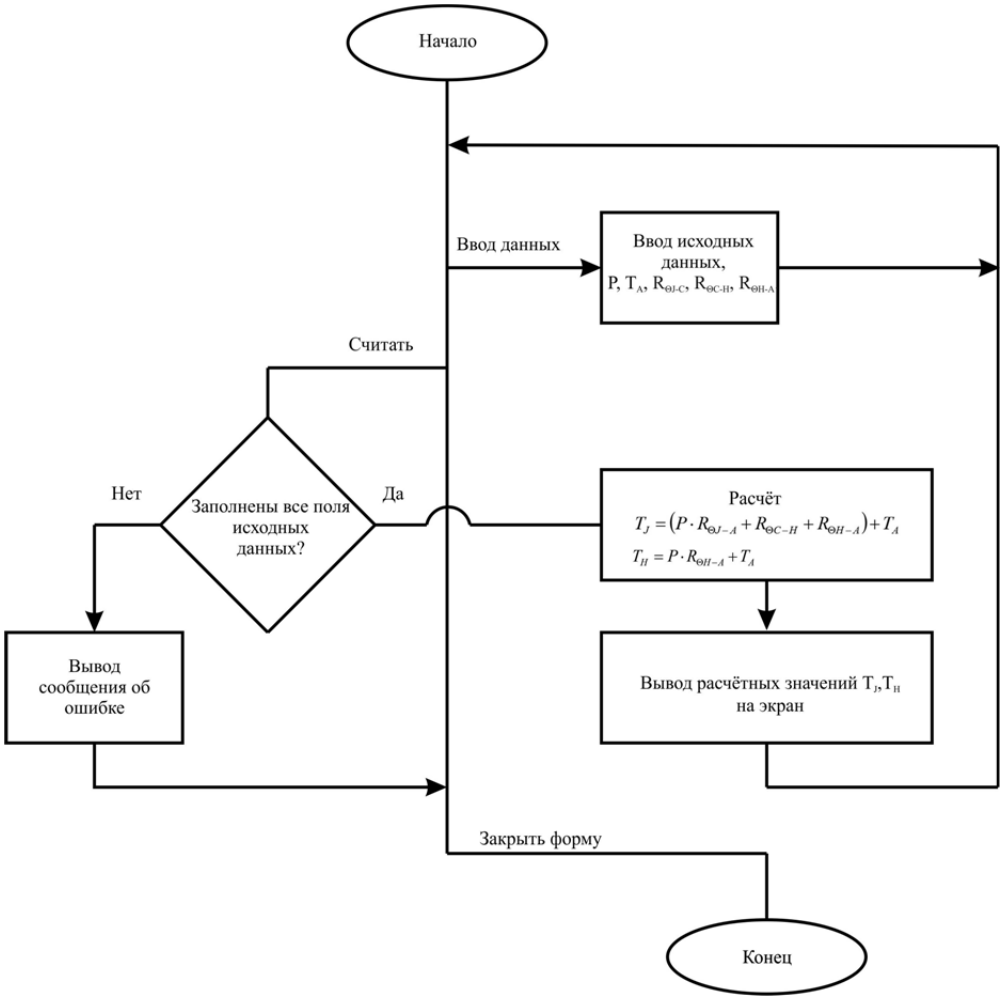


Рис. 1. Блок-схемы алгоритма функционирования программы расчета температуры перегрева кристалла и теплоотвода ЭРЭ

Методическое обеспечение предложено в работе [16] в виде методики, использующей результаты натурного и вычислительного экспериментов для обоснованного выбора СО. Предложенная авторами методика имеет три вектора функционирования и позволяет использовать возможности современного научно-исследовательского оборудования при проектировании средств тепловой защиты РЭА.

Результаты практической реализации ИИК и алгоритмов его функционирования представлены в работе [17]. При реализации авторы использовали структурную модель ИИК, показанную на рис. 2.

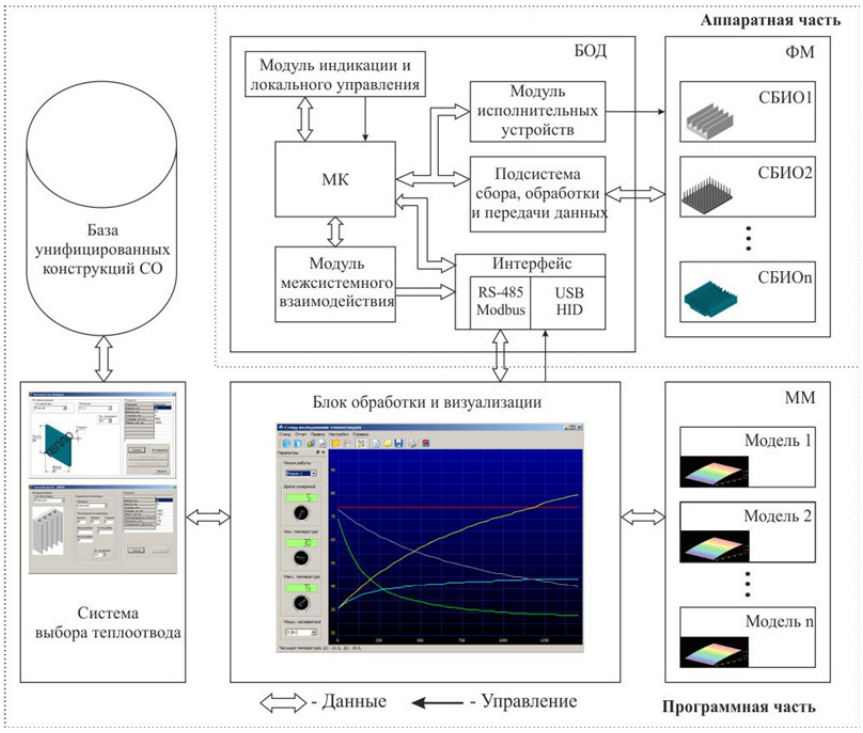


Рис. 2. Структурная модель ИИК: БОД – блок обработки данных; МК – микроконтроллер; СБИО – сменный блок исследуемого объекта; ФМ – физическая модель; ММ – математическая модель

Блок обработки данных (БОД) включает вычислительное ядро (микроконтроллер), подсистему автоматизированного управления, подсистему сбора передачи и обработки данных, а также часть рабочего места пользователя (модуль индикации и локальные органы управления).

