

ОТЗЫВ

официального оппонента – доктора технических наук, профессора Папкова Бориса Васильевича на диссертацию Крупенёва Дмитрия Сергеевича «**Методические основы комплексного анализа и обеспечения надёжности электроэнергетических систем**», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика

1. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Обеспечение надёжности электроэнергетических систем (ЭЭС) – одна из важнейших комплексных и многофакторных проблем современной электроэнергетики, существующая на всех этапах их жизненного цикла: перспективное развитие, долгосрочное и краткосрочное прогнозирование, оперативное управление. Достижение максимального эффекта при управлении надёжностью ЭЭС возможно только при разработке сбалансированной системы решения задач оценки и обеспечения надёжности на всех временных уровнях управления. Задача обеспечения надёжности становится всё более актуальной, что подтверждается усложнением и изменением структуры и режимов работы генерирующих мощностей, моральным и физическим старением основного оборудования, ростом интенсивности крупных системных аварий, усложнением сетевой структуры, а также систем контроля, управления, защиты и рядом других факторов.

Разработка вопросов организации цифровых платформ управления надёжностью на всех этапах жизненного цикла ЭЭС весьма актуальна. Для этого необходима организация сбора и обработки ретроспективной и текущей статистической информации о функционировании ЭЭС и использования её при решении задач управления надёжностью.

Таким образом существует острая потребность в разработке новых подходов и набора современных научно-технических методов и средств решения перечисленных проблем. Следовательно, в современных условиях развития и эксплуатации ЭЭС тема диссертации Д.С. Крупенёва является актуальной.

Анализ достижений российских и зарубежных учёных в рассматриваемой научной области позволил соискателю сформулировать цель и осуществить постановку конкретных задач диссертационного исследования.

Цель диссертационной работы – разработка математических моделей и методов анализа и синтеза системной надёжности, направленных на повышение обоснованности принимаемых решений на разных этапах управления надёжностью ЭЭС. Для её достижения решены задачи, включающие: расширение методической основы понятия «системная надёжность»; совершенствование методики оценки балансовой надёжности ЭЭС, методов её оптимизации и разработку методики оценки плановой надёжности ЭЭС; разработку методов решения задач планирования режимов и балансов ЭЭС для формирования оптимальных графиков ремонта и исследования долгосрочных режимов взаимосвязанной работы водохозяйственных и энергетических систем; разработку методов оценки режимной надёжности ЭЭС на основе метода Монте-Карло и критерия $N-i$ с использо-

ванием матриц чувствительности установившихся режимов; разработку интегральных и дифференциальных моделей установившихся режимов ЭЭС в форме балансов мощности; разработку моделей физически реализуемого решения систем нелинейных уравнений установившихся режимов ЭЭС в форме баланса мощности; разработку принципов создания цифровых платформ для управления системной надёжностью.

Объектом исследования являются ЭЭС со сложной структурой и разнообразным составом энергетического оборудования, в том числе с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ), системами накопления энергии (СНЭ) и сетевыми элементами управления режимными параметрами.

Предметом исследования являются методы оценки и оптимизации системной надёжности на всех временных этапах управления современными ЭЭС.

2. НАУЧНАЯ НОВИЗНА ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ

В диссертационной работе Крупенёва Д.С. решён комплекс важных научно-технических задач, связанных с повышением надёжности развития и функционирования ЭЭС, научную новизну которых составляют следующие основные положения:

- введено новое понятие системной надёжности ЭЭС, – «плановая надёжность»;

- разработаны методы оптимизации балансовой и режимной надёжности ЭЭС большой размерности, учитывающие вероятностные факторы;

- разработана методика оценки плановой надёжности ЭЭС, основанная на последовательном методе Монте-Карло, повышающая адекватность показателей системной надёжности;

- разработаны методы решения задач планирования режимов и балансов ЭЭС для формирования оптимальных графиков ремонта оборудования, повышающие эффективность функционирования ЭЭС и минимизировать риски неблагоприятных событий.

