

Автоматизированный обучающий комплекс для исследования надежности невосстанавливаемых резервированных технических систем

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Исследованы вопросы применения разработанного автоматизированного комплекса для определения надежности сложных резервированных невосстанавливаемых изделий в целях проектирования систем заданной надежности и живучести, а также для изучения проблем обеспечения надежности технических систем путем введения резервирования его элементов.

Ключевые слова: невосстанавливаемое техническое изделие, повышение надежности, резервирование, вероятность безотказной работы, проектирование, обучение.

Надежность – неотъемлемый показатель качества любого технического устройства. Проблема надежности становится все более острой в связи с развитием техники, важностью задач, выполняемых ею, повышением требований к безопасности и срокам эксплуатации. Для обеспечения надежности сложных систем и сохранения их работоспособного состояния при отказе или повреждении одного или нескольких элементов в технике широко используют *резервирование*. В данной работе приведены основные параметры и проанализирована рациональная область применения разработанного автоматизированного программного комплекса (ПК), предназначенного для исследования путем математического моделирования на ЭВМ надежности невосстанавливаемых технических систем с учетом различных способов резервирования составляющих элементов. Комплекс позволяет:

- рассчитать вероятность безотказной работы (ВБР) технической системы, состоящей из произвольного количества нерезервированных элементов, соединенных различным образом;
- определить изменение ВБР технической системы при использовании одного из шести классических способов резервирования ее элементов или любой комбинации этих способов резервирования, применяемой к различным компонентам этой системы;
- проанализировать изменение ВБР технической системы в условиях воздействия факторов, вызывающих боевые и эксплуатационные повреждения;
- предоставить пользователю возможность изучения теоретических сведений по рассматриваемому вопросу, что необходимо в случае использования ПК в учебных целях, а также в качестве справочного материала для специалиста, решающего конкретные технические задачи;
- выполнять проектировочные работы, многократно варьируя как способы и кратность резервирования отдельных элементов и подсистем, так и сами резервируемые элементы, определяя наиболее эффективный способ удовлетворения заданному критерию проектирования (например, допустимому увеличению массы системы или минимальному увеличению массы, необходимому для увеличения надежности (живучести) до требуемого уровня).

Разработанный ПК позволяет проанализировать способы резервирования элементов системы, приведенные в табл.1.

В качестве количественной меры оценки надежности системы используют *вероятность безотказной работы технической системы*, представляющей собой основное соединение N элементов, в течение определенного времени t в заданных условиях, которая определяется по известным значениям этого параметра для его отдельных элементов $p_{эл\ i}(t)$ следующим образом:

$$P_{сист}(t) = \prod_{i=0}^N p_{эл\ i}(t).$$

Каждый из элементов, входящих в состав изделия, может не иметь резерва или резервироваться одним из способов, приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Способ резервирования	Вероятность безотказной работы изделия
Общее резервирование с постоянно включенным резервом и целой кратностью	$P_{изд}(t) = 1 - [1 - \prod_{i=1}^n p_i(t)]^{m+1}$
Раздельное резервирование с постоянно включенным резервом и целой кратностью	$P_{изд}(t) = \prod_{i=1}^n \{1 - [1 - p_i(t)]^{m_i+1}\}$
Общее резервирование замещением с целой кратностью при экспоненциальном законе надежности и состоянии резерва - ненагруженном: - недогруженном: - нагруженном:	$P_{изд}(t) = e^{-\lambda_o t} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_o t)^i}{i!}$ $P_{изд}(t) = e^{-\lambda_o t} [1 + \sum_{i=1}^m \frac{b_i}{i!} (1 - e^{-\lambda_i t})^i]$ $P_{изд}(t) = 1 - [1 - \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_o t}]^{m_i+1}$
Раздельное резервирование замещением с целой кратностью	$P_{изд}(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t)$
Общее резервирование замещением с дробной кратностью и постоянно включенным резервом	$P_{изд}(t) = \sum_{i=0}^{l-h} C_l^i p_0^{l-i}(t) \sum_{j=0}^i (-1)^j C_i^j p_0^j(t)$
Скользящее резервирование кратностью при экспоненциальном законе надежности	$P_{изд}(t) = e^{-\lambda_o t} \sum_{i=0}^{m_0} \frac{(\lambda_o t)^i}{i!}$