Сменный блок исследуемого объекта (СБИО) состоит из подсистемы измерений и объектовой подсистемы. Подсистема измерений – это набор первичных преобразователей физических величин (датчиков). Объектовая подсистема представляет собой исследуемый объект. В состав СБИО разных модификаций введены функциональные узлы, реализующие дополнительные, вспомогательные функции, например индикацию включения нагрева и т.п.

Общий вид спроектированного ИИК с набором СБИО, содержащих СО различной геометрии и площади, показан на рис. 3.

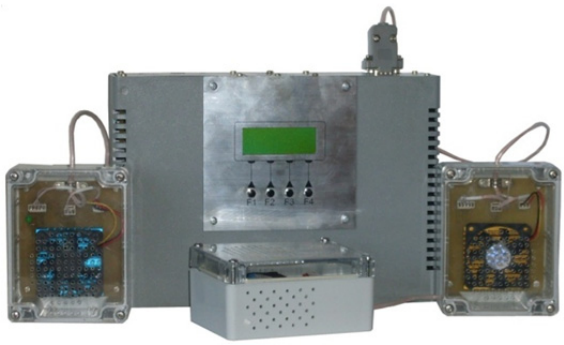


Рис. 3. ИИК с набором сменных блоков

На лицевой панели БОД расположен жидкокристаллический индикатор, отображающий информацию, необходимую для работы с ИИК. Для управления всеми режимами комплекса используются четыре функциональные клавиши.

Основой БОД является микроконтроллер с широкими функциональными возможностями. Применение последнего позволило отказаться от многих устаревших аналоговых узлов (аналоговые индикаторы, термопары и т.п.) и разработать ИИК с использованием современных технологий и элементной базы.

Результаты исследования

В результате проведенного исследования впервые предложена концепция, алгоритмы и методика функционирования информационно-измерительного комплекса для исследования СО РЭА. Разработанный ИИК отличается от существующих средств, используемых при теплофизическом проектировании, возможностью проведения натурных исследований различных моделей СО, наличием элементов межсистемного взаимодействия, позволяющих объединить результаты натурного и вычислительного экспериментов. Впервые предложена система поддержки принятия решений в области выбора унифицированной конструкции СО, осуществляющая выбор с учетом теплового сопротивления СО. Разработанная методика отличается от существующих:

– возможностью объединения результатов натурного и вычислительного экспериментов;

– наличием трех векторов функционирования, что позволяет проводить процесс теплофизического проектирования, используя различные наборы начальных данных;

– возможностью определения взаимной адекватности математической и натурной моделей СО.

Три вектора функционирования методики фактически являются независимыми стратегиями теплофизического проектирования, которые не связаны друг с другом. В зависимости от поставленной задачи инженер-конструктор, осуществляющий проектирование, имеет возможность выбирать требуемую стратегию.

Принимая во внимание результаты практического использования ИИК, которые изложены в работах [18, 19], доказана высокая эффективность и точность предложенной методики.

Список литературы

1. Андреев, П. Г. Основы проектирования электронных средств : учеб. пособие / П. Г. Андреев, И. Ю. Наумова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2010. – 124 с.
2. Дульнев, Г. Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре : учеб. для вузов / Г. Н. Дульнев. – М. : Высш. шк., 1984. – 247 с.
3. Андреев, П. Г. Защита радиоэлектронных средств от внешних воздействий : учеб. пособие / П. Г. Андреев, И. Ю. Наумова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – 130 с.
4. Юрков, Н. К. Программные средства теплофизического проектирования печатных плат электронной аппаратуры / Н. К. Юрков, Н. В. Горячев // Молодой ученый. – 2013. – № 10. – С. 128–130.
5. Горячев, Н. В. Концепция создания автоматизированной системы выбора теплоотвода электрорадиоэлемента / Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Современные информационные технологии. – 2010. – № 11. – С. 171–176.
6. Горячев, Н. В. Концептуальная схема разработки систем охлаждения радиоэлементов в интегрированной среде проектирования электроники / Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Проектирование и технология электронных средств. – 2009. – № 2. – С. 66–70.
7. Стенд исследования тепловых полей элементов конструкций РЭС / В. А. Трусов, Н. В. Горячев, И. Д. Граб, А. В. Лысенко, П. Г. Андреев // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2008. – Т. 2. – С. 162–166.
8. Структура автоматизированной лаборатории исследования теплоотводов / А. В. Лысенко, Н. В. Горячев, И. Д. Граб, Н. К. Юрков // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2011. – Т. 2. – С. 119–120.
9. Юрков, Н. К. Структура и программно-информационное обеспечение информационно-измерительного лабораторного комплекса / Н. К. Юрков, Н. В. Горячев, А. В. Лысенко // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2012. – Т. 130, № 5. – С. 169–173.
10. Горячев, Н. В. Тепловая модель сменного блока исследуемого объекта / Н. В. Горячев // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – Т. 1. – С. 263–263.

11. Граб, И. Д. Уточнение тепловой модели сменного блока исследуемого объекта / И. Д. Граб, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – Т. 1. – С. 169–171.
12. Алгоритм функционирования стенда исследования теплоотводов и систем охлаждения радиоэлектронной аппаратуры / Н. В. Горячев, И. Д. Граб, А. В. Лысенко, Н. К. Юрков // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. – 2011. – № 1. – С. 385–391.
13. Алгоритм функционирования компьютерной программы стенда исследования теплоотводов / Н. К. Юрков, И. Д. Граб, Н. В. Горячев, А. В. Лысенко // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2011. – Т. 1. – С. 244–246.
14. Горячев, Н. В. Алгоритм функционирования системы поддержки принятия решений в области выбора теплоотвода электрорадиоэлемента / Н. В. Горячев // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – Т. 2. – С. 238–238.
15. Программа инженерного расчета температуры перегрева кристалла электрорадиокомпонента и его теплоотвода / Н. В. Горячев, А. В. Лысенко, И. Д. Граб, Н. К. Юрков // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – Т. 2. – С. 242–243.
16. Горячев, Н. В. Концептуальное изложение методики теплофизического проектирования радиоэлектронных средств / Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Современные информационные технологии. – 2013. – № 17. – С. 214–215.
17. Информационно-измерительный лабораторный комплекс исследования теплоотводов электрорадиоэлементов / Н. К. Юрков, И. Д. Граб, Н. В. Горячев, А. В. Лысенко // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – Т. 2. – С. 239–240.
18. Горячев, Н. В. Опыт применения систем сквозного проектирования при подготовке выпускной квалификационной работы / Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В. Г. Белинского. – 2011. – № 26. – С. 534–540.
19. Лабораторный комплекс в архитектуре икос как основа формирования умений / В. Б. Алмаметов, И. Д. Граб, А. В. Затылкин, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков, В. Я. Баннов, И. И. Кочегаров // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2008. – Т. 1. – С. 213–215.

