

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу Карандеева Дениса Юрьевича на тему  
«Методика оценки состояния и выбора структуры высоконадежной  
распределительной сети», представленную на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 05.13.01 - «Системный анализ, управление и обработка  
информации (космические и информационные технологии)»

### **1. Актуальность темы диссертации**

Актуальность темы исследований диссертационной работы обусловлена необходимостью повышения надежности распределительных систем при их проектировании и эксплуатации, сложностью решения задач выбора оптимальных проектных решений. Существует множество проблем в области эксплуатации распределительных сетей, и задачи анализа функционирования сетей, оценки их состояния, а также выбор топологии на стадии проектирования и ее гибкое изменение в период эксплуатации являются сложными и ключевыми в энергетике.

Тенденция к интеллектуализации управления распределительными сетями для обеспечения требуемого качества электроэнергии и снижения энергопотерь требует разработки новых решений в области оценки текущего состояния сети и возможности реконфигурации ее топологии в соответствии с текущей ситуацией. Оценка структурной надежности сетей построена на вероятностно-стохастических характеристиках входящих в ее состав элементов, и разработка методики оценки состояния и выбора структуры высоконадежной распределительной сети с учетом в моделях расчета надежности новой характеристики – степени неопределенности состояний элементов сети – интересна и заслуживает внимания.

Предложенная оценка состояния сети с учетом информационной энтропии предполагает накопление новой информации о состояниях сети, последствиях отказов, учет которой в вероятностных моделях надежности объектов позволит повысить качество принятия решений при проектировании и эксплуатации распределенных систем.

Системный анализ и моделирование сложных технических объектов актуален в прикладных областях, когда имеется неопределенность в описании проблемных ситуаций, и дополнительная информация, количественно оценивающая степень неопределенности, имеет большое значение при выборе высоконадежных топологий систем среди возможных альтернатив, поиске слабых звеньев в структурах, выявлении факторов, оказывающих влияние на надежность объектов анализа.

Таким образом, востребованы исследования в области построения математических моделей, методик и программных решений с целью получения достоверных результатов при анализе состояний распределенных сетей, а также выполнения требований стандартов применения методов анализа надежности.

Представленная диссертационная работа вносит определенный вклад в решение вышеперечисленных задач. Она посвящена разработке методики, направленной на поиск оптимальных по надежности структур распределительных сетей, автоматизации разработанных решений, позволяющих строить высоконадежные структуры инженерно-технических сетей, когда состояние технических объектов оценивается вероятностными характеристиками с учетом энтропии, связанной с наличием труднопредсказуемых факторов.

### **2. Общая характеристика работы**

В диссертационной работе Карандеева Дениса Юрьевича рассматривается сложная научно-техническая задача, решение которой направлено на повышение эффективности анализа и построения распределительных сетей с требуемыми показателями надежности. Для достижения цели в диссертационной работе решены следующие задачи:



- выполнен аналитический обзор существующих методов поиска оптимальных топологий распределительных сетей, отвечающих требованиям надежности при наличии разного рода ограничений;
- разработана методика расчета, позволяющая выполнять оценку состояния и производить выбор структуры такой распределительной сети, как электрическая сеть;
- разработаны вычислительные процедуры, подтверждающие эффективность разработанной методики.

Диссертационная работа изложена на 189 страницах и включает введение, 3 главы, заключение, список библиографических источников из 193 наименований и 2 приложения.

**В первой главе** рассматриваются общесистемные признаки построения структур распределительных сетей, включая решение задач оптимизации структур в результате анализа стохастических состояний и имеющихся статистических данных об отказах распределительных сетей, принципов применения инструментов теории информации для достижения поставленной в работе цели. В результате ставится задача разработки методики оценки состояния сети и реализации процедуры выбора оптимальной высоконадежной структуры распределительной сети. В результате представленных теоретических исследований обоснована потребность в разработке новых подходов к анализу структурной надежности распределительных сетей, базирующихся на использовании методов и моделей из теории информации. Представлена формальная постановка задачи исследования, отражающая возможности применяемых решений для реализации решений, связанных с получением достоверной информации о состоянии системы.

