

ОТЗЫВ

официального оппонента Коровкина Николая Владимировича на диссертационную работу **Крупенёва Дмитрия Сергеевича «Методические основы комплексного анализа и обеспечения надёжности электроэнергетических систем»**, представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.3. – Электроэнергетика

Актуальность темы диссертационной работы

Современные электроэнергетические системы (ЭЭС) – это сложные технические объекты, от которых требуется высокая надежность. Учитывая постоянное технологическое развитие ЭЭС, возрастающие требования со стороны потребителей электроэнергии и другие факторы, требуется постоянное развитие и совершенствование методов анализа и обеспечения надёжности ЭЭС. Применение современных информационных технологий позволяет существенно повысить эффективность анализа и обеспечения надёжности, что, в свою очередь, повышает надёжность электроснабжения потребителей и снижает вероятность аварийных событий в ЭЭС, повышает экономичность функционирования ЭЭС и энергетическую безопасность. Таким образом, диссертационное исследование Д.С.Крупенева, направленное на развитие методической основы научных исследований системной надёжности ЭЭС и разработки комплекса математических моделей, методов и программных средств, для решения задач анализа и синтеза разных видов системной надёжности, являются актуальными.

Структура работы

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка сокращений, списка литературы и семи приложений.

Во введении автором раскрыты актуальность и степень научной разработанности выбранной темы, определены объект, предмет, цель и задачи исследования. Охарактеризованы методологическая база, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Сформулированы положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации результатов, а также представлена структура диссертации.

В первой главе представлен системный анализ требований к надёжности энергосистем в задачах перспективного развития, текущего планирования и оперативного управления ЭЭС. Особое внимание уделено анализу проблем, возникающих при обеспечении надёжности в ходе управления современными ЭЭС и влиянию направлений трансформации ЭЭС на обеспечение их

надёжности. Представлена комплексная характеристика термина «системная надёжность» и обоснование актуальности выделения понятия «плановая надёжность». Кроме того, рассмотрены принципы и инструменты обеспечения системной надёжности на различных временных этапах управления ЭЭС, а также определены перспективные направления совершенствования методов анализа и синтеза системной надёжности.

Во второй главе представлены научно-методические разработки по модернизации методики оценки балансовой надёжности ЭЭС в направлении улучшения её вычислительной эффективности и адаптивности к анализу современных ЭЭС. В частности, в этом направлении сделана постановка задачи и разработаны методы формирования расчетных моделей ЭЭС; адаптированы последовательности квазислучайных чисел для применения в методике оценки балансовой надёжности ЭЭС на основании метода Монте-Карло; предложена новая постановка задачи минимизации дефицитов мощности расчетных состояний ЭЭС, а также адаптированы и проанализированы методы машинного обучения для решения таких задач. Также предложен алгоритм учета надёжности поставки первичных энергоресурсов на электростанции, что важно при учете ВИЭ.

Третья глава посвящена описанию задачи и разработанных методов по обоснованию уровня резервирования генерирующей мощности, а также структуры и пропускной способности линий электропередачи при перспективном проектировании развития ЭЭС. Сделана формулировка задач определения резервов генерирующей и сетевой частей ЭЭС. Одна из постановок обоснования оптимального уровня резервирования в ЭЭС основана на нормативных показателях балансовой надёжности. В работе предложена комплексная методика обоснования нормативных значений показателей балансовой надёжности при перспективном проектировании развития ЭЭС. Для решения задач определения оптимального резервирования представлено описание разработанных соответствующих методов и алгоритмов, которые имеют значительно лучшие вычислительные характеристики по сравнению с существующими.