- предложены новые формы интегральных моделей установившихся режимов ЭЭС в векторно-матричном виде, повышающие наглядность физического содержания уравнений;

- сформулированы принципы создания цифровых платформ для управления системной надёжностью ЭЭС.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертационного исследования Крупенёва Д.С. заключается в: предложениях по расширению области исследования системной надёжности ЭЭС; ведении понятия плановой надёжности, как нового вида системной надёжности; развитии и разработке методов анализа и синтеза различных видов системной надёжности; принципов создания цифровых платформ управления системной надёжностью ЭЭС.

Методические разработки по анализу и синтезу системной надёжности ЭЭС позволяют повысить корректность выработки управляющих воздействий на всех временных этапах управления надёжностью ЭЭС и повысить надёжность

электроснабжения потребителей до оптимального или нормативного уровня при минимально возможных экономических затратах. Результаты диссертационного исследования использовались при разработке «Методических указаний по проектированию развития энергосистем» и отмечены Премией Правительства России. Высокая практическая значимость результатов диссертации подтверждена рядом актов их внедрения.

Результаты исследований представлены в отчетах по проектам фундаментальных исследований, выполненных Институтом систем энергетики им. Л.А. Мелентьева, ФГБУН Объединенный институт высоких температур РАН, ОАО «НТЦ электроэнергетики, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», ОАО «СО ЕЭС, ОАО «ФСК ЕЭС, Ассоциации «НП Совет рынка и др., а также в работах, выполненных по грантам РФФИ.

4. ОБОСНОВАННОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ ВЫВОДОВ, ПОЛОЖЕНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИЙ

Обоснованность научных исследований, основных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректным использованием математических методов и моделей, воспроизводимостью результатов вычислительных экспериментов, результатами анализа системной надёжности реальных ЭЭС, обсуждением результатов на различных международных и всероссийских конференциях.

Достоверность результатов работы обеспечена проработкой проблемы, корректностью поставленных задач и их решением, адекватностью математических моделей исследуемым процессам, соответствием теоретических положений и результатов внедрения. Представленные в диссертационной работе основные научные положения, выводы по главам, заключительные выводы и разработанные рекомендации являются в целом обоснованными.

5. АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ И ПУБЛИКАЦИИ

Основные результаты диссертационной работы неоднократно докладывались и обсуждались на Международном научном семинаре им. Ю.Н. Руденко «Методические вопросы исследования надёжности больших систем энергетики», Международной конференции «Дискретная оптимизация и исследование операций», Международной научно-технической конференции «Развитие и повышение надёжности распределительных электрических сетей», Международной конференции «Релейная защита и автоматика энергосистем-2021», Международной молодёжной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодёжи» и др.

По теме диссертации опубликовано 50 научных работ, в том числе 21 – в рецензируемых журналах из Перечня рецензируемых научных изданий ВАК. Они соответствуют тематике диссертационной работы и с достаточной полнотой отражают её суть, основные результаты и выводы. Соискателем получено 5 авторских свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ О СООТВЕТСТВИИ ДИССЕРТАЦИИ УСТАНОВЛЕННЫМ КРИТЕРИЯМ

Диссертационная работа Крупенёва Д.С. отвечает критериям пунктов 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 16.10.2024).

Указанная соискателем цель работы – разработка математических моделей и методов анализа и синтеза системной надёжности, направленных на повышение обоснованности принимаемых решений на разных этапах управления надёжностью электроэнергетических систем – достигнута.

Личный вклад автора заключается в формулировке цели и задач диссертации, проведении теоретических исследований, расширении понятийного аппарата теории надёжности, разработке методики оценки плановой надёжности, интегральных и дифференциальных моделей установившихся режимов ЭЭС, разработке цифровых платформ управления системной надёжностью, разработке и обосновании критериев, методик и правил обработки результатов, обобщения, научного обоснования, формулировке выводов и рекомендаций.

В работах, выполненных в соавторстве, усовершенствованы методы оптимизации балансовой и режимной надёжности ЭЭС, произведена их оценка, разработаны методы формирования оптимальных графиков ремонтов энергетического оборудования и осуществлена их программная реализация.

