

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.118.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ СИСТЕМ  
ЭНЕРГЕТИКИ ИМ. Л.А. МЕЛЕНТЬЕВА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 26.05.2026 № 13

О присуждении Крупенёву Дмитрию Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Методические основы комплексного анализа и обеспечения надёжности электроэнергетических систем» по специальности 2.4.3. Электроэнергетика принята к защите 5 февраля 2026 года (протокол заседания № 4) диссертационным советом 24.1.118.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, совет создан приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 78/нк от 26.01.2023.

Соискатель Крупенёв Дмитрий Сергеевич, 15 июня 1985 года рождения. В 2007 году окончил Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Иркутская государственная сельскохозяйственная академия» по специальности «Электроснабжение». Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Методика декомпозиции и синтеза системной надёжности электроэнергетических систем» (специальность 05.14.02 Электрические станции и электроэнергетические системы) защитил в 2011 году в диссертационном совете Д 003.017.01, созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

В настоящее время Крупенёв Дмитрий Сергеевич работает в должности старшего научного сотрудника в отделе энергетической безопасности Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в отделе энергетической безопасности Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

**Официальные оппоненты:**

Коровкин Николай Владимирович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Высшая школа высоковольтной энергетики, профессор;

Куликов Александр Леонидович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», образовательно-научный институт электроэнергетики, кафедра «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника», профессор;

Папков Борис Васильевич, доктор технических наук, профессор, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», кафедра «Электрификация и автоматизация», профессор

дали **положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** – Акционерное общество «Россети Научно-технический центр». В **положительном** отзыве, подписанном Панфиловым Дмитрием Ивановичем, доктором технических наук, профессором, научным руководителем и Рябченко Владимиром Николаевичем, доктором технических наук, доцентом, главным технологом Управления перспективного развития сетей, и утвержденном генеральным директором Епифановым Андреем Михайловичем, указано, что диссертационная работа Крупенёва Дмитрия Сергеевича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком уровне, в которой решена важная научная проблема по разработке новых и усовершенствованию существующих методов оценки и оптимизации разных видов системной надёжности электроэнергетических систем.

По теме диссертации опубликовано 50 научных статей, в том числе 28 статей в журналах, рекомендованных ВАК по научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика (в изданиях К1, К2), в числе которых 7 статей в журналах Web of Science и Scopus. Получено 5 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ. Результаты диссертационной работы имеют широкую апробацию на научных конференциях различного уровня. Число и качество научных работ соответствует требованиям, предъявляемым к соискателям учёной степени доктора наук. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Текст диссертации не содержит некорректных заимствований.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Крупенёв, Д.С. Развитие методических основ анализа системной надёжности современных электроэнергетических систем / Д.С. Крупенёв // Надёжность и безопасность энергетики. – 2024. – Т. 17. – № 2. – С. 98-105. (ВАК, К2)
2. Крупенёв, Д.С. Кластеризация электроэнергетических систем на зоны надёжности при оценке балансовой надёжности. Часть 1 / Д.С. Крупенёв, Н.А. Беляев, Д.А. Бояркин // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2024. – № 1. – С. 12-21. (ВАК, К1)
3. Крупенёв, Д.С. Кластеризация электроэнергетических систем на зоны надёжности при оценке балансовой надёжности. Часть 2 / Д.С. Крупенёв, Н.А. Беляев, Д.А. Бояркин, Д.В. Якубовский // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2024. – № 2. – С. 34-44. (ВАК, К1)
4. Якубовский, Д.В. Коррекция элементов мутантных векторов метода дифференциальной эволюции при решении задачи минимизации дефицита мощности электроэнергетических систем / Д.В. Якубовский, Д.С. Крупенёв, Д.А. Бояркин // iPolytech Journal. – 2024. – Т. 28. – № 1. – С. 124-138. (ВАК, К1)
5. Крупенёв, Д.С. О единственности решения систем нелинейных уравнений установившихся режимов электроэнергетических систем в форме баланса мощности / Д.С. Крупенёв // Электричество. – 2024. – № 9. – С. 37-44. (ВАК, К1)
6. Крупенёв, Д.С. Формирование графиков ремонта генерирующего оборудования на основе показателей плановой надёжности электроэнергетических систем / Д.С. Крупенёв, Д.А. Бояркин, Д.В. Якубовский // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2024. – № 3. – С. 64-80. (ВАК, К1)
7. Крупенёв, Д.С. Обоснование нормативов показателей балансовой надёжности на современном этапе развития электроэнергетических систем России / Д.С. Крупенёв, Н.А. Беляев, В.И. Локтионов // Энергетическая политика. – 2023. – № 8 (187). – С. 82-95. (ВАК, К1)
8. Крупенёв, Д.С. Направления развития методики оценки балансовой надёжности современных электроэнергетических систем / Д.С. Крупенёв, Д.А. Бояркин, Д.В. Якубовский // Энергетик. – 2022. – № 4. – С. 47-52. (ВАК, К2)
9. Крупенёв, Д.С. Принципы формирования цифровой платформы для управления надёжностью распределительных электрических сетей в современных условиях эксплуатации / Д.С. Крупенёв, В.М. Пискунова и др. // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2022. – № 1 (70). – С. 18-25. (ВАК, К2)
10. Дзюбина, Т.В. Методы учёта надёжности поставки первичных энергоресурсов на электростанции при анализе надёжности электроэнергетических систем / Т.В. Дзюбина, Г.Ф. Ковалёв, Д.С. Крупенёв // iPolytech Journal. – 2022. – Т. 26. – № 2. – С. 245-259. (ВАК, К1)