УДК 621.396.6.001.2

Горячев, Н. В.

Исследование и разработка средств и методик анализа и автоматизированного выбора систем охлаждения радиоэлектронной аппаратуры / Н. В. Горячев, М. К. Танатов, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 3. – С. 70–75.

Горячев Николай Владимирович
ведущий программист,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет,
440026, Россия, г. Пенза, Красная, 40
E-mail: ra4foc@yandex.ru

Танатов Марат Кудайбергенович
старший преподаватель,
кафедра конструкций и эксплуатации самолетов
и двигателей,
Военный институт Сил воздушной обороны
им. Дважды Героя Советского Союза
Талгата Бегельдинова,
Казахстан, г. Актобе,
проспект Алии Молдагуловой, 16

Юрков Николай Кондратьевич
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
(841-2) 56-43-46
E-mail: yurkov_NK@mail.ru

Goryachev Nikolay Vladimirovich
lead programmer,
sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia
E-mail: ra4foc@yandex.ru

Tanatov Marat Kudaybergenovich
senior lecturer,
sub-department of design and operation
of aircraft and motors,
Military Institute of Air Defense
named after Hero of the Soviet Union
Talgat Begeldinova,
16 Alii Moldagulovoy avenue, Aktobe, Kazakhstan

Yurkov Nikolay Kondrat'evich
doctor of technical science, professor,
head of sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia
(841-2) 56-43-46
E-mail: yurkov_NK@mail.ru

Аннотация. Рассмотрен способ создания стабильного динамического остеосинтеза с помощью оригинальной конструкции – демпфирующей зигзагообразной малоконтактной деротационной пластины.

Ключевые слова: остеосинтез, накостные фиксаторы, компрессия.

Abstract. A method for creating a stable dynamic of osteosynthesis with the original design - a bead-forming a little damper contact derotation plate.

Key words: fixation, extramedullary latches, compression.

УДК 629.7.05

ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ВХОДНОГО ТРАКТА СПУТНИКОВОГО НАВИГАЦИОННОГО ПРИЕМНИКА

Д. А. Аминев, А. С. Свиридов, С. У. Увайсов

Современная навигационная аппаратура потребителей (НАП) является аналого-цифровой системой, сочетающей аналоговую и цифровую обработку сигналов [1–7].

В общем случае НАП состоит из навигационных приемников и устройств обработки, предназначенных для приема навигационных сигналов от навигационных космических аппаратов (НКА) и вычисления собственных координат, скорости и времени [9, 10]. Обобщенная структура входного тракта с прямым преобразованием частоты представлена на рис. 1.

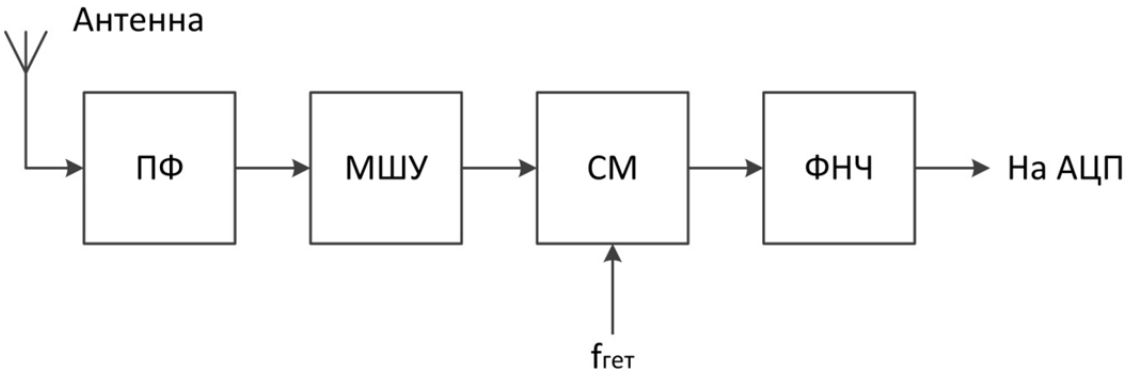


Рис. 1. Обобщенная структура входного тракта с прямым преобразованием частоты

Антенна выполняет функцию преобразования электромагнитных волн в электрический сигнал и может состоять из одного или нескольких антенных элементов с необходимыми блоками электронного управления [1]. Полосовой фильтр (ПФ) нужен для частотной селекции (фильтрации) полезных сигналов из смеси с шумами и помехами. Малошумящий усилитель (МШУ) предназначен для усиления очень слабых сигналов, поступающих на вход тракта от НКА. Смеситель (СМ) понижает несущую частоту принятых сигналов до заданного значения, которое принято называть промежуточной частотой. Частота гетеродина ($f_{гет}$) поступает на смеситель от синтезатора частот, который формирует набор гармонических колебаний, необходимых для работы приемника. Фильтр нижних частот (ФНЧ), стоящий после смесителя, предназначен для подавления сигнальных составляющих суммарной частоты, образующихся на выходе смесителя. Далее сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) для оцифровки сигнала и последующей его обработки в цифровом вычислителе.

Сложной задачей при разработке радиочастотного блока является проектирование входного тракта, состоящего из высокочастотного приемника и синтезатора частоты. Предлагаются следующие варианты его реализации:

- для портативных устройств;
- для бортовых устройств;
- для бортовых двухдиапазонных устройств.

