

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д 217.047.01 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ АВТОМОБИЛЬНОЙ
ЭЛЕКТРОНИКИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ» МИНИСТЕРСТВА
ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 26 апреля 2018 г. № 2

О присуждении Четину Андрею Николаевичу ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация Четина Андрея Николаевича на тему «Методы повышения безотказности централизованной части системы вторичного электропитания аппаратуры вычислительной техники» по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления, принята к защите «25» января 2018 г., протокол №2, диссертационным советом Д 217.047.01 на базе Федерального государственного унитарного предприятия «Научно-исследовательский и экспериментальный институт автомобильной электроники и электрооборудования» (ФГУП НИИАЭ), Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, 105187, г. Москва, ул. Кирпичная, д. 39-41, утвержденным приказом ВАК России от 13.04.2001 №1044-в, срок полномочий совета продлен приказом №2059-2522 Рособнадзора от 14.10.2009 и приказом Министерства образования и науки Российской Федерации 714/нк от 02.11.2012 на период действия номенклатуры специальностей научных работников.

Гражданин Российской Федерации Четин Андрей Николаевич, 1984 года рождения, в 2008 г. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ», старое название – Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский энергетический институт (технический университет)») с получением квалификации инженера по специальности 140609.65 «Электрооборудование летательных аппаратов».

В период с 2008 г. по 2012 г. проходил подготовку в аспирантуре Акционерного общества «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М.А. Карцева» (АО «НИИВК им. М.А. Карцева»), Минпромторг России по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

Четин А.Н. работает начальником научно-тематического центра силовой электроники (НТЦ-4) в АО «НИИВК им. М.А. Карцева», Минпромторг России.

Диссертация выполнена в АО «НИИВК им. М.А. Карцева», Минпромторг России.

Научный руководитель: кандидат технических наук Сорокин Сергей Александрович, генеральный конструктор АО «НИИВК им. М.А. Карцева», Минпромторг России.

Официальные оппоненты:

– Жуков Дмитрий Олегович, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе института комплексной безопасности и специального приборостроения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технологический университет» (ФГБОУ ВО МИРЭА), Минобрнауки России;

– Заика Петр Никанорович, кандидат технических наук, главный специалист Общества с ограниченной ответственностью «НТЦ АКТОР» (ООО «НТЦ АКТОР»)

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация:

– Публичное акционерное общество «Научно-производственное объединение «Алмаз» (ПАО «НПО «Алмаз»), Минпромторг России дала положительный отзыв на диссертацию.

Отзыв составлен председателем подсекции № 2 секции № 1 научно-технического совета ПАО «НПО «Алмаз», кандидатом технических наук Раевым Александром Андреевичем. Отзыв обсужден и одобрен на заседании подсекции №2 секции №1 НТС ПАО «НПО «Алмаз», протокол №2/04-18 от 05.04.2018 г. и утвержден первым заместителем генерального директора – Генеральным конструктором ПАО «НПО «Алмаз», кандидатом технических наук, Ненартовичем Николаем Эдуардовичем.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью, известностью и научными работами в областях создания автоматизированных систем управления на базе аппаратуры вычислительной техники с повышенной безотказностью, а также средств и систем вторичного электропитания для данных систем.

Соискателем опубликована 31 работа, в том числе 11 публикаций в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ, и 4 патента на полезные модели.

Наиболее значимыми по теме диссертации являются следующие публикации:

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Либенко Ю.Н. Специфические возможности систем вторичного электропитания с магистрально-модульной архитектурой / Ю.Н. Либенко, Г.Я. Михальченко, А.Н. Четин // Доклады ТУСУРа. – 2011. – №2 (24). – часть 1. – С. 264-268.

2. Четин А.Н. Базовые критерии оптимизации структуры силовой части в резервированных системах электропитания // Вопросы радиоэлектроники. – 2016. – №7. – Серия ЭВТ. – Вып. 1. – С. 120-122.

3. Четин А.Н. Влияние структуры управляющей части на надежность системы электропитания // Вопросы радиоэлектроники, сер. ЭВТ. – 2012. – выпуск 2. – С. 162-170.