11. Крупенёв, Д.С. Анализ установившихся режимов систем электроснабжения с ВИЭ и СНЭЭ при оценке их надёжности на основании моделей чувствительности высших порядков / Д.С. Крупенёв // Релейная защита и автоматизация. – 2021. – № 4 (45). – С. 47-53. (ВАК, К2)
12. Воропай, Н.И. Два энергетических коллапса — в штате Техас, США, и в Приморском крае, Россия / Н.И. Воропай, Д.С. Крупенёв, С.В. Подковальников, С.М. Сендеров // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2021. – № 4 (67). – С. 166-174. (ВАК, К2)
13. Крупенёв, Д.С. Обеспечение максимального уровня балансовой надёжности электроэнергетических систем при выводе из работы генерирующих агрегатов для модернизации / Д.С. Крупенёв, Л.М. Лебедева // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2020. – № 6. – С. 31-39. (ВАК, К1)
14. Крупенёв, Д.С. Исследование балансовой надёжности и обоснование резервов генерирующей мощности перспективных схем развития электроэнергетических систем / Д.С. Крупенёв, Г.Ф. Ковалёв, Д.А. Бояркин, Д.В. Якубовский, Л.М. Лебедева // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2020. – № 6 (63). – С. 40-44. (ВАК, К2)
15. Лебедева, Л.М. Нормирование балансовой надёжности электроэнергетических систем и формирование резерва генераторной мощности / Л.М. Лебедева, Г.Ф. Ковалёв, Д.С. Крупенёв // Надёжность и безопасность энергетики. – 2018. – № 11(1). – с. 4-13. (ВАК, К1)
16. Бояркин, Д.А. Использование методов машинного обучения при оценке надёжности электроэнергетических систем методом Монте-Карло / Д.А. Бояркин, Д.С. Крупенёв, Д.В. Якубовский // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математическое моделирование и программирование». – 2018. – Т.11. – №4. – С.146-153. (ВАК, К1)
17. Крупенёв, Д.С. Формирование случайных состояний электроэнергетических систем при оценке их надёжности методом статистических испытаний / Д.С. Крупенёв, Д.А. Бояркин, Д.В. Якубовский // Надёжность и безопасность энергетики. – 2017г. – №1. – С.33-41. (ВАК, К1)
18. Крупенёв, Д.С. Оценка надёжности электроэнергетических систем с ветровыми электростанциями / Д.С. Крупенёв, С.М. Пержабинский // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2017. – № 2. – С. 39-47. (ВАК, К1)
19. Крупенёв, Д.С. Расчёт установившихся режимов электроэнергетических систем с использованием матриц чувствительности первого порядка применительно к задаче оценки режимной надёжности / Д.С. Крупенёв // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21, № 9 (128). – С. 146-156. (ВАК, К1)
20. Домышев, А.В. Оценка режимной надёжности электроэнергетических систем на основе метода Монте-Карло / А.В. Домышев, Д.С. Крупенёв // Электричество. – 2015. – № 2. – С. 3–10. (ВАК, К1)