Во всех вариантах приемника сигналов спутниковых навигационных систем аппаратная аналоговая часть реализована по схеме прямого преобразования частоты. В структурных схемах белым обозначены однотипные блоки, отличающиеся – серым.

Вариант реализации входного тракта для портативных устройств представлен на рис. 2.

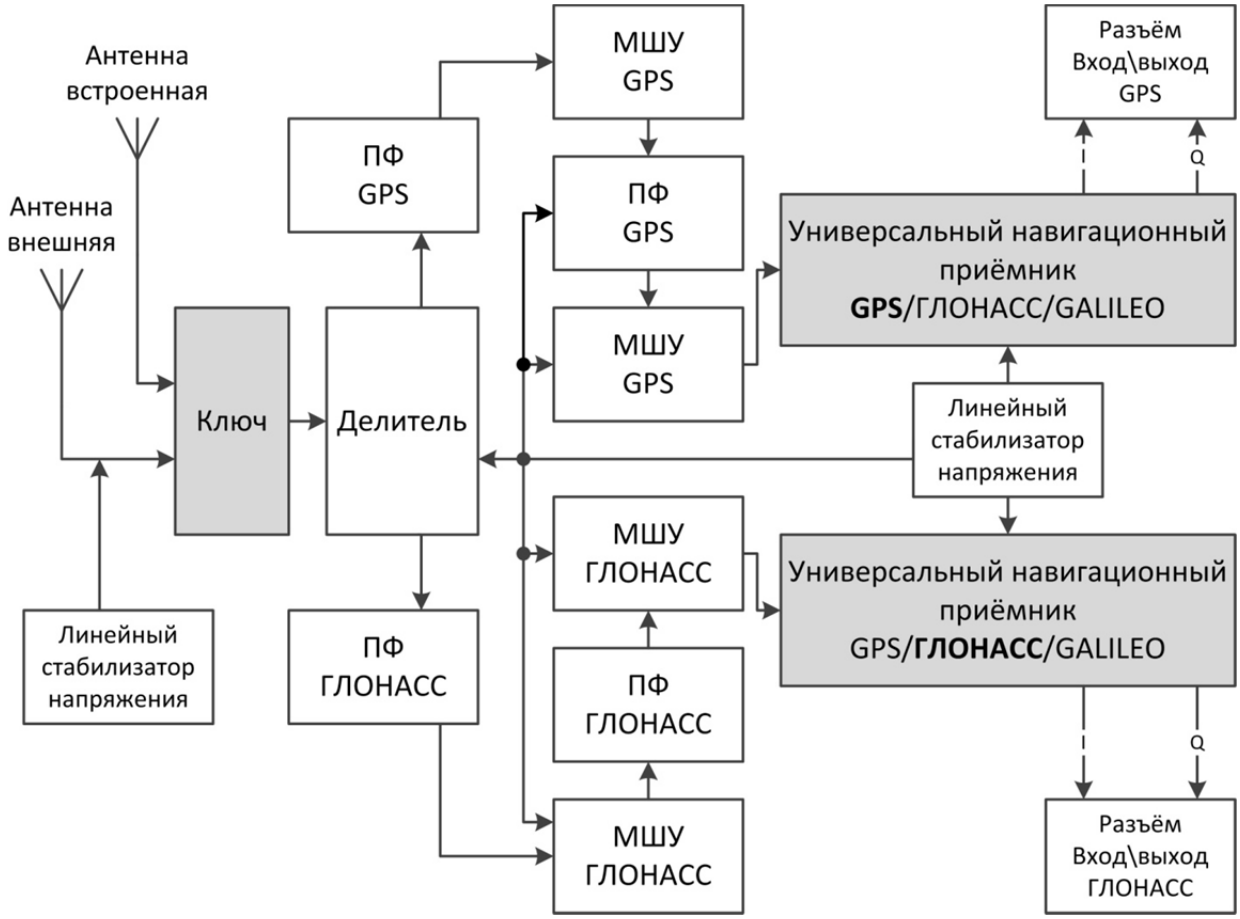


Рис. 2. Вариант реализации входного тракта для портативных устройств

Навигационные сигналы, принимаемые антеннами от спутниковых систем, поступают на высокочастотный ключ. Ключ осуществляет коммутацию между антеннами и приемным устройством. В автоматическом режиме и при наличии обоих антенн радиочастотный блок отдает преимущество внешней антенне. По желанию пользователя тип используемой антенны может быть выбран через соответствующее меню навигационного устройства.

После ключа сигнал попадает на делитель, основная задача которого с минимальными потерями разделить принимаемый сигнал пополам для дальнейшей независимой обработки навигационных данных от глобальных спутниковых навигационных систем GPS и ГЛОНАСС. С делителя сигнал поступает на полосовые фильтры, каждый из которых имеет полосу пропускания для выделения только сигнала GPS или ГЛОНАСС.

Для компенсации потерь, внесенных полосовыми фильтрами, навигационный сигнал поступает на соответствующие системам позиционирования малошумящие усилители. Для большего ослабления внеполосных помех, после МШУ, сигнал повторно фильтруется ПФ и усиливается на втором каскаде МШУ.

Со второго каскада сигнал каждой системы – GPS и ГЛОНАСС соответственно поступает на универсальный навигационный приемник, который выполняет однократный перенос несущей на промежуточную частоту в виде квадратур *I* и *Q*, ограничивает полосу перенесенного сигнала и подавляет зеркальную частоту встроенным ФНЧ. Результирующая полоса сигнала после преобразования усиливается регулируемыми усилителями и оцифровывается. Цифровой сигнал поступает на разъемы, используемые для подключения цифрового вычислителя для дальнейшей обработки – выделения навигационного сообщения с целью определения пространственных координат, составляющих вектора скорости движения, поправки показаний часов потребителя и скорости изменения этой поправки [10].

Вся схема, за исключением внешней антенны, питается от одного малошумящего линейного стабилизатора напряжения. С целью обеспечить достаточный уровень тока, потребляемого различными внешними антеннами, применен дополнительный малошумящий линейный стабилизатор.

Рассмотренная схема обладает следующими достоинствами:

– минимальный уровень энергопотребления;

– независимая обработка сигналов от двух глобальных спутниковых навигационных систем.