Таким образом, диссертационная работа написана соискателем самостоятельно, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, что свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

Основные результаты диссертационной работы Д.С. Крупенёва содержатся в 50 опубликованных научных работах, в том числе: 21 статья в рецензируемых научных журналах из Перечня рецензируемых научных изданий ВАК, в которых публикуются научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук по научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика.

В диссертационной работе Крупенёва Д.С. сделаны необходимые ссылки на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов научной деятельности.

Тема и содержание диссертационной работы Крупенёва Д.С. соответствуют паспорту научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика по пунктам: пункту 9 – положения 2, 3, 5; пункту – положения 7, 8; пункту 15 – положения 2, 5; пункту 18 – положения 1, 2, 4, 6; пункту 20 – положение 9.

Диссертационная работа Крупенёва Д.С. соответствует требованиям п.п. 9–14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842:

П.9. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой автором решена научная проблема, направленная на повышение эффективности управления ЭЭС, включая разработку методов и методик, нашедших практическое применение и внедрение, что имеет важное народнохозяйственное значение и вносит значительный вклад в развитие методов обеспечения системной надёжности ЭЭС;

П.10. Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, свидетельствующие о личном вкладе соискателя в науку. В диссертации представлены сведения о практической полезности результатов, рекомендаций и использования научных выводов;

П.11–П.13. Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ по научной специальности 2.4.3. – Электроэнергетика;

П.14. В диссертации и автореферате соискателем отмечается использование результатов научных работ, выполненных лично и в соавторстве, имеются ссылки на соавторов. Диссертация соответствует требованию указания ссылок на заимствованные материалы или отдельные результаты.

7. АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертация Д.С. Крупенёва состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и семи приложений, среди которых акты о внедрении результатов диссертации и сканы свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Основной текст содержит 470 страниц, в том числе 56 рисунков, 72 таблицы. Список литературы содержит 306 наименований.

Во введении представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и основные задачи, обозначены объект и предмет исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, перечислены положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Концептуальные особенности учёта надёжности при проектировании развития, планировании работы и оперативном управлении современными ЭЭС» рассматриваются задачи обеспечения надёжности ЭЭС, что обусловлено их структурной трансформацией. Отмечено, что актуальность задач обеспечения надёжности ЭЭС постоянно возрастает, что вызвано технологическим усложнением структуры и системы управления ЭЭС. В главе дан анализ проблем обеспечения надёжности при управлении современными ЭЭС, рассмотрены основные аспекты трансформации ЭЭС с позиций надёжности и комплексность понятия «системная надёжность» с обоснованием целесообразности введения нового понятия «плановая надёжность». Приведена информация о принципах и средствах обеспечения системной надёжности на разных этапах управления ЭЭС, а также направлениях развития средств её анализа и синтеза. Показано, что для решения задач большой размерности необходимы разработка специализированных математических методов и передовых информационных технологий, так как современный уровень развития ЭЭС требует учёта большего количества факторов при анализе и синтезе их функционирования, а разрабатываемые математические модели должны детально отражать все критические зависимости и ограничения, влияющие на надёжность.

Во второй главе «Совершенствование методики оценки балансовой надёжности ЭЭС» приведены общие положения оценки балансовой надёжности ЭЭС; сформированы расчётные модели, включая кластеризацию ЭЭС на зоны надёжности с определением их границ и ряда системных ограничений. Предложен математический аппарат оценки критерия кластеризации ЭЭС по зонам надёжности на основе контролируемых сечений; экспресс анализа балансовой надёжности; модели обнаружения сообществ в графах. Рассмотрены особенности представления генерирующих и сетевых элементов ЭЭС при оценке балан-

совой надёжности с учётом внешних связей и особенностей формирования графиков потребления мощности и электроэнергии. В целях преодоления ограничений существующих подходов к моделированию плановых ремонтов энергооборудования разработан инновационный метод, основанный на вероятностном представлении процессов вывода оборудования в плановый ремонт. Представленная методика оценки балансовой надёжности ЭЭС на основе метода Монте-Карло включает формирование расчётных состояний ЭЭС в задачах минимизации дефицита мощности и определения показателей балансовой надёжности. Отмечено, что одним из основных вычислительных этапов в методике оценки балансовой надёжности является формирование расчётных случайных состояний ЭЭС, для чего используются генераторы случайных чисел.