Обозначения, использованные в табл.1, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Обозначение	Параметр
n	Число элементов основной или любой резервной системы
m	Кратность резервирования
λ_o	Интенсивность отказов основного устройства
λ_i	Интенсивность отказов резервного устройства до замещения
l	Общее число основных и резервных элементов
h	Число элементов, необходимое для нормальной работы резервированной системы

Укрупненный алгоритм работы ПК комплекса показан на рис. 1.



Рис. 1. Алгоритм функционирования разработанного ПК

В теоретическую информацию, предоставляемую пользователю для изучения основных положений определения ВБР технических систем, включены следующие разделы:

- живучесть и надежность авиационных систем;
- методы расчета живучести систем летательных аппаратов с учетом накопления ущерба при наличии дублирования и резервирования;
- критерии и количественные характеристики надежности;
- критерии надежности невосстанавливаемых систем;
- расчет характеристик надежности невосстанавливаемых резервированных изделий.

Основные сведения о работе с комплексом включают в себя инструкцию по эксплуатации и демонстрационный пример расчета ВБР топливной системы ЛА.

ПК снабжен комплектом тестов, позволяющим пользователю осуществить самоконтроль как теоретических знаний, так и практических навыков, необходимых для исследования ВБР сложной невосстанавливаемой технической системы с учетом резервирования ее элементов.

Для удобной работы пользователя в комплексе предусмотрены:

- интуитивно понятный меню ориентированный интерфейс;
- подсистема проверки корректности исходных данных;
- формирование результата в виде отчета с возможностью просмотра его на экране и выдачи на твердый носитель;
- демонстрационный пример, наглядно объясняющий порядок эксплуатации комплекса;
- глоссарий с определением основных терминов;
- система контекстной справки.

ВБР системы определяется в соответствии с алгоритмом, показанным на рис. 2.