К недостаткам схемы можно отнести применение универсального однокристального навигационного приемника, так как наличие таких встроенных блоков, как АЦП и генератора, управляемого напряжением (ГУН), загрубляют параметры принимаемого сигнала [11].

Данная схема ориентирована на применение в портативных устройствах навигации и способна работать как с встроенной в корпус антенной, так и дополнительно подключаемой внешней.

Вариант исполнения входного тракта для бортовых устройств представлен на рис. 3.

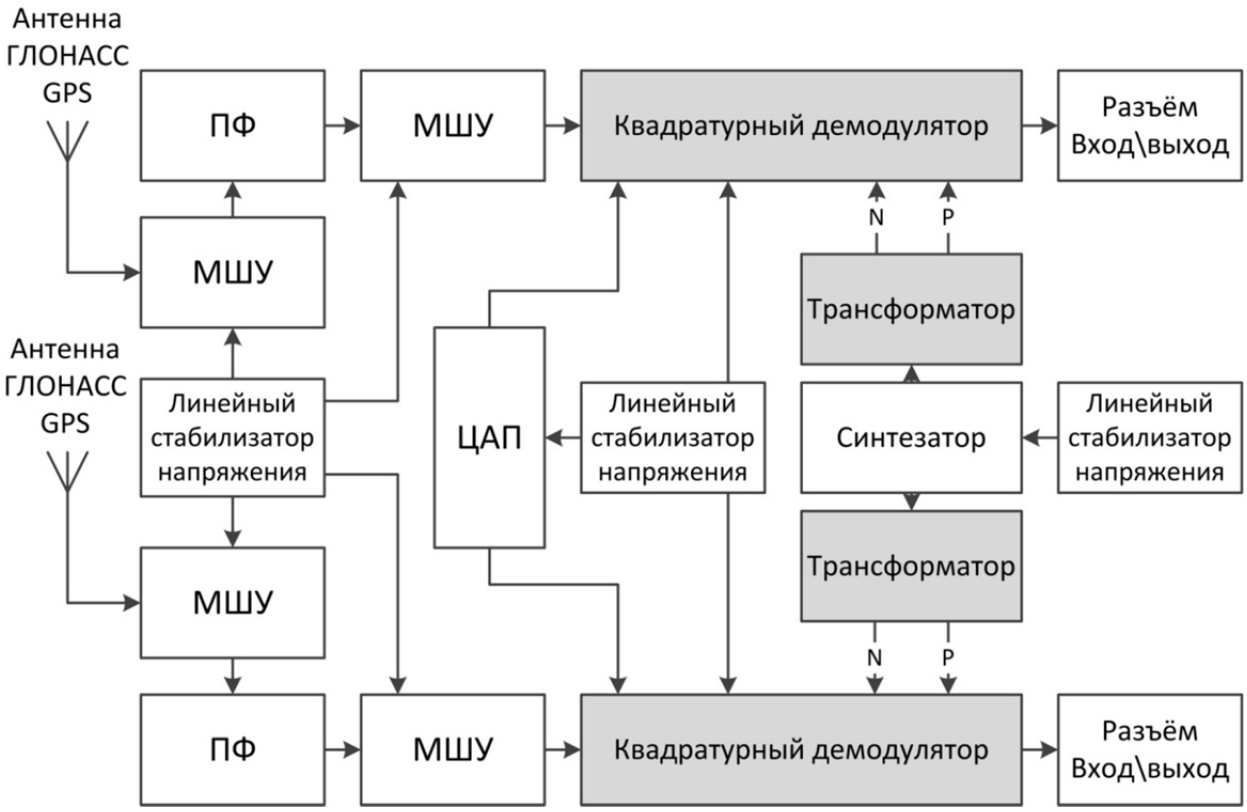


Рис. 3. Вариант реализации входного тракта для бортовых устройств

С антенны сигнал подается на МШУ, фильтруется в ПФ с полосой, пропускающей сигналы от двух глобальных навигационных систем ГЛОНАСС, GPS, подвергается повторному усилению и поступает на вход квадратурного демодулятора.

Квадратурный демодулятор предназначен для переноса на промежуточную частоту принятого сигнала в виде квадратур I и Q. Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) нужен для регулировки встроенных в квадратурный демодулятор полосовых низкочастотных усилителей. Синтезатор выполняет роль гетеродина – генерирует гармоническое колебание, частотой, необходимой для работы демодулятора.

Трансформаторы необходимы для получения дифференциального сигнала из однополярного, который необходим для получения квадратурных составляющих принятого сигнала в смесителе квадратурного демодулятора.

Чтобы минимизировать взаимные помехи от функциональных блоков различного назначения, применяется три малошумящих линейных стабилизатора напряжения, которые обеспечивают напряжением МШУ, ЦАП, квадратурные демодуляторы и синтезатор.

Достоинства схемы:

– параллельная работа двух приемных трактов, позволяющая увеличить число одновременно обрабатываемых каналов;

– резервирование, если один канал выйдет из строя, решение навигационной задачи будет возможно посредством оставшегося работоспособного канала.

К недостатком можно отнести увеличение номенклатуры элементной базы, связанное с увеличением числа линейных стабилизаторов напряжения, и не всегда нужное резервирование схемы.

Представленный вариант предназначен для приема навигационных сигналов двумя идентичными пассивными двухсистемными ГЛОНАСС/GPS антеннами, расположенными с противоположных сторон борта носителя.

Вариант реализации входного тракта высокочастотного навигационного приемника для бортовых двухдиапазонных устройств представлен на рис. 4.