4. Четин А.Н. Оценка уровня безотказности системы вторичного электропитания с магистрально-модульной архитектурой // Доклады ТУСУРа. – 2011. – №2 (24). – часть 1. – С. 253-257.

5. Четин А.Н. Параллельная работа и безотказность преобразователей напряжения // Вопросы радиоэлектроники, сер. ЭВТ. – 2013. – выпуск 2. – С. 156-161.

6. Четин А.Н. Применение метода ротации силовых каналов для повышения безотказности многоканального преобразователя напряжения // Практическая силовая электроника. – 2013. – №49(1). – С. 33-36

Патенты:

1. Многофазный преобразователь напряжения (варианты): пат. 115980 Рос. Федерация: МПК H02M3/325, H02M3/335 / Либенко Ю.Н., Четин А.Н., Михальченко Г.Я., Бородин К.В., Русанов В.В., Михальченко С.Г.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. – № 2011136063/07; заявл. 29.08.2011; опубл. 10.05.2012, Бюл. №13.

2. Система воздушного охлаждения для устройства силовой электроники: пат. 129702 Рос. Федерация: МПК H01C1/082, H05K7/20, G12B15/02 / Либенко Ю.Н., Четин А.Н., Либенко Л.А.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М.А. Карцева». – № 2013101758/07; заявл. 16.01.2013; опубл. 27.06.2013, Бюл. №18.

3. Токовый коллектор для параллельного подключения выходов однотипных силовых каналов преобразователя напряжения постоянного тока: Пат. 142070 Рос. Федерация: МПК H02M7/00 / Либенко Ю.Н., Четин А.Н., Либенко Л.А.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М.А. Карцева». – № 2014103173/07; заявл. 31.01.2014; опубл. 20.06.2014, Бюл. №17.

4. Устройство воздушного охлаждения: пат. 153464 Рос. Федерация: МПК H05K7/20, H02M9/00 / Либенко Ю.Н., Четин А.Н.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М.А. Карцева». – № 2014139914/28; заявл. 02.10.2014; опубл. 20.07.2015, Бюл. №20.

В других изданиях:

1. Колосов В.А. СВЭП с повышенной надежностью для формирования промежуточных напряжений электропитания СВТ / В.А. Колосов, Ю.Н. Либенко, А.Н. Четин // Электропитание. – 2009. – №1. – С. 8-12.

2. Либенко Ю.Н. Практическая реализация адаптивной базовой системы преобразования электроэнергии с магистрально-модульной архитектурой / Ю.Н. Либенко, А.Н. Четин // Электропитание. – 2013. – № 1. – С. 4-10.

3. Либенко Ю.Н., Четин А.Н. Пути повышения безотказности систем вторичного электропитания радиоэлектронной аппаратуры // Электропитание. – 2010. – №4. – С. 10-21.

4. Четин А.Н. Безотказность преобразователя напряжения с параллельными резервированными силовыми каналами // Современная электроника. – 2018. – №2. – С. 44-48.

На автореферат диссертации поступило 9 отзывов, которые содержат следующие характерные замечания:

– поскольку основным дополнением к известным моделям и методам расчета является их «адаптация... применительно к ЦЧ СВЭП с учетом ее особенностей, связанных с параллельной работой СК и... структуры... СК», то без подробного описания указанных дополнений полученные аналитические выражения имеют недостаточную обоснованность;

– сведения, приведенные в автореферате, не позволяют в достаточной мере судить об обоснованности полученного заключения о целесообразности применения способа резервирования «N+1+K» по сравнению с другими способами резервирования, к тому же сравнение ведется только по одному показателю безотказности, что представляется недостаточно показательным;