**Во второй главе** представлена разработанная методика оценки состояния и выбора структуры высоконадежной распределительной сети. Приведено описание математических выражений расчета вероятностей безотказной работы и энтропии (меры неопределенности информации), применение которых позволяет повысить качество решения задач оценки состояния сети и выбора оптимальных структур распределительных сетей. Методика представляет собой последовательность действий, заключающихся в построении математических выражений расчета энтропии для структур распределительной сети, и базируется на известных методах построения минимальных путей и сечений рассматриваемой графовой структуры, с учетом вероятностного подхода к измерению информации, выражаемой формулой К. Шеннона, устанавливающей зависимость между вероятностью событий и количеством информации, полученной при их наступлении. Предлагаемые решения научно обоснованы и получили апробацию в третьей главе диссертационной работы.

Автором предлагается вычислительная процедура построения оптимальной структуры распределительной сети, в основу которой положен метод минимальных путей расчета вероятностей связей «источник–потребитель». В основу поиска оптимального варианта решения положен метод ветвей и границ. Выбор данного метода решения поставленной задачи обоснован в результате проведенного сравнительного анализа ряда классических методов оптимизации. В качестве показателей надежности используется вероятность состояний элементов сети. Разработанная процедура востребована как для построения оптимальных структур, так и для сравнения её результатов с результатами, полученными в результате применения разработанной методики, использующей меру неопределенности информации.

В разработанной методике автором предложено разделить количество информации на две составляющие: энтропии работоспособного и неработоспособного состояния элементов, а также сети в целом. Методика предоставляет возможность построить математические выражения для определения каждой из составляющих энтропии состояний, а также выполнить расчет показателей надежности, а именно времени наработки на отказ, времени пребывания в состоянии отказа, времени восстановления отдельных элементов сети при выполнении ремонтных работ и перевода их в работоспособные состояния.



**Третья глава** посвящена реализации теоретических результатов, полученных во 2 главе, в виде вычислительных процедур, позволяющих на тестовых примерах, используя классические методы условной оптимизации, апробировать разработанную методику. Среди предлагаемых в работе вычислительных процедур следует выделить:

- поиск «слабого» звена в структуре распределительной сети. Необходимость поиска связана с оценкой структурной надежности не только отдельных элементов, но и рассматриваемых связей «источник-потребитель». Их выделение из общего количества участвующих в распределении электроэнергии элементов связано с выполнением требований стандарта по обеспечению надежности. Использование разработанной методики поиска «слабых» элементов и звеньев сети возможно не только при проектировании, но и в период ее эксплуатации в результате анализа и оценки ее надежности;

- расчет оптимального количества однотипных резервных элементов, обеспечивающих требования по бесперебойному питанию электроэнергией потребителей. Автором сформулирована задача поиска оптимальной структуры сети, где в качестве ограничений предложены математические выражения расчета энтропии, полученные на основе представленной во второй главе методики. Поиск решения осуществлялся с помощью метода неопределенных множителей Лагранжа, полученные результаты подтвердили работоспособность методики;

- выбор структуры замкнутой распределительной сети с учетом выполнения условия технико-экономической целесообразности для топологий сетей замкнутого типа, обладающих высоким уровнем надежности и не требующих дополнительного резервирования отдельных звеньев сети.

В **Заключении** сформулированы основные выводы и результаты диссертационного исследования.

В **Приложениях** представлено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа для поиска оптимальной структуры распределительной сети на этапах проектирования» и акт внедрения результатов диссертационной работы в деятельность филиала ПАО «МРСК Сибири» – «ХАКАСЭНЕРГО».

В целом выполненные диссертационные исследования соответствуют поставленной цели, решаемым задачам по ее достижению, ожидаемым результатам и выводам.