21. Крупенёв, Д.С. Алгоритм оптимизации балансовой надёжности электроэнергетических систем / Д.С. Крупенёв, С.М. Пержабинский // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2014. – № 2. – С. 96-106. (ВАК, К1)
22. Ковалёв, Г.Ф. Системная надёжность ЕЭС России на уровне 2030 г / Г.Ф. Ковалёв, Д.С. Крупенёв, Л.М. Лебедева // Электрические станции. – 2011. – № 2. – С. 44-47. (ВАК, К1)
23. Krupenev, D. Modeling the interconnected operation of energy systems for energy security study in today's context / Krupenev D., Pyatkova N. // Reliability: Theory & Applications. – 2024. – Т. 19. – № 3 (79) . – С. 554-566. (Scopus, Q3)
24. Krupenev, Dmitry Digital platform of reliability management systems for operation of microgrids / Dmitry Krupenev, Nadejda Komendantova and other // Energy Reports. – 2023. – Volume 10. – pp. 2486-2495. (Scopus, Q1)
25. Krupenev, Dmitry S. Development of a methodology for assessing the adequacy of electric power systems / Dmitry S. Krupenev, Denis A. Boyarkin, Dmitrii V. Iakubovskii // Global Energy Interconnection. – 2022. – Volume 5. – p. 543-551. (Scopus, Q1)
26. Iakubovskii, D. A model for power shortage minimization in electric power systems given constraints on controlled sections / D. Iakubovskii, D. Krupenev, N. Komendantova, D. Boyarkin // Energy Reports. – 2021. – № 7. – pp. 4577–4586. (Scopus, Q1)
27. Krupenev, D. Improvement in the computational efficiency of a technique for assessing the reliability of electric power systems based on the Monte Carlo method / D. Krupenev, D. Boyarkin, D. Iakubovskii // Reliability Engineering and System Safety. – Vol.204. – 2020. (Web of Science, Q1)
28. Krupenev, D.S. A reliability optimization algorithm with average dual estimates for electric power systems / D.S. Krupenev, S.M. Perzhabskiy // Automation and Remote Control. – 2017. – Vol.78. – №12. – p. 2241-2247. (Scopus, Q3)

**На диссертацию и автореферат поступили 11 отзывов (все отзывы положительные с вопросами и замечаниями):**

1) Отзыв **Короткевича Михаила Андреевича**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Электрические системы» Белорусского национального технического университета; содержит два замечания: 1. В тексте отмечается, что модели нацелены на минимизацию недоотпуска электроэнергии. Однако из текста неясно, учитывается ли при этом нелинейный характер экономического ущерба потребителей, который критически зависит от категории отключенного объекта, времени суток и длительности перерыва электроснабжения. 2. Из текста автореферата не вполне понятно, каким образом в предложенных вероятностных моделях учитываются технологические ограничения накопителей электроэнергии. В частности, не описан учёт их конечной энергоемкости и заряда-разряда во

времени, что критически влияет на реальную способность системы покрывать возникающие дефициты мощности.

2) Отзыв **Клюева Романа Владимировича**, доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий», профессора кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)»; содержит три замечания: 1. Из текста автореферата не до конца ясна методика задания порогового значения метрики  $r_{max}$  при кластеризации ЭЭС на зоны надёжности. Остается вопрос: это экспертно определяемая величина или существует формализованный подход к ее расчету, например, на основе анализа загрузки сечений в различных режимах? 2. В главе, посвященной режимной надёжности, подробно рассмотрены модели для активной мощности. Однако не в полной мере отражено, как предложенный подход с использованием матриц чувствительности учитывает ограничения по реактивной мощности и напряжению, а также вопросы статической устойчивости, которые критичны для оперативного управления. 3. При описании алгоритма оптимизации балансовой надёжности с применением марковской цепи Монте-Карло (стр. 22) стоило бы конкретизировать вид целевой функции и то, как именно учитываются дискретность и высокая размерность пространства решений (ввода/вывода оборудования), чтобы избежать «проклятия размерности».