Третья глава «Разработка методов обоснования решений при обеспечении балансовой надёжности ЭЭС» представляет методики решения ключевых задач проектирования развития ЭЭС. Основное внимание сосредоточено на задачах обоснования уровня резервирования генерирующей и сетевой составляющих ЭЭС. Сформулированы и решены задачи перспективного проектирования развития ЭЭС, связанные с определением объёма и размещения резервов генерирующих мощностей и обоснованием нормативных значений показателей балансовой надёжности. Приведено описание разработанных методов и алгоритмов оптимизации балансовой надёжности ЭЭС, обеспечивающих значительное повышение вычислительной эффективности по сравнению с существующими подходами. В основе разработанных алгоритмов – последовательное решение вспомогательных оптимизационных задач покрытия графика нагрузки при минимизации совокупных затрат на генерацию и ввод дополнительных мощностей. Выделены преимущества предлагаемого подхода, заключающиеся в уменьшении вычислительной сложности задачи без потери точности решения.

В четвертой главе «Создание методологии оценки и обеспечения плановой надёжности ЭЭС» дана содержательная постановка и характеристика плановой надёжности ЭЭС; перечислены основные задачи, решаемые на основе использования оригинальной методики её оценки на базе последовательного метода Монте-Карло. Приведены разработанные автором методики формирования графиков ремонтов генерирующего оборудования на основании непосредственного анализа показателей плановой надёжности ЭЭС и алгоритма марковской цепи Монте-Карло. Разработана методология исследования долгосрочных режимов взаимосвязанной работы водохозяйственных и энергетических систем и рассмотрен пример её применения к задаче определения вероятности холостых сбросов на гидроэлектростанциях в энергосистемах с их высокой долей. В основе методик – моделирование набора случайных процессов функционирования ЭЭС за определённый период времени. Практическая значимость данного направления исследований подтверждена возможностью перехода к более обоснованному планированию работы ЭЭС.

Пятая глава «Совершенствование методов оценки и решения задач обеспечения режимной надёжности при оперативном управлении ЭЭС». В ней дана характеристика и методика оценки режимной надёжности, показано её место в

процессе управления ЭЭС на основании метода Монте-Карло с акцентом на анализ послеаварийных установившихся режимов, что позволяет проводить более глубокую оценку режимной надёжности, по сравнению с методиками, основанными на детерминированных критериях. Рассмотрены представление и анализ интегральных моделей ЭЭС в декартовой и в полярной системах координат балансы токов и мощностей. Проведён анализ дифференциальных моделей первого и второго порядка установившихся режимов ЭЭС. На основе результатов применения дифференциальных моделей для анализа режимной надёжности ЭЭС сформулирована задача её оптимизации с использованием предложенных показателей. В главе приведены результаты экспериментальных исследований применения дифференциальных моделей для анализа послеаварийных установившихся режимов ЭЭС.

В шестой главе «Формирование принципов создания цифровых платформ управления системной надёжностью ЭЭС» определены основные понятия; представлены подходы и рассмотрены предпосылки создания и развития цифровых платформ управления системной надёжностью ЭЭС; разработаны принципы управления системной надёжностью на их основе с целью минимизации операционных издержек при обеспечении надёжности ЭЭС и энергооборудования. Перечислены разные способы взаимодействия цифровой платформы с объектами и субъектами электроэнергетики на различных этапах управления. При оперативном управлении предлагается реализовать функции: помощник диспетчера, непосредственное автоматизированное управление энергосистемами, а также сигналы потребителям электроэнергии о риске развития аварий в сетях. Сформулированы принципы организации работы цифровых платформ управления системной надёжностью: адаптивность, непрерывность, преемственность, параллельность, безопасность, клиентоориентированность.