### **3. Оценка научной новизны**

В качестве научных результатов, полученных Карандеевым Д.Ю., следует отметить:

1. Разработана методика оценки состояния структуры распределительной сети, отличающаяся от известных использованием меры неопределенности информации (энтропии) в расчетах надежности. Предложенная модель, учитывающая неопределенность информации при анализе надежности распределительных сетей, позволяет избавиться в расчетах от вероятностей, имеющих малое значение, что влияет на точность результатов.

2. На основе созданной методики построены экономико-математические модели и разработаны вычислительные процедуры оценки состояния распределительной сети, расчета однотипных резервных элементов, выбора оптимальной структуры замкнутой распределительной сети из альтернатив с учетом неопределенности информации.

Степень научной новизны диссертации следует признать достаточной для кандидатской диссертации. Предлагаемые к реализации вычислительные процедуры подтвердили работоспособность предлагаемой методики для анализа надежности распределительных сетей.

**4. Значимость результатов диссертации для науки и практики** определяется прикладным характером выполненных исследований и решением ряда научных задач с практическим использованием полученных теоретических результатов.



Теоретическая значимость работы обусловлена новым подходом – учётом меры неопределенности информации (энтропии) о состояниях сети и ее элементов в решении задач выбора эффективной структуры из имеющихся альтернатив. Выполненные исследования вносят вклад в развитие теории надежности с учетом факторов, оценка которых может быть выполнена на основе методов теории информации.

Практическая значимость результатов исследования связана с разработкой методики, которая на основе сформированного ансамбля статистических параметров (с учетом их закономерностей распределения) позволяет математически формализовать задачи анализа надежности и построения эффективных структур распределительных сетей. Данная методика расширяет возможности применения задач оптимизации, область допустимых решений которых выражена через математические функции определения энтропии. Применение предложенных в работе методики и вычислительных процедур позволяет выполнять анализ надежности с целью обеспечения её высокого уровня в процессе проектирования и эксплуатации электрических сетей, что в свою очередь снизит потери электроэнергии и вероятный ущерб от незапланированных перерывов в электроснабжении.

Результаты исследования внедрены в деятельность отдела проектирования филиала ПАО "МРСК Сибири" – "Хакасэнерго".

## **5. Обоснованность и достоверность результатов диссертации**

Положения, сформулированные в диссертации Карандеева Д.Ю., основываются на корректном применении методов теории вероятности, теории информации, системного анализа и обработки данных, структурной надежности, численных решений, строгим математическим обоснованием рассуждений, а также соответствием теоретических значений и экспериментальных данных, полученных при внедрении разработанных решений. Научные положения и выводы диссертационной работы теоретически обоснованы и аргументированы.

## **6. Апробация работы**

Результаты диссертационной работы прошли всестороннюю апробацию на региональных, Всероссийских и Международных научно-технических конференциях. Материалы диссертационного исследования опубликованы в открытой печати в 27 печатных работах, в том числе 5 статьи в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых журналов из списка ВАК РФ, 7 публикаций в зарубежных изданиях, проиндексированных в Web of Science и Scopus. В федеральной службе по интеллектуальной собственности зарегистрирована программа для ЭВМ.

## **7. Оценка изложения материала диссертационной работы**

Работа выполнена на научно-техническом уровне, достаточном для кандидатских диссертаций и оформлена в соответствии с требованиями, предъявляемыми ВАК РФ.

Материал работы логически структурирован, последовательность изложения материала создает целостное представление о содержании диссертации. К достоинствам представленной работы следует отнести обоснованную теоретическую и практическую оценку полученных результатов.

Содержание и результаты работы соответствуют паспорту специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (космические и информационные технологии)»

Текст диссертации изложен на 189 страницах машинописного текста с рисунками, таблицами и формулами, содержит введение, 3 главы, заключение, приложения и библиографический список, содержащий 193 наименования.

Публикации, представленные соискателем, раскрывают суть выполненной научной работы, соответствуют содержанию выполненных работ, опубликованных по тематике



диссертации. и относятся к представленной тематике. Содержательная часть публикаций оценивалась на основе DOI (цифровой идентификатор объекта). На заимствованные материалы, использованные в диссертации, имеются ссылки.