3) Отзыв **Славинского Александра Зиновьевича**, доктора технических наук, доцента, генерального директора Общества с ограниченной ответственностью «Завод «Изолятор»; содержит три замечания: 1. При оценке разных видов системной надёжности ЭЭС на каком уровне учитывается надёжность сетевых элементов? Например, линия электропередачи или трансформаторная подстанция представляют собой сложные устройства, состоящие из множества элементов. 2. При планировании ремонтов учитывается ли стратегия профилактики электрооборудования: ремонты по состоянию, плановые ремонты, аварийные ремонты? 3. Пересчитываются ли пределы по передаче мощности при оценке балансовой надёжности ЭЭС?

4) Отзыв **Суслова Константина Витальевича**, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»; содержит два замечания: 1. Как часто нужно переобучать модель машинного обучения при анализе дефицитов мощности при оценке балансовой надёжности ЭЭС? 2. При анализе установившихся режимов определяются перетоки мощности по ЛЭП. Возможно ли получить матрицы чувствительности для решения этой задачи?

5) Отзыв **Гольдштейна Валерия Геннадьевича**, доктора технических наук, профессора кафедры «Автоматизированные электроэнергетические

системы»; **Косорлукова Игоря Андреевича**, кандидата технических наук, и.о. зав. кафедрой «Автоматизированные электроэнергетические системы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет»; содержит четыре замечания: 1. В автореферате вводится новый вид системной надёжности ЭЭС — «плановая надёжность». Представляется целесообразным более четко раскрыть её соотношение с балансовой и режимной надёжностью, а также границы применения соответствующих показателей при решении практических задач планирования. 2. Значительное внимание в работе уделено повышению вычислительной эффективности метода Монте-Карло за счет квазислучайных последовательностей и методов машинного обучения. Однако в автореферате недостаточно подробно приведены количественные оценки выигрыша по времени расчета и точности по сравнению с традиционной реализацией метода для задач большой размерности. 3. Автором разработан алгоритм учёта надёжности поставки первичных энергоресурсов на электростанции при оценке балансовой надёжности ЭЭС. Вместе с тем хотелось бы более детально увидеть, какие исходные данные и вероятностные предпосылки являются определяющими для применения этого алгоритма в практических расчётах. 4. В числе результатов работы сформулированы принципы создания цифровых платформ управления системной надёжностью ЭЭС. При этом в автореферате ограниченно раскрыты вопросы состава исходных данных, требований к их актуализации и интеграции такой платформы с действующими программно-вычислительными комплексами.

б) Отзыв **Пантелеева Василия Ивановича**, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Электроэнергетика»; **Тремясова Владимира Анатольевича**, кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры «Электроэнергетика» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет»; содержит два замечания: 1. Известный ученый в области надёжности электроэнергетических систем Рой Биллингтон в своих исследованиях опирался на метод статистического моделирования Монте-Карло. Какие существенные отличия в использовании данного метода в своей работе предлагает автор? 2. Из текста автореферата неясно, каким образом оценивается изменяющаяся генерация мощности от возобновляемых источников энергии?

7) Отзыв **Назарычева Александра Николаевича**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Электроэнергетика и электромеханика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»; содержит пять замечаний: 1. Каким образом меняется специфика выработки решений по обеспечению системной надёжности ЭЭС при введении понятия «плановая надёжность», включая критерии и принципы согласования проектных и эксплуатационных