В заключении представлены обобщающие выводы, отражающие теоретические и практические результаты диссертационного исследования. Сформулированные положения характеризуются достоверностью, теоретической обоснованностью и подтверждены результатами практического внедрения разработанных решений, а также данными вычислительных экспериментов. Показано, что поставленные задачи выполнены в полном объёме, а их решения обеспечивают и повышают надёжность ЭЭС в различных схемно-режимных условиях с соответствующими ограничениями на основе рационального управления структурой ЭЭС и режимами, новых технологий, перехода к интеллектуальным системам.

Автореферат диссертации Крупенёва Д.С. соответствует содержанию диссертационной работы и отвечает предъявляемым требованиям по основным квалификационным признакам: актуальность, цель, задачи исследования, основные положения, выносимые на защиту, научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов. методы исследований, достоверность полученных результатов, их апробация, список публикаций автора. Автореферат в достаточном объёме отражает основные положения диссертации: актуальность, цель работы, задачи исследования, научную новизну результатов, теоретическую и практическую значимость, основные положения и результаты, выносимые на защиту,

7. ВОПРОСЫ И ЗАМЕЧАНИЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ ДИССЕРТАЦИИ

При ознакомлении с диссертационной работой и авторефератом диссертации Крупенёва Д.С. возникли следующие вопросы и замечания.

1. Стр. 33, п.2. Избыточность и живучесть системы представляется автором как наличие множества средних и малых генерирующих установок, что не совсем точно. Избыточность – наличие элементов, ресурсов, информации в количестве, превышающем минимально необходимую потребность, что не является свойством живучести – способность системы полностью или в ограниченном объеме выполнять свои функции при воздействиях, не предусмотренных условиями нормальной эксплуатации, а при нарушении работоспособного состояния – восстанавливать его за допустимый период времени.

2. Стр. 47, 54 и далее, глава 4. Предлагается наряду с понятиями режимной и балансовой надёжности ввести показатель «плановая надёжность», при оценке которой должны моделироваться случайные процессы функционирования ЭЭС за требуемый период времени с учётом динамики изменения входных параметров в зависимости от складывающихся внешних и внутренних условий функционирования ЭЭС. При этом автор недостаточно чётко показал необходимость введения этого понятия.

Вопрос: на каком конкретно интервале функционирования ЭЭС рассматривается плановая надёжность, если нормативными документами (ППР, ТОиР) сроки обслуживания оборудования чётко определены (хотя в реальных условиях могут изменяться), а при диагностике по состоянию они случайные. Возможные аварийные ситуации моделируются пуассоновским потоком отказов и восстановлений с известными параметрами. В определении балансовой надёжности плановые ремонты учитываются, а так как интервалы периодического обслуживания разнотипного оборудования разные, усреднённый «оптимальный плановый» прогноз может быть недостоверным. Кроме того, в современных условиях желательно было бы отметить необходимость учёта возможных террористических актов и кибератак.

3. Автореферат, стр. 15, 16; Диссертация, гл.2, п. 2.2.2. При кластеризации зон надёжности ЭЭС используется метрика – функция расстояния, определяемая как комплексный показатель. Из содержания работы остаётся неясным каковы конкретно физические критерии меры близости Δ , определяющие её пороговые значения в многомерном пространстве векторов, характеризующих узлы расчётной схемы ЭЭС.

В главе 2 (рис. 2.1, 2.2, 2.5); главе 6 (рис. 6.6) и автореферате (рис.9) приведены карты-схемы ЕЭС России с выделенными зонами надёжности. Однако при реализации задач методами, предлагаемыми в диссертации, следовало бы учесть, что границы зон в общем случае нечёткие, пересекающиеся. В зависимости от значения функции принадлежности, это может существенно повлиять на конечный результат.

4. Приведённый в гл. 2 достаточно глубокий анализ генераторов квазислучайных и псевдослучайных чисел показал, что квазислучайные последовательности обладают более высокой равномерностью заполнения пространства (рис.2.7, 2.8), что в принципе известно. Но по рис. (2.7, 2.12) неясно, при каком

количестве реализаций наблюдается максимальное расхождение и полная сходимость результатов. Кроме того, утверждается, что равномерное покрытие «дало возможность» использования биномиального закона распределения работоспособных состояний электростанций выделенной зоны (2.40), что в принципе требует отдельного доказательства и оценки вероятности допустимости, так как предельная теорема Муавра-Лапласа (2.39) позволяет получить предельный результат на основе табулированной функции нормального распределения.

