

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Ву Чонг Туана

**«Разработка методики и моделей для выбора оптимальных параметров структур пассивного резервирования подсистем летательных аппаратов с учетом допусков»**, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)».

Вопросы повышения безотказности техники всегда имели и будут иметь важное теоретическое и практическое значение. Диссертационная работа посвящена одному из малоисследованных направлений повышения надежности – пассивному резервированию подсистем летательных аппаратов (ЛА) с учетом допусков при внезапных независимых отказах на уменьшение их выходного параметра. Актуальность работы заключается в необходимости методического аппарата для повышения надежности подсистем, не удовлетворяющих требованиям по безотказности, путем выбора оптимальной структуры пассивного резервирования при заданном допуске на уменьшение их выходного параметра.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Работа содержит 172 страниц, 91 иллюстраций, 34 таблиц, 4 приложения. Список используемой литературы включает 115 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность диссертационной работы, приводится обзор существующих результатов исследования по теме диссертации, формулируется цель работы, задачи и методы исследования, обосновано научная новизна и отмечена практическая значимость работы.

**Первая глава** посвящена описанию свойств используемого вида резервирования и установлению тех его особенностей, которые влияют на цель работы и определяют характер ее достижения. В частности, выявлены различия

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

« 01 » 12 2020

и взаимосвязь назначаемых и реализуемых допусков; определена сетка реализуемых допусков в широком диапазоне параметров структур резервирования; установлена возможность реализации каждого допуска для неограниченного множества возрастающих кратностей; показано, что подавляющее количество структур пассивного резервирования реализуется структурами некратного резервирования; выявлено, что структуры, реализуемые некратным резервированием, имеют критические вероятности элементов, сужающих диапазон вероятностей, где выгоден данный способ резервирования.

Во **второй главе** поставлена и решена задача анализа влияния безотказности элементов, величин реализуемых допусков и кратности резервирования на показатель безотказности пассивно резервированной подсистемы. Решение задачи анализа выявило существование экстремума разности безотказности резервированной подсистемы и безотказности входящих в нее элементов в широком диапазоне наиболее значимых допусков и безотказностей элементов. Причем, повышение кратности резервирования позволяет получить показатели безотказности резервированной подсистемы, близкие к единице. Эти результаты позволили поставить задачу синтеза структуры, рассматриваемую в третьей главе.

В **третьей главе** рассматривается задача синтеза структуры пассивного резервирования подсистем ЛА с учетом допусков. Поставлена задача выбора оптимальной структуры по двум частным показателям, один из которых – безотказность резервированной подсистемы максимизируется, а другой – безотказность входящего в нее элемента минимизируется. Двухкритериальная задача оптимизации сводится к одному комплексному критерию двумя способами: в виде алгебраической суммы и в виде отношения частных показателей. Выбор двух комплексных критериев, к которым сводятся частные показатели обусловлен тем, что они имеют разные экстремумы, позволяющие дать разные рекомендации для выбора оптимальных структур резервирования. Наличие экстремума у комплексных критериев обеспечивает нахождение компромиссных (оптимальных) значений частных показателей математически.

Решение задачи синтеза осуществляется в два этапа. Сначала для требуемого допуска находятся зависимости комплексных критериев и частных показателей от кратностей резервирования. На втором этапе определяется то значение кратности резервирования, определяющее параметры оптимальной структуры, при которой оптимальная безотказность резервированной подсистемы превышает требуемое значение. В работе приведены рекомендации по использованию каждого комплексного критерия.