- отсутствует подробное определение используемых коэффициентов подобия;
- нет описания процедуры автоматического изменения значений периода ротации при изменении условий эксплуатации и режимов работы ЦЧ СВЭП;
- для изделий аналогичного назначения часто задаваемыми показателями являются коэффициент готовности и коэффициент оперативной готовности, однако в работе основным показателем безотказности ЦЧ СВЭП выбрана только гамма-процентная наработка до отказа без обоснования причины такого ограничения;
- в работе не рассмотрены вопросы надежности программного обеспечения, которое является неотъемлемой частью исследуемой системы управления электропитанием;
- структурная схема надежности отражает особенности лишь силовой части ЦЧ СВЭП, что не дает представления об учете особенностей подсистемы контроля и управления;
- отсутствует развернутое представление об экономической целесообразности применения предложенных автором методов;
- в дополнение к ЦЧ СВЭП, предназначенной для питания аппаратуры вычислительной техники в составе АСУ, на практике часто устанавливается аккумуляторная батарея с целью обеспечения бесперебойности электропитания, однако в работе об этом не упоминается, хотя надежность аккумуляторных батарей крайне низка, что может оказать существенное влияние на всю систему электропитания в целом.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований получены результаты, обладающие научной новизной:

- **синтезирована** модель отказов ЦЧ СВЭП, основанная, в отличие от аналогов, на графоаналитическом описании процесса развития её отказа с использованием структурной схемы надежности, направленного графа переходов и системы дифференциальных уравнений с начальными условиями, учитывающая произвольный количественный состав и структурную взаимосвязь силовых каналов и контрольно-управляющих узлов;
- **разработан** структурный метод расчёта безотказности с использованием направленного графа переходов и его математического описания с помощью однородного марковского процесса, адаптированный к ЦЧ СВЭП, и отличающийся от известного метода расчёта безотказности резервируемых невосстанавливаемых систем дополнительным учётом

значения и распределения электрической нагрузки между включёнными силовыми каналами;

– **предложен** способ смешанного скользящего резервирования «N+1+K» с соответствующим управляющим алгоритмом замещения, отличающийся использованием режима временной и ситуационной ротации основных и резервных силовых каналов для обеспечения заданной безотказности ЦЧ СВЭП в условиях её ограниченной аппаратной избыточности и отсутствия оперативного обслуживания в межрегламентные периоды эксплуатации.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– **дополнена** база научных знаний в области создания и исследования общих свойств и принципов функционирования схем вторичного электропитания комбинированного класса с повышенными показателями безотказности централизованной части для устройств вычислительной техники, включая:

▪ модель отказов с учетом произвольного количественного состава и структурной взаимосвязи силовых каналов и контрольно-управляющих узлов,

▪ структурный метод расчёта показателей безотказности, учитывающий уровень и распределение электрической нагрузки между силовыми каналами.

– **методы**, предложенные автором, могут быть применены в ряде смежных областей при решении соответствующих задач повышения безотказности резервируемых технических систем.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

– **использование** результатов, полученных в работе, позволяет повысить показатели безотказности централизованной части систем вторичного электропитания, предназначенных для применения в средствах вычислительной техники, к безотказности которых предъявляются повышенные требования.

Практическая значимость основных результатов работы подтверждена актом внедрения, а отдельные результаты в области создания перспективных средств вторичного электропитания с повышенными показателями безотказности защищены 4 патентами на полезные модели.

Результаты диссертационной работы, в частности, предложенная математическая модель, разработанный метод расчета и разработанные алгоритмы, целесообразно использовать в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах, проводимых предприятиями промышленности при разработке аппаратуры вычислительной техники, в том

числе для укомплектования перспективных образцов вооружения и военной техники. К числу указанных предприятий могут быть отнесены АО «ГРЦ Макеева», ПАО «НПО «Алмаз», группа компаний «Штиль», компания «Фаствелл».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– **достоверность** выводов и рекомендаций подтверждается использованием в исследованиях апробированных моделей теории электрических цепей; строгих корректных методов математической физики, методов теории вероятностей, стохастического анализа, теории марковских процессов и корректностью применяемых математических преобразований; применением апробированных методов компьютерно-математического моделирования в среде MathCAD; отсутствием противоречий с известными теоретическими положениями; согласованностью результатов, получаемых для предельных частных случаев, с представленными в научной литературе результатами других исследований и опытными данными.

