

**Методы и средства интеллектуальной поддержки процессов  
проектирования контура управления движением  
летательных аппаратов**

УДК 629.7 (519.2)

Бебяков А.П., Бебяков А. А.

**К АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТОВ БЕЗОТКАЗНОСТИ СИСТЕМЫ  
СЛОЖНОЙ СТРУКТУРЫ**

Основным параметром надежности сложного технического изделия является его безотказность, обеспечиваемая, преимущественно, резервированием элементов: агрегатов, механизмов, подсистем, систем. Это позволяет эксплуатировать изделие и при отказе части его элементов. В многоканальных системах управления могут быть дополнительно введены межканальные связи, благодаря которым канал останется работоспособным, даже при отказе элемента внутри канала (используется отдельный элемент смежного канала). Такие структуры изделий, системы в которых представлены как в виде последовательно соединенных элементов (образующих канал), так и имеющих межканальные элементы, следует называть системами сложной структуры. Если система состоит не только из последовательно или параллельного соединенных элементов, но имеет и параллельно-последовательные соединения, то ее следует отнести к системам сложной структуры, которые не могут быть представлены в виде  $\pi$ -сетей

В качестве примера следует назвать современные гражданские и транспортные самолеты (фирмы Туполева, Ильюшина, Антонова, Боинг), использующие многоканальное, многоуровневое резервирование. Оценка безотказной работы подобных изделий затруднительна. Необходимо разработать структурно-функциональную схему надежности (СФН) изделия. Затем с использованием логических связей составить логическую модель безотказности изделия, преобразование которой при некоторых допущениях в алгебраические соотношения и позволит проводить численную оценку безотказности. Предложенные в [1] структуры графов и специально разработанные таблицы являются скорее поясняющими логическое уравнение,

инструментом наглядности и упрощения расчетов. Основным вопросом расчета вероятности безотказной работы системы сложной структуры является автоматизация построения непосредственно расчетной модели анализируемой системы [2].

На основе систем, включающих нерасщепляемые в виде  $\pi$ -сети структуры, разработан соответствующий алгоритм расчета любого из указанных выше соединений элементов (рис 1).

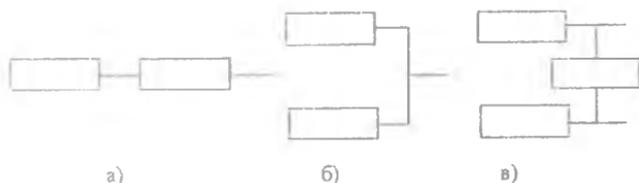


Рис.1—Конфигурации соединения элементов системы

а – последовательное, б – параллельное, в – параллельно - последовательное

Алгоритм расчета предполагает задание СФСН в виде матрицы, элементы которой равны значениям вероятностей безотказной работы реальных агрегатов, механизмов, подсистем. Задание СФСН в такой форме позволяет провести оценку безотказной работы практически любой реальной системы сложной структуры. Автоматизированный расчет производится путем преобразования исходной матрицы на основе формул теории вероятностей. Результатом преобразований является искомое значение вероятности безотказной работы системы сложной структуры.

Алгоритм реализован в среде объектно-ориентированного программирования C++Builder 5, что позволяет обеспечить визуализацию СФСН в виде графа на экране компьютера.

Для примера произведен расчет вероятности безотказной работы системы, представленной на рис 2. Вероятность безотказной работы каждого элемента системы принята равной  $P=0,9$  [1]

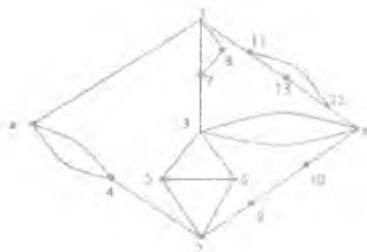


Рис.2–Нерасщепляемая в виде  $\pi$ -сети структура

Однако она может быть представлена и в виде функциональной зависимости от различных параметров, влияющих на состояние исследуемой системы, в том числе и времени. Это позволит сделать прогноз безотказной работы системы на средне- и долгосрочную перспективу.

Во втором примере (рис.3) алгоритм применен для анализа системы кондиционирования воздуха в кабине экипажа самолета.