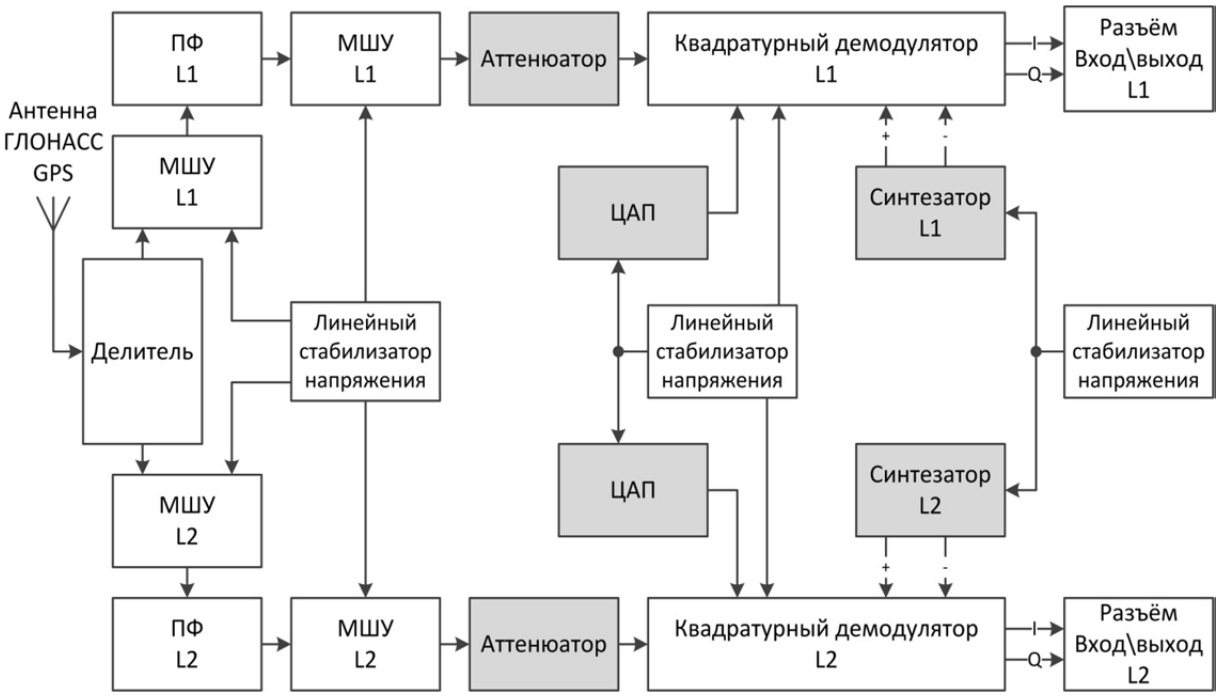


Рис. 4. Вариант реализации входного тракта для бортовых двухдиапазонных устройств

Предлагаемая схема по сути является комбинацией двух предложенных ранее вариантов. Однако в ней коэффициент усиления полосовых усилителей для каждого диапазона регулируется отдельными ЦАП, а гетеродин формируется собственными синтезаторами. На выходе формируется аналоговый квадратурный сигнал, дальнейшая обработка которого происходит в цифровом вычислителе.

Разработанный модуль позиционируется как универсальное функционально законченное устройство с возможностью работать как от активной, так и от пассивной антенны. Аттенюатор введен с целью ослабить излишнее усиление при работе от активной антенны.

Достоинства схемы:

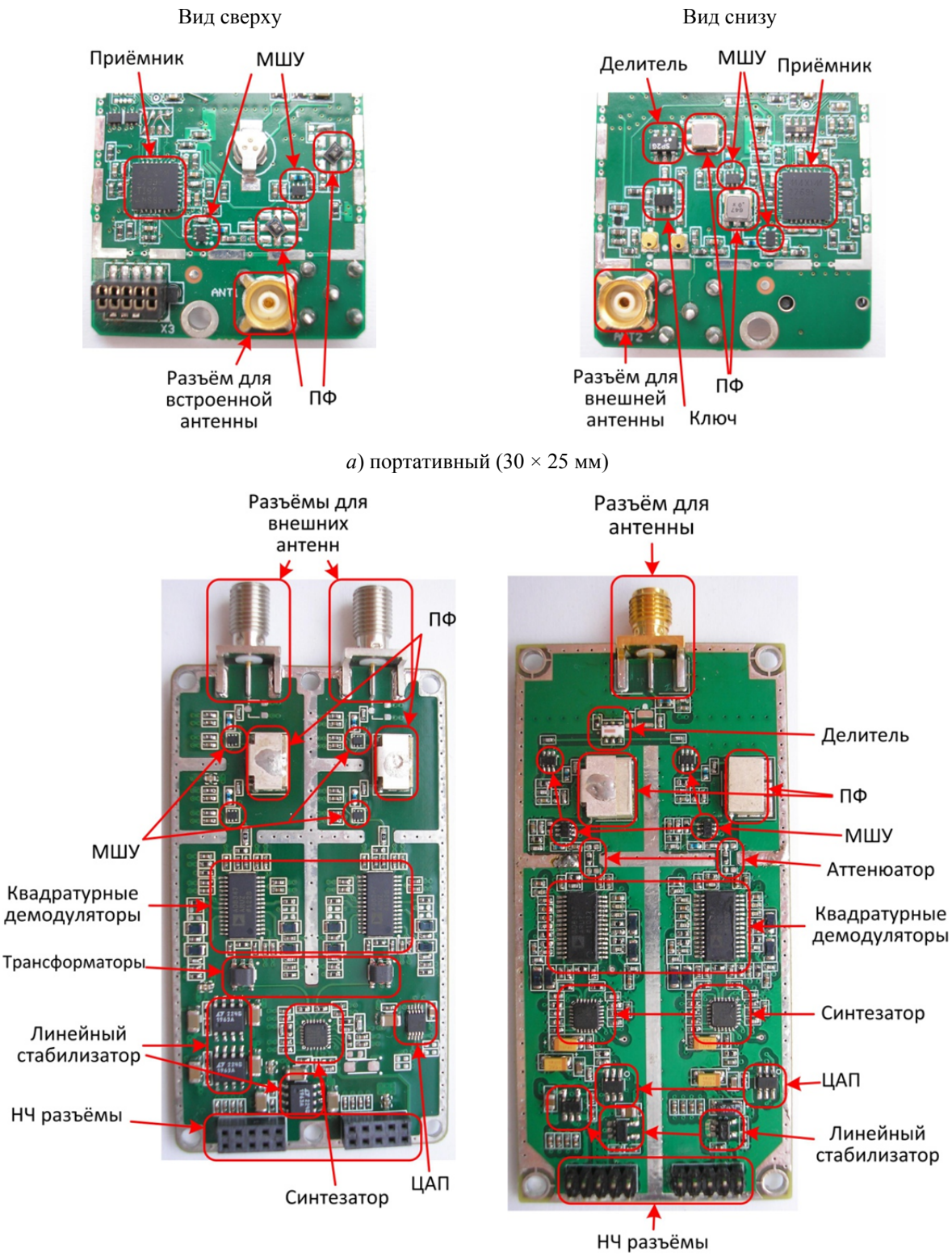
– один антенный вход;

– работа в двух частотных диапазонах $L1$ и $L2$.