В *четвертой главе* рассматриваются вопросы создания методологии оценки и обеспечения плановой надёжности ЭЭС, которая предназначена для анализа ЭЭС на период планирования работы (1-2 года). В начале главы приводится характеристика плановой надёжности, а также характеристика основных задач, решаемых на её основе. Основопологающим моментом при создании методологии является разработка методики оценки плановой надёжности ЭЭС. В этом направлении сделана содержательная и математическая постановка задачи и разработана сама методика, основанная на последовательном методе Монте-Карло. В качестве приложения методики

рассмотрены две задачи. Первая задача заключается в формировании оптимальных графиков плановых ремонтов энергетического оборудования ЭЭС. Для её решения разработана соответствующая методика, основанная на алгоритме марковской цепи Монте-Карло. Второй рассматриваемой задачей была задача исследования долгосрочных режимов работы энергетических систем с большой долей гидроэлектростанций и определения рисков холостых сбросов на гидроэлектростанциях. Стоит отметить, что внедрение в практику управления ЭЭС представленных методических разработок позволит перейти к решению задач планирования работы ЭЭС на новый более качественный уровень с позиции обоснованности принимаемых решений.

В *пятой главе* рассматриваются вопросы оценки режимной надёжности ЭЭС. Представлено описание методики оценки режимной надёжности ЭЭС на основании метода Монте-Карло. Отмечено, что одной из основных задач в методике является анализ послеаварийных установившихся режимов, именно в этом направлении получены основные результаты, представленные в главе. Для анализа послеаварийных установившихся режимов разработаны различные формы представления интегральных моделей ЭЭС в декартовой и полярной системах координат в векторном виде, а также сделана постановка задачи определения единственного решения соответствующих систем нелинейных уравнений. Получены дифференциальные модели первого и второго порядков установившихся режимов ЭЭС в векторном виде, отражающих изменение напряжения в узлах ЭЭС при изменении мощности в узлах и проводимости линий электропередачи. Помимо рассмотрения применимости разработанных дифференциальных моделей ЭЭС для анализа послеаварийных установившихся режимов, разработаны методы оценки режимной надёжности с непосредственным прямым использованием этих моделей.

В *шестой главе* основное внимание уделено описанию принципов практической реализации разработанных методов в виде создания цифровых платформ управления системной надёжностью ЭЭС. Представлены принципы создания таких цифровых платформ и пример реализации модуля оценки балансовой надёжности ЭЭС.

В *заключении* сформулированы основные выводы диссертационного исследования.

Приложения содержат акты о внедрении результатов исследований в производственный процесс, свидетельства о регистрации программ ЭВМ с реализацией методических разработок, иллюстрацию результатов и исходные данные для проведения вычислительных экспериментов.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Представленные в диссертационной работе исследования выполнены на высоком научном уровне с указанием исходных положений и предположений, методов исследования, возможных ограничений. Проведенные исследования и полученные на их основе выводы и рекомендации обоснованы применением известных аналитических и численных методов, корректным использованием математического аппарата, методов и процедур математических преобразований, применении расчетных комплексов и методов программирования. Наблюдается согласованность результатов в рассмотренных примерах и корректным использованием реальных данных.

Достоверность и новизна исследования, полученных результатов

Достоверность положений и выводов подтверждена актами внедрения, приведенными в приложении диссертации. Результаты теоретических исследований в целом подтверждены расчетами реальных и тестовых схем ЭЭС. Применение методических разработок автора по анализу послеаварийных установившихся режимов ЭЭС показывает достаточно хорошее совпадение результатов моделирования с результатами, полученными на промышленном программно-вычислительном комплексе.

Новизна научных исследований не вызывает сомнений и заключается в развитии фундаментальных основ теории системной надёжности энергосистем, в расширения используемого в этой области понятийного аппарата, а также в разработке оригинальных методов оценки и оптимизации различных видов системной надёжности, направленных на повышение качества принимаемых решений при управлении ЭЭС.