Личный вклад соискателя состоит в следующем:

– **установлено**, что создание усовершенствованных способов построения и алгоритмов управления систем вторичного электропитания (СВЭП) высокопроизводительных средств вычислительной техники (СВТ) с повышенной безотказностью должно базироваться на:

- концепции СВЭП комбинированного класса;
- учете выявленных уровней совместимости;
- использовании магистрально-модульной архитектуры с информационно-управляющей частью и параллельно работающими на общую выходную шину силовыми каналами;

– **выявлено**, что с учетом характера введенных ограничений и критериев отказа централизованной части (ЦЧ) СВЭП и её основных компонентов, а также при использовании принципа параллельной работы силовых каналов (СК), наиболее эффективным является применение структурного метода расчёта показателей безотказности резервируемых невосстанавливаемых систем, поведение которых описывается «схемой гибели»;

– **сформулированы** базовые критерии для определения количества основных и резервных СК, а также разработана методика оценки эффективности децентрализации контрольно-управляющих узлов (КУУ), которая позволяет для различных вариантов состава основных и резервных СК выбрать способ построения системы управления электропитанием (СУЭ), обеспечивающий наилучшие значения показателей безотказности ЦЧ СВЭП, что позволяет упростить решение задачи оптимизации состава ЦЧ СВЭП;

– **синтезирована** модель отказов ЦЧ СВЭП, учитывающая произвольный количественный состав и структурную взаимосвязь СК и КУУ, позволяющая применить её к любым вариантам реализации ЦЧ СВЭП;

– **предложен** адаптированный структурный метод расчёта показателей безотказности ЦЧ СВЭП, отличающийся от известного метода расчёта показателей безотказности резервируемых невосстанавливаемых систем дополнительным учётом данных о значениях и распределениях токов нагрузки между её СК, использование которых способствуют повышению достоверности результатов расчёта показателей безотказности ЦЧ СВЭП, в то время как отсутствие учёта этих данных приводит к появлению методической погрешности, приводящей к завышению показателей безотказности на величину до нескольких единиц процентов;

– **получено и обосновано** заключение о том, что из рассмотренных способов резервирования наибольшей эффективностью обеспечения безотказности ЦЧ СВЭП обладает способ смешанного скользящего резервирования замещением «N+1+K», при котором все СК условно разделены на N основных, 1 резервный в нагруженном режиме и K резервных в ненагруженном режиме, дополняемый предложенной модификацией алгоритма замещения, заключающейся во введении временной и ситуационной ротации основных и резервных СК. Данный модифицированный способ в отличие от традиционно применяемого способа постоянного нагруженного резервирования «N+L», при котором все СК условно разделены на N основных и L резервных в нагруженном режиме, дает преимущество по ключевым показателям безотказности до нескольких десятков процентов, что позволяет достичь требуемых показателей безотказности ЦЧ СВЭП в межрегламентные периоды эксплуатации в условиях ограниченной аппаратной избыточности и рекомендуется к использованию в новых поколениях СВТ, к безотказности которых предъявляются повышенные требования;

– **установлено**, что основным результатом, подтвержденным практической реализацией разработанных методов повышения безотказности ЦЧ СВЭП СВТ, принципиально применимых и к другим классам аппаратуры, является введение алгоритмизированного режима управления ситуационной ротацией СК, что обеспечивает повышение безотказности, «живучести», снижение потерь потребляемой мощности и уменьшение количества резервных компонентов, а также позволяет оперативно с малыми затратами модернизировать данную аппаратуру благодаря свойству «параметрической многовариантности», заключающемуся в возможности взаимного изменения значений основных параметров: выходной мощности, наработки до отказа и предельной рабочей температуры окружающей среды.

В диссертации решена научная задача исследования и разработки структурных методов повышения безотказности централизованной части системы вторичного электропитания аппаратуры вычислительной техники, к безотказности которой предъявляются повышенные требования, в отсутствие обслуживания в межрегламентные периоды эксплуатации, что имеет существенное значение для развития страны в области создания перспективных средств вычислительной техники.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация Четина А.Н. представляет собой научно-квалифицированную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней.

На заседании «26» апреля 2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Четину Андрею Николаевичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

При проведении тайного голосования диссертационного совета в количестве 17 человек, из них 5 докторов наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета

д.т.н., профессор



Болнокин Виталий Евгеньевич

Ученый секретарь диссертационного совета

д.т.н., с.н.с.

Варламов Олег Олегович

Дата оформления Заключения 26 апреля 2018 г.