Аналогичное замечание по рис. 2.15 – 2.17 (стр. 141,142), где представлены характеристики математических ожиданий дефицитов мощности.

5. Стр. 165, 166. Вызывает сомнение, утверждение автора о том, что «критерий минимума приведенных затрат сохраняет свою актуальность, что обуславливает приоритет отраслевой экономической эффективности над коммерческими интересами отдельных компаний». Очевидно, что при наличии разных собственников систем распределённой генерации, ВИЭ, СНЭЭ этот подход практически непригоден так как современные скорости изменения структуры ЭЭС с ВИЭ и накопителями могут превышать расчётный период оценки плановой надёжности. Кроме того, предлагаемое значение нормативного коэффициента эффективности капитальных вложений $E_n = 0,12$ принято постоянным для всех ЭЭС и не менялось с конца прошлого века.

Утверждение, что математическое ожидание ущерба зависит от выбираемого прироста генерирующих мощностей и пропускной способности ЛЭП не полностью отражает действительную ситуацию, так как ущерб определяется не только величиной отключённой мощности и объёмом недоотпущенной (недополученной потребителем) электроэнергии.

6. Стр. 171, 172, формула (3.6). Введён показатель удельного ущерба от дефицита мощности, а составляющая ущерба в (3.6) – от недоотпуска электроэнергии, у.е./кВт·ч. Тогда должна учитываться и составляющая ущерба от дефицита мощности – у.е./кВт. Кроме того, при внезапных отключениях есть вероятность повреждения основного оборудования и в ЭЭС и у потребителя. Следовательно, вероятностная составляющая ущерба от проведения аварийного ремонта тоже должна учитываться.

7. Стр. 223, п. 4.3.1. Утверждается, что отклонение от установленных ремонтных графиков создаёт операционные риски. Ухудшение технического состояния трансформируется в системный риск снижения надёжности и выражается в экономических убытках. Однако количественных оценок риска не приводится, хотя он, вероятно, существенно повлиял бы на принятие решения.

8. Стр. 254, формула (5.3). Для учёта нерегулярных (случайных) колебаний нагрузки задана функция нормального закона распределения, хотя из теории вероятностей и теории надёжности известно, что случайные колебания на заданном интервале хорошо описываются дискретными распределениями и теорией случайных потоков.

9. Стр. 260. Установившиеся режимы ЭЭС достаточно полно исследованы и промоделированы на разных иерархических уровнях и в разных режимах. Что нового даёт векторное уравнение (5.18)? Насколько повышается достоверность результатов и эффективность решений?

Как отмечает сам автор (стр. 274) решение в полярных координатах сложнее, чем в декартовых, а результат тот же. В чём же преимущество «впервые» полученной автором системы уравнений (5.51)–(5.52)?

10. Стр. 283. Автором предложено использовать частную теорему Д.К. Максвелла о распределении токов в электрической цепи постоянного тока, хотя известно, что уравнения Максвелла получены для электромагнитного поля. В итоге результат сводится к уравнениям Ома, Кирхгофа и методу контурных токов. Поэтому выдвинутое «Предположение» тривиально, а результаты экспертного анализа следствий физически не обоснованы.

Мелкие замечания, включающие опечатки, редакционные нечёткости текста, повторы, нестандартные обозначения расчётных параметров.

В главе 1 отсутствует рис. 1.2; в главе 2 – рис. 2.9 идёт после рис. 2.12; нумерация рис. на стр. 102 и 122, а также на стр. 102 и 124 повторяется.

На стр. 29–32, включая рис. 1.1, подробно описывается структура ЭЭС с выделением супер- мини- микро- нано-систем, что является давно известным.