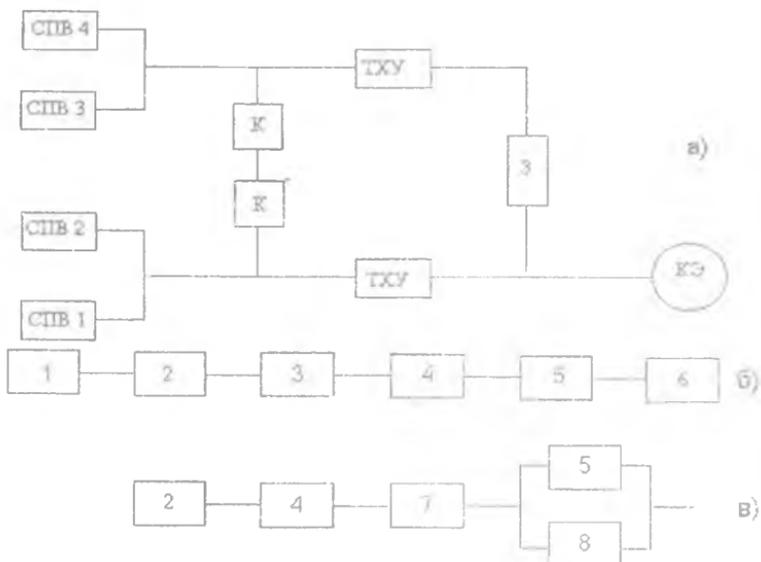


Рис.3–СФСН системы кондиционирования воздуха

а–структура системы; б–система подготовки воздуха (СПВ);  
в– турбохолодильная установка (ТХУ), 1,2... 8–элементы систем, к–кран,  
з–заслонка, кэ – кабина экипажа

В ней вероятности безотказной работы элементов задаются в функциональном виде, в частности, по экспоненте  $P_i(t) = \exp(-\lambda t)$  и распределениями Вейбула:  $P_i(t) = \exp(-\frac{t^\beta}{\nu})$ .

Величины коэффициентов  $\beta$ ,  $\nu$  и  $\lambda$  приведены в таблице.

Таблица

Коэффициенты законов распределения

Номер агрегата	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\beta$	0,972	0,704	0,465	0,793	0,859	0,891	0,967	0,783	0,104
$\nu$	2569	1111	64,9	954	1187	858	2037	864	5,3
$\lambda$	3,27	0,98	3,69	2,26	3,52	5,45	3,90	4,44	1,01

Таким образом, реализован алгоритм расчета вероятности безотказного состояния изделия (системы), которые имеют многоуровневое резервирование как с параллельным и последовательным, так и с параллельно-последовательным соединением элементов. Это позволяет исключить при анализе безотказности изделия сложнейший процесс программирования структурно-функциональных схем надежности сложной структуры и свести исследования фактически к трем операциям:

1. Построение СФСН
2. Набор на мониторе ПЭВМ этой СФСН по правилам разработанного алгоритма.
3. Задание исходных данных безотказности составляющих блоков СФСН в виде чисел или функциональных зависимостей и получение результатов расчета.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бебяков А.П. Методика оценки безотказности сложной системы //Вестник Российской академии космонавтики. Управление движением и навигация летательных аппаратов. Сборник трудов VIII Всероссийского научно-технического семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов. - Самара, 1998.-С. 45-47.

2. Бебяков А.П., Ржевский В.М., Бебяков А.А. Обоснование автоматизированной системы контроля надежности воздушного судна. Современные научно-технические проблемы транспорта России. /Сборник материалов международной НТК. - Ульяновск: УВ АУ ГА, 1999 -С.109-110

УДК 629.78

Дружинин Э.И.

### ПРОГРАММНОЕ ТРАССИРОВАНИЕ ЗАДАНЫХ МАРШРУТОВ

Предлагается новый подход к построению программного управления, обеспечивающего решение актуальной задачи [1,2,3,4] сканирования аппаратурой наблюдения космического аппарата заданного программного маршрута. Метод опирается на результаты решения двухточечной нелинейной краевой задачи теории управления [5]. Существенная особенность двухточечной краевой задачи состоит в поиске управления, переводящего систему из ее начального состояния в заданное конечное состояние вдоль *какой-либо* траектории. Это обстоятельство использует процедура построения управления, развитая в работе [5]. Будучи примененным в задаче переориентации орбитального телескопа [6], этот подход позволил решить проблему автоматического обхода сингулярных состояний исполнительных гиросило-вых органов. В задаче прослеживания заданного маршрута свободы в выборе траектории перехода нет. Однако решение этой задачи "с заданной точностью", использующее алгоритм [5] по типу встроенной процедуры, позволило распространить преимущество метода решения двухточечной краевой задачи на алгоритм построения управления при прослеживании маршрутов. При таком подходе к решению "маршрутной задачи" были найдены достаточные условия существования управления, сканирующего маршрут с заданной точностью, и была разработана процедура его формирования.

Рассмотрим дифференциальную систему

$$\dot{x} = f(t, x, u). \quad (1)$$