Существенным недостатком является схемная реализация на дискретной элементной базе.

Рассмотренные варианты реализованы на основе аналоговых микросхем в виде функционально законченных модулей на многослойных печатных платах, топология которых создана с учетом требований по электромагнитной совместимости.

Внешний вид модулей представлен на рис. 5.



а) портативный (30 × 25 мм)

б) бортовой (42,8 × 75 мм)

в) бортовой двухдиапазонный (39 × 80 мм)

Рис. 5. Внешний вид модулей

Элементная база, на основе которой созданы рассмотренные модули, и ее основные характеристики представлены в табл. 1. Обозначение параметров в таблице: F_{RF} – диапазон входных частот; $I.L$ – вносимые потери; NF – коэффициент шума; G – коэффициент усиления; V_S – напряжение питания; F_{RFc} – центральная частота; F_{BW} – полоса частот; F_{out} – диапазон выходных частот; V_{in} – диапазон входного напряжения; V_{out} – выходное напряжение; I_{out} – максимальный выходной ток.

Таблица 1

Элементная база структурных блоков вариантов приемных модулей

Назначение	Модель	Производитель	Вариант реализации	Основные характеристики
Ключ	uPG2010TB	California Eastern Laboratories	а	F_{RF} = (0,5…2,5) GHz $I.L$ = 0,3 dB
Делитель	QCN-19	Mini-Circuits	в	F_{RF} = (1100…1925) MHz $I.L$ = 0,4 dB
	SP-2G+		а	F_{RF} = (1420…1660) MHz $I.L$ = 0,4 dB
МШУ	MGA-62563	Avago Technologies	в	F_{RF} = (0,1…3,0) GHz NF = 0,9 dB G = 22,0 dB V_S = (3,0…5,0) V
	MAX2659	Maxim Integrated	а, б	F_{RF} = (1,2…2,0) GHz NF = 0,8 dB G = 20,5 dB V_S = (1,6…3,3) V
ПФ	ФП-647	ОАО «МНИИР»	а	F_{RFc} = 1601 MHz F_{BW} = 21 MHz
	TFS1575H	Vectron International	а	F_{RFc} = 1575,42 MHz F_{BW} = 2,8 MHz
	ФМ(3)-1239/33	ЗАО «Транстроника»	в	F_{RFc} = 1239 MHz F_{BW} = 33 MHz
	ФМ(3)-1591/42		б, в	F_{RFc} = 1591 MHz F_{BW} = 42 MHz
Квадратурный демодулятор	AD8347	Analog Devices	б, в	F_{RF} = (800…2500) MHz V_S = (2,7…5,5) V
Универсальный навигационный приемник	MAX2769	Maxim Integrated	а	F_{RF} = (1574…1606) MHz V_S = (2,7…3,3) V Встроенный синтезатор Встроенный АЦП
Синтезатор	ADF4360-4	Analog Devices	б, в	F_{out} = (1450…1750) MHz V_S = (3,0…3,6) V
	ADF4360-5		в	F_{out} = (1200…1400) MHz V_S = (3,0…3,6) V
ЦАП	AD5310	Analog Devices	в	10-bit 1 ЦАП V_S = (2,7…5,5) V Управление по SPI
	AD5324		б	12-bit 4 ЦАПа V_S = (2,5…5,5) V Управление по SPI
Линейный стабилизатор	ADP150	Analog Devices	а	V_{in} = (3,2…5,5) V V_{out} = 3,0 V I_{out} = 150 mA
	LT1963A	Linear Technology	б	V_{in} = (2,2…20,0) V V_{out} = регулируется I_{out} = 1,5 A
	TPS76301	Texas Instruments	в	V_{in} = (2,7…10,0) V V_{out} = регулируется I_{out} = 150 mA
	TPS79333		в	V_S = (2,7…5,5) V V_{out} = 3,3 V I_{out} = 200 mA

Таким образом, предложенные структурные схемы трех рассмотренных вариантов входного радиочастотного тракта реализованы в виде унифицированных модулей и успешно эксплуатируются в реальных условиях.

На данный момент самыми востребованными являются бортовые модули, способные работать в жестких условиях эксплуатации.

Список литературы

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова. – Изд. 4-е перераб. и доп. – М. : Радиотехника, 2010. – 800 с.
2. Аминев, Д. А. Многоканальная регистрация высокоскоростных сигналов / Д. А. Аминев // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. – М., 2011. – С. 48–50.
3. Юрков, Н. К. К вопросу разработки нормативно-методического обеспечения испытаний РЭС на вибростойкость / Н. К. Юрков, В. Н. Писарев, Г. В. Таньков // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2002. – С. 274–275.
4. Испытания бортовой спутниковой навигационной системы на виброклиматические воздействия / Д. А. Аминев, А. Е. Абрамешин, И. Ю. Лисицын, С. У. Увайсов // Инновационные информационные технологии : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / отв. ред. И. А. Иванов ; под общ. ред. С. У. Увайсова. – М. : МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013. – Т. 3. – С. 18–23.
5. Аминев, Д. А. Вычислитель для бортовой спутниковой навигационной системы / Д. А. Аминев, И. Ю. Лисицын, С. У. Увайсов // Иформационные и коммуникационные технологии в образовании, науке и производстве : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. (24–28 июня 2013 г.). – Протвино, 2013.
6. Аминев, Д. А. Система регистрации параметров бортовой спутниковой навигационной системы при испытаниях на виброклиматические воздействия / Д. А. Аминев, И. Ю. Лисицын, С. У. Увайсов // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – Т. 2. – С. 377–379.
7. Лышов, С. М. Моделирование механических характеристик конструкции бортовой аппаратуры / С. М. Лышов, И. А. Иванов, С. У. Увайсов // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – Т. 2. – С. 379–386.
8. ГЛОНАСС: Интерфейсный контрольный документ (редакция 5.1). 2008. – Редакция от ФГУП «РНИИ КП».
9. Свиридов, А. С. ГЛОНАСС. Навигационная аппаратура потребителей / А. С. Свиридов // Сборник трудов VI Междунар. науч.-практ. конф. учащихся и студентов : в 2 ч. / под ред. Ю. А. Романенко, Н. А. Анисинкиной, С. Г. Воеводиной. – Протвино : Управление образования и науки, 2013. – С. 854–856.
10. ГОСТ Р 52928-2010. Система спутниковая навигационная глобальная. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2011. – 25 с.
11. Юрков, Н. К. Системные методологии, идентификация систем и теория управления: промышленные и аэрокосмические приложения / Н. К. Юрков, И. А. Гарькина, А. М. Данилов, Э. В. Лапшин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2009. – № 1. – С. 3–11.