**В заключении** приводятся основные результаты, полученные при выполнении диссертационной работы.

**Достоверность полученных результатов** обеспечивается:

- корректным использованием аппарата теории вероятностей, а также математических моделей безотказности и методов оптимизации;
- правильной работой алгоритмов и программ, отсутствием в них логических и синтаксических ошибок;
- сопоставлением результатов расчетов, полученных разными способами, в частности, по двум комплексным критериям;

**Новыми результатами**, полученными соискателем, следует считать следующие:

- равновесные значения допусков при внезапных независимых отказах (25% для допусков первого уровня и 28% для допусков второго уровня), резко меняющих характер зависимости безотказности пассивно резервированной подсистемы от кратности резервирования (при допусках менее равновесных значений она имеет возрастающий характер с ростом кратности, а при допусках более равновесных значений – убывающий характер);
- повышение кратности резервирования является основным средством достижения высоких показателей безотказности пассивно резервированных подсистем  $P_c$  (вероятности безотказной работы пассивно резервированной подсистемы за время выполнения задания) при реализуемых допусках менее 25% и любых значениях безотказности элементов  $p$  (вероятности безотказной



работы нерезервированной подсистемы), а также при больших допусках (не менее 25%) и безотказности элементов более 0,65;

- нелинейный строго вогнутый характер зависимости показателя  $P_c$  (вероятности безотказной работы пассивно резервированной подсистемы) от безотказности элементов  $p$  (вероятности безотказной работы нерезервированной подсистемы) в закритической области при любых допусках и индивидуальных кратностях резервирования, что говорит о существовании экстремума разности ( $P_c - p$ ), и позволяет ставить задачу разработки оптимальных высоконадежных пассивно резервированных подсистем ЛА с учетом допусков;

- методика решения задачи выбора оптимальной структуры резервирования при заданном допуске и требуемой безотказности проектируемой подсистемы;

- результаты синтеза оптимальных структур пассивного резервирования подсистем ЛА в широком диапазоне допусков и требований по безотказности.

**Практическая значимость** результатов работы заключается в возможности использования разработанной методики:

- при разработке новых подсистем в соответствии с требованием по безотказности, допускающих уменьшение их выходного параметра в некоторых допустимых пределах;

- при модернизации существующих нерезервированных подсистем с целью повышения их безотказности, допускающих уменьшение их выходного параметра в некоторых допустимых пределах, без существенного увеличения массогабаритных характеристик;

- в прогнозировании перспектив повышения безотказности пассивно резервированных подсистем различного назначения в зависимости от допустимого уменьшения их выходного параметра.

**Замечания** по работе:

1. Предположение, сделанное в первой главе о незначительном увеличении массогабаритных характеристик при замене нерезервированной подсистемы с

выходным параметром  $W$  на  $n$  параллельно включенных одинаковых элементов с выходным параметром каждого из них  $W/n$  требует более серьезного обоснования.

2. В первой главе не найдены пределы изменения критических вероятностей в зависимости от индивидуальных кратностей резервирования и величин допусков.

3. Во второй главе не исследовано влияние кратности резервирования на безотказность пассивно резервированных подсистем для допусков 3-го, 4-го и более высоких уровней, что, возможно, могло бы привести к более простым оптимальным структурам резервирования.

4. В третьей главе недостаточно обосновано использование двух комплексных критериев, так как для решения задачи синтеза вполне достаточно применение одного из них.

5. В работе встречаются опечатки (например на стр. 36 интервал  $(0 - p_{kr})$  назван докритическим, а на стр. 44, п.5 выводов по гл 1 этот же интервал назван закритическим), слияния слов (например, на стр.29 «будетпоказано», на стр. 31 «специальноне оговорено» и т.д.).

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации и скорее являются рекомендацией для будущих исследований. Они не снижают научной и практической ценности диссертации, которая представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научном уровне.

Содержание диссертации в полной мере изложено в статьях, опубликованных в 11 научных работах, из них 4 научные работы в изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, 2 – в работах опубликована в журналах Scopus. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на 5 международных и всероссийских конференциях. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертация Ву Чонг Туана отвечает требованиям п.9 “Положение о порядке присуждения ученых степени” (Постановление Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук). Считаю, что автор диссертации Ву Чонг Туан заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)».

Официальный оппонент:

Доктор технических наук,

заместитель начальника отделения 06

АО «Российские космические системы»

11250, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 53

тел.: +7 495 673-92-88 e-mail: vkurshin@spacecorp.ru

В.В. Куршин

20.11.2020

Подпись Куршина Владимира Викторовича удостоверяю

Ученый секретарь.

АО «Российские космические системы»



С.А. Федотов