В разделе 2.1, стр.61, 62 допущение, принятое в п.1 не соответствует классическому определению отказа, так как относительно небольшие дефициты мощности в подавляющем большинстве случаев не переводят её в неработоспособное состояние.

Стр. 106, формула (2.41) справедлива для суммы независимых событий, а скорость ветра и солнечной радиация коррелируют.

Не отредактировано изложение п.п. 3, 4 на стр. 62.

Стр.85, 86, формула (2.11). При общепринятых обозначениях нагрузки S , P , Q автор вводит обозначение u , чем затрудняет понимание читателя задачи формирования прогнозных максимумов.

Формулы (2.45) – (2.47), (2.77) и ряд подобных им, известны из теории вероятностей, общей и прикладной теории надёжности.

Качественные иллюстрации определения оптимального уровня резервирования генерирующей мощности (рис. 3.1) и зависимость затрат и ущерба (рис. 3.2) практически повторяются и даны без указания количественных значений координат. То же относится и к рис. 4.1, где траектории изменения напряжения и к рис. 4.3, где поток отказов и восстановлений дан только в общем виде.

Из рис. 5.1 неясно, какое место занимает плановая надёжность в классификации установившихся режимов.

В тексте диссертации много декларативных заявлений об ущербе от возможных дефицитов мощности и электроэнергии без чёткого обоснования их составляющих и особенностей структур ЭЭС и технологических процессов потребителей. Ряд постановок задач и результаты их решения получены на формальной математической основе без приложений к конкретным ЭЭС, что затрудняет их понимание.

Встречаются повторы. В частности, несколько раз даётся определение балансовой надёжности. Приведённое на стр. 205, 206 наиболее полное определение плановой надёжности недостаточно чётко отражает отличие от классических определений системной надёжности.

8. ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные замечания и вопросы связаны в основном со сложностью решаемой соискателем задачи. Часть из них носит рекомендательный характер. Замечания не снижают положительной оценки диссертации, поскольку существенно не влияют на основные выводы, а также полученные научные и практические результаты.

В диссертационной работе Крупенёва Д.С. решена важная научная проблема, включающая комплекс задач, заключающихся в разработке новых, развитии и реализации существующих методических рекомендаций по обеспечению и повышению надежности ЭЭС. Диссертационная работа Крупенёва Д.С. является законченной научно-квалификационной работой; в ней изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, внедрение которых вносит значительный вклад в повышение надёжности и эффективность функционирования ЭЭС.

Содержание диссертационной работы подробно отражает последовательность решения поставленных задач. Текст диссертационной работы изложен грамотным языком, корректным в научном и техническом отношении. Материалы диссертационного исследования представлены в объёме, достаточном и доступным для понимания. Сделанные в работе выводы и сформулированные рекомендации аргументированы.

В целом диссертационная работа Крупенёва Дмитрия Сергеевича на тему «Методические основы комплексного анализа и обеспечения надёжности электроэнергетических систем», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук, является актуальной, обладает научной новизной и практической значимостью полученных результатов, соответствует паспорту научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика. По своему научному и теоретическому уровню, а также практическому значению она соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а именно критериям пунктов 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09. 2013 г. № 842 (ред. от 16.10.2024), а ее автор Крупенёв Дмитрий Сергеевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика.

Официальный оппонент,

профессор, доктор технических наук (05.14.02; 05.09.03),
профессор кафедры электрификация и автоматизация
Нижегородского государственного инженерно-экономического
университета

Контактные данные: e-mail: boris.papkov@gmail.com

Тел. +79601724955;

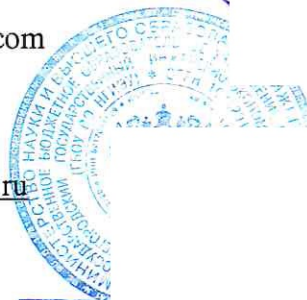
606340, Нижегородская область, г. Княгинино

ул. Октябрьская, 22А, ГБОУ ВО НГИЭУ

Тел: +7 (83166) 4-15-50 6; e-mail: ngiei-126@mail.ru

06.04.2026

Папков
Борис
Васильевич



Подпись

Зам. нач