УДК 629.7.05

Аминев, Д. А.

Варианты реализации входного тракта спутникового навигационного приемника / Д. А. Аминев, А. С. Свиридов, С. У. Увайсов // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 3. – С. 76–83.

Аминев Дмитрий Андреевич
кандидат технических наук, менеджер,
Московский институт электроники и математики
Национального исследовательского университета
«Высшая школа экономики»,
109028, Россия, г. Москва,
Б. Трехсвятительский пер., д.1-3/12
89067406453
E-mail: aminev.d.a@ya.ru

Свиридов Александр Сергеевич
аспирант,
Московский институт электроники и математики
Национального исследовательского университета
«Высшая школа экономики»,
109028, Россия, г. Москва,
Б. Трехсвятительский пер., д.1-3/12
89647735273
E-mail: xandar@inbox.ru

Aminev Dmitriy Andreevich
candidate of technical sciences, manager,
Moscow institute of electronics and mathematics
of National Research University
«Higher school of economics»,
109028, 1-3/12 Bol'shoy Trekhsvyatitel'skiy lane,
Moscow, Russia
89067406453
E-mail: aminev.d.a@ya.ru

Sviridov Aleksandr Sergeevich
postgraduate,
Moscow institute of electronics and mathematics
of National Research University
«Higher school of economics»,
109028, 1-3/12 Bol'shoy Trekhsvyatitel'skiy lane,
Moscow, Russia
89647735273
E-mail: xandar@inbox.ru

Увайсов Сайгид Увайсович
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой радиоэлектроники
и телекоммуникаций,
Московский институт электроники и математики
Национального исследовательского университета
«Высшая школа экономики»,
109028, Россия, г. Москва,
Б. Трехсвятительский пер., д.1-3/12
84957766453
E-mail: uvaysov@yandex.ru

Аннотация. Рассматривается процесс прохождения сигналов во входном тракте спутникового навигационного приемника. Предлагаются варианты аппаратной реализации тракта. Приводятся их структурные схемы. Проведен выбор элементной базы и представлен внешний вид печатных узлов.

Ключевые слова: приемник, входной тракт, спутниковая навигация, структурная схема, элементная база, обработка сигналов.

Uvaysov Saygid Uvaysovich
doctor of technical sciences, professor,
head of sub-departament of radioelectronics
and telecommunications,
Moscow institute of electronics and mathematics
of National Research University
«Higher school of economics»,
109028, 1-3/12 Bol'shoy Trekhsvyatitel'skiy lane,
Moscow, Russia
84957766453
E-mail: uvaysov@yandex.ru

Abstract. The signals processing in the input path of the satellite navigation receiver is studied. The variants of the hardware implementation tract is offered. Their block diagrams is given. The election of the hardware components is made and the appearance of modules is shown.

Key words: receiver input channel, satellite navigation, block diagram, element base, signal processing.

Вниманию авторов!

Редакция научно-практического журнала «Надежность и качество сложных систем» приглашает ученых и специалистов опубликовать оригинальные статьи, содержащие новые научные и практические результаты в области фундаментальных и прикладных исследований проблем обеспечения надежности и качества сложных как технических, так и эргономических систем по следующей тематике:

- фундаментальные основы обеспечения безопасности, надежности и качества;
- физико-математические методы и модели обеспечения надежности и качества сложных систем;
- информационная безопасность сложных систем;
- технологические основы повышения надежности и качества изделий;
- информационные технологии в проектировании, производстве, испытаниях и сертификации высоконадежных систем;
- надежность биологических и экологических систем и приборов;
- диагностические методы обеспечения надежности и качества сложных систем;
- моделирование и управление в эргономических системах;
- менеджмент качества предприятий и организаций.

Статьи, ранее опубликованные, а также принятые к опубликованию в других журналах, редколлегией не рассматриваются.

Редакция принимает к рассмотрению статьи, подготовленные с использованием текстового редактора Microsoft Word for Windows версий не выше 2003.

Необходимо представить статью в электронном виде (kipra@pnzgu.ru, дискета 3,5», CD-диск) и дополнительно на бумажном носителе в двух экземплярах.

Оптимальный объем рукописи – 10–14 страниц формата А4. Основной шрифт статьи – Times New Roman, 14 pt, через полуторный интервал. Тип файла в электронном виде – RTF.

Статья **обязательно** должна сопровождаться индексом УДК, краткой аннотацией и ключевыми словами **на русском и английском языках.**

Рисунки и таблицы должны быть размещены в тексте статьи и представлены в виде отдельных файлов (растровые рисунки в формате TIFF, BMP с разрешением 300 dpi, векторные рисунки в формате Corel Draw с минимальной толщиной линии 0,75 pt). Рисунки должны сопровождаться подрисуночными подписями.

Формулы в тексте статьи выполняются в редакторе формул Microsoft Word Equation, версии 3.0 и ниже. Символы греческого и русского алфавита должны быть набраны прямо, нежирно; латинского – курсивом, нежирно; обозначения векторов и матриц – прямо, жирно; цифры – прямо, нежирно. Наименования химических элементов набираются прямо, нежирно. Эти же требования **необходимо** соблюдать и в рисунках. Допускается вставка в текст специальных символов (с использованием шрифтов Symbol).

Редколлегия