Значимость для науки и практики полученных результатов

Работа имеет выраженную практическую направленность, состоящую в совершенствовании системы управления надёжностью ЭЭС и представляет интерес для специалистов, занимающихся вопросами выработки решений для обеспечения необходимого уровня надёжности ЭЭС на разных этапах управления ими. Теоретические исследования автора доведены до уровня прикладных методик и конкретных практических рекомендаций, что подтверждено актами внедрения, в том числе письмом Министерства энергетики РФ об использовании результатов при разработке Методических указаний по проектированию развития энергосистем.

Соответствие диссертационной работы научной специальности

Объект, предмет и методы исследования соответствуют паспорту научной специальности 2.4.3. - Электроэнергетика по следующим пунктам:

п. 9 «Оптимизация структуры, параметров и схем электрических соединений электростанций, подстанций и электрических сетей энергосистем, мини- и микрогрид»;

п. 14 «Разработка методов расчета и моделирования установившихся режимов, переходных процессов и устойчивости электроэнергетических систем и сетей, включая технико-экономическое обоснование технических решений, разработка методов управления режимами их работы»;

п. 15 «Разработка методов статической и динамической оптимизации для решения задач в электроэнергетике», п. 18 «Разработка методов анализа структурной, балансовой и функциональной надежности электроэнергетических систем и систем электроснабжения, мини- и микрогрид»;

п. 20 «Разработка методов использования информационных и телекоммуникационных технологий и систем, искусственного интеллекта в электроэнергетике, включая проблемы разработки и применения информационно-измерительных, геоинформационных и управляющих систем для оперативного и ретроспективного мониторинга, анализа, прогнозирования и управления электропотреблением, режимами, надежностью, уровнем потерь энергии и качеством электроэнергии».

По материалам, представленным в диссертационной работе, могут быть сделаны следующие вопросы и замечания:

1. При кластеризации ЭЭС на зоны надёжности по контролируемым сечениям состав контролируемых сечений может меняться, что будет приводить к изменению состава зон надёжности.

2. При формировании графиков ремонта энергетического оборудования предполагается ли рассмотрение конкретных стратегий: ремонты по состоянию, плановые ремонты?

3. В чём преимущества или недостатки при использовании матриц чувствительности установившихся режимов ЭЭС при сравнении моделей в декартовой и полярной системе координат?

4. Тезис автора о том, что «интенсивность системных аварий в мировых энергосистемах только нарастает» подкреплён ссылками [1–5] на отдельные аварии, а не на статистику роста их частоты. Обладает ли автор статистическими данными нарастания частоты системных аварий?

Представленные замечания и вопросы не влияют на общий положительный вывод о работе.

Заключение по диссертационной работе

Сделанные вопросы и замечания не снижают высокой в целом ценности проведенных исследований. Автореферат хорошо отражает содержание диссертационной работы. Диссертация и автореферат написаны ясным, технически грамотным языком. Диссертация является законченным, исследованием, выполненным лично автором, содержит новые научные результаты и положения. В диссертации содержатся сведения о практическом использовании полученных автором научных результатов. Предложенные автором диссертации решения обоснованы, показано их применение. Основные научные результаты опубликованы в 50 научных работах, из которых 21 статья в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК по специальности 2.4.3. - Электроэнергетика.

На основании изложенного считаю, что диссертационная работа Крупенёва Д.С. на тему «Методические основы комплексного анализа и обеспечения надёжности электроэнергетических систем» на соискание ученой степени доктора технических наук по научной специальности 2.4.3. – Электроэнергетика является научно-квалификационной работой, в которой автором решена крупная научная проблема, имеющей важное народнохозяйственное значение, что соответствует требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842 (с дополнениями и изменениями), а ее автор Крупенёв Дмитрий Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.3. – Электроэнергетика.

Официальный оппонент: доктор технических наук, профессор, профессор высшей школы «Высоковольтная энергетика» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Николай Владимирович Коровкин

«23» *апрель* 2026 г.

Адрес: 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29
E-mail: Nikolay.korovkin@gmail.com
Тел. +7 812 552 7572

Подпись заверяю