По отдельным главам и по работе в целом приведены соответствующие выводы, отражающие полученные научные и практические результаты.

Краткое содержание глав диссертационной работы, основные выводы и результаты представлены в автореферате, содержание которого соответствует содержанию диссертации.

## **8. Апробация работы и подтверждение опубликования ее основных положений и результатов**

Основные результаты диссертации опубликованы в 27 научных статьях, среди которых 5 в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных действующим перечнем ВАК; 7 – в научных изданиях, индексируемых в базах Web of Science / Scopus; 7 – в журналах, включенных в базу данных РИНЦ и 8 статей в сборниках конференций всех уровней. Имеется свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020610366.

## **9. Замечания по диссертационной работе**

1. В диссертации и автореферате указано, что целью диссертационной работы является повышение эффективности анализа надежности распределительных сетей за счет использования разработанной методики. При этом в тексте диссертации, к сожалению, отсутствует обоснование повышения эффективности анализа надежности сетей в результате разработанных решений.

2. Разработанная методика включает модель надежности с учетом информационной энтропии и ряд вычислительных процедур анализа структурной надежности и поиска оптимальной топологии сети в условиях ограничений. Очевидно, что процесс построения моделей и реализации расчетных процедур должен быть автоматизирован. Что автоматизировано? Из текста диссертации следует, что разработан оконный интерфейс программы.

3. Разработанная методика позволяет выполнять расчеты энтропии структуры сети, и, в зависимости от полученного значения, реализовать процедуру снятия неопределенности информации с целью повышения надежности. В работе не приведены количественные оценки эффективности реализованных решений по повышению надежности.

4. В работе есть неточности:

- в формулировке решаемых задач и новизне используются слова *архитектура системы*, хотя речь идет о поиске оптимальной *топологии сети*, в автореферате при изложении основного содержания работы вместо «глава» используется «раздел»;

- на стр. 65 приведена матрица инцидентности системы, а самой системы уравнений нет;

- на стр.74 часть фразы «...в разграничении данных показателей» на самом деле означает «...в разграничении данных состояний»;

- на стр. 78 в формуле Шеннона потерян «минус»;

- на стр. 93, 95 формулы пронумерованы одинаково 2.15 и 2.16;

- есть синтаксические ошибки в тексте диссертации.

5. В тексте используются словосочетания «пересекающиеся состояния», «пересекающиеся события», при этом отсутствует их объяснение.

Следует отметить, что представленные замечания не снижают научную и практическую ценность исследований и не оказывают существенного влияния на основные результаты работы.



## 10. Заключение

Диссертация Карандеева Дениса Юрьевича на тему «Методика оценки состояния и выбора структуры высоконадежной распределительной сети» посвящена актуальной проблеме анализа и повышения надежности распределительных систем при их проектировании и эксплуатации. На основании анализа материалов диссертации, автореферата и опубликованных автором работ считаю, что диссертационное исследование содержит достоверные результаты, обладающие научной новизной и практической значимостью в области разработки методик оценки состояния и выбора оптимальной структуры распределительной сети для обеспечения надежности. Опубликованные работы отражают основное содержание диссертации.

Считаю, что диссертационная работа в целом соответствует профилю специальности 05.13.01, отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Карандеев Денис Юрьевич заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 — «Системный анализ, управление и обработка информации (космические и информационные технологии)».

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный  
технический университет им. Р.Е. Алексеева»,  
профессор кафедры информатики  
и систем управления

Соколова Элеонора Станиславовна

*Соколова Э.С.*  
*подпись Соколова Э.С.*  
*заверяю.*



*директор ИРИТ*  
*Н.Е. Алексеев*  
*А.В. Матинков*

Адрес: 603950 Нижний Новгород, ул. Минина, 24.  
Тел. +7(831) 436-63-07.  
Электронная почта: nntu@nntu.ru.