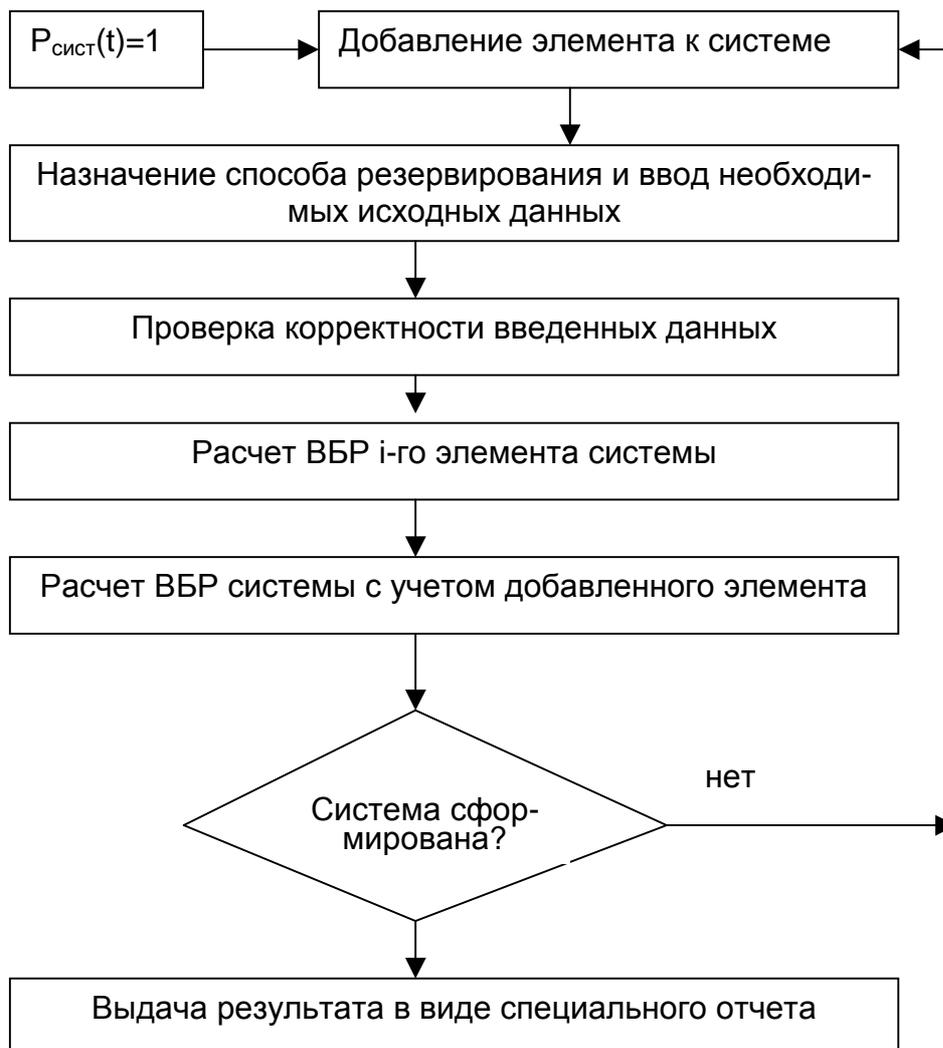


Рис. 2. Алгоритм расчета ВБР сложной технической системы

Разработанный автоматизированный обучающий комплекс для определения вероятности безотказной работы сложной невосстанавливаемой технической системы может быть эффективно использован как в учебном процессе, так и в практической деятельности проектно-конструкторских и эксплуатационных авиационных организаций для определения рациональной кратности и способа резервиро-

вания, рационального использования допустимого увеличения массы системы в целях повышения ее надежности (боевой и эксплуатационной живучести), а также минимально необходимого увеличения массы для повышения надежности и живучести до требуемого уровня. Разработанный комплекс не только позволяет проанализировать повышение надежности благодаря резервированию, но и оценить критическое значение относительной надежности, начиная с которого необходимо осуществить резервирование, а также проанализировать рациональность применения бронирования, протектирования, экранирования отдельных агрегатов по сравнению с их резервированием.

Список литературы

1. Анцелиович Л.Л. Надежность, безопасность и живучесть самолета: моногр. / Л.Л. Анцелиович.– М.: Машиностроение, 1985. – 295 с.
2. Рыженко А.И. Живучесть авиационных силовых установок: учебник для студентов высш. учеб. заведений (направление "Авиация и космонавтика") / А.И. Рыженко, В.С. Кривцов.– Х.: Нац. аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2004. — 659 с.
3. Войнов К.Н. Прогнозирование надежности механических систем: моногр. / К.Н. Войнов. – Л.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
4. Дмитрюк Г.Н. Надежность механических систем / Г.Н. Дмитрюк, И.Б. Пясик. – М.: Машиностроение, 1966. – 183 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. Е.А.Дружинин, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

Поступила в редакцию 25.02.2010.

Автоматизований навчальний комплекс для дослідження надійності невідновлюваних резервованих технічних систем

Досліджено питання застосування розробленого автоматизованого комплексу для визначення надійності складних резервованих невідновлюваних систем з метою проектування систем заданої надійності й живучості, а також для вивчення проблем забезпечення надійності технічних систем шляхом резервування елементів.

Ключові слова: невідновлювана технічна система, підвищення надійності, резервування, вірогідність безвідмовної роботи, проектування, навчання.

Computer-Aided Learning Software to Research the Reliability of Nonrepairable Redundant Engineering Systems

The way of application of the computer-aided learning software designed to research the reliability of complicated nonrepairable redundant systems in order to design systems of specified reliability and survivability and to study problems of control of the reliability of engineering system by redundancy of its elements, is discussed.

Keyword: nonrepairable complicated system, reliability growth, redundancy, probability of non-failure operation, design, teaching.