решений, а также, каким образом может быть количественно нормирована «плановая надёжность» в условиях многообразия вероятностных факторов функционирования ЭЭС? 2. Позволяют ли полученные в работе результаты моделировать сложные (каскадные) аварии в ЭЭС и способы воздействия на протекание этих аварий? 3. В современных ЭЭС широко применяются методы и средства технической диагностики оборудования. В настоящее время выпущены Постановление правительства и приказы Минэнерго Российской Федерации, обязывающие энергетические компании выполнять оценку индекса технического состояния энергетического оборудования, и объектов энергетики в целом. Учитываются ли эти требования при решении задач обеспечения надёжности ЭЭС в данной диссертации? 4. Почему, представленная на рис. 8 (стр. 38 автореферата) укрупнённая структура цифровой платформы управления системной надёжностью ЭЭС не содержит блока оценки технического состояния энергетического оборудования, без наличия которого сегодня сложно представить не только энергосистему будущего, но и современную энергосистему? 5. В п. 7 заключения (стр. 40) утверждается, что разработаны алгоритмы формирования оптимальных графиков ремонта энергетического оборудования при планировании работы ЭЭС на основании использования показателей плановой надёжности с учётом адаптированного алгоритма марковской цепи Монте-Карло. Однако, из автореферата непонятно каким образом формируется приоритетный список ремонтов, как определяются сроки и объёмы воздействий, и учитывается ли при этом фактическое техническое состояние энергетического оборудования?

8) Отзыв **Федотова Александра Ивановича**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Электрические станции» им. В.К. Шибанова Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»; содержит три замечания: 1. На каких основаниях был осуществлён выбор методов машинного обучения, используемых для анализа дефицитов мощности ЭЭС? 2. При определении ущербов от низкой надёжности для обоснования нормативных значений показателей балансовой надёжности использована упрощённая методика, на практике итоговый ущерб зависит от множества факторов и событий. В этой связи возникает вопрос, в каких случаях необходимо уточнение расчетов, выполняемых по упрощённой методике? 3. В реальных условиях управления ЭЭС планы по проведению ремонтов могут постоянно нарушаться, это обстоятельство формирует дополнительные требования к методикам формирования плановых ремонтов энергетического оборудования. Как это можно учесть в предлагаемых методах и алгоритмах?

9) Отзыв **Радина Юрия Анатольевича**, доктора технических наук, профессора кафедры энергетического машиностроения инженерной академии; **Сигитова Олега Юрьевича**, кандидата технических наук, старшего преподавателя кафедры энергетического машиностроения инженерной академии Федерального государственного автономного

образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»; содержит пять замечаний: 1. В автореферате не сказано, проводились ли автором исследования по определению зависимости точности анализа балансовой надёжности ЭЭС при разной дискретизации шага моделирования возобновляемых источников энергии? 2. Из автореферата неясно имеются ли принципиальные различия в полученных матрицах чувствительности установившихся режимов ЭЭС в декартовой и полярной системах координат? 3. В исследованиях указано, что применение методических разработок анализа и синтеза системной надёжности ЭЭС позволяет повысить корректность выработки управляющих воздействий на всех временных этапах управления надёжностью ЭЭС. Однако в автореферате не указано, про какие именно временные этапы идет речь. 4. Случайные события, характеризующие расчётное состояние ЭЭС, не учитывают случайные колебания мощности возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Хотя в автореферате отмечается влияние ВИЭ на надёжность электроснабжения потребителей. 5. В автореферате отсутствуют сведения о влиянии аварийных режимов на устойчивость ЭЭС, и как эти режимы сказываются на надёжности всей ЭЭС с учётом предлагаемого резерва.

10) Отзыв **Савиной Натальи Викторовны**, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой энергетики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Амурский государственный университет»; содержит четыре замечания: 1. Не раскрыта целесообразность использования при постановке задач оптимизации балансовой надёжности ЭЭС (стр. 20) экономического показателя приведенных затрат на развитие энергетической инфраструктуры в современных условиях, применение которого связано с проблемой корректности определения нормативного коэффициента эффективности. Следует уточнить, как в работе решена указанная проблема. 2. Из автореферата неясно, каким образом учитывалась структура централизованной и децентрализованной генерации и их доля в методах оптимизации балансовой надёжности ЭЭС. 3. Необходимо пояснить, позволяют ли предложенные в работе методы и алгоритмы определять оптимальную структуру генерации для обеспечения требуемого уровня надёжности ЭЭС при их развитии. 4. Необходимо пояснить, почему на рисунке 9 (стр. 38) выделенные зоны надёжности охватывают не всю территорию ЕЭС России.

11) Отзыв **Кейко Александра Владимировича**, доктора технических наук, исполняющего обязанности директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт энергетических исследований Российской академии наук»; содержит пять замечаний: 1. Во второй главе предложен способ ускорения метода Монте-Карло (ММК) при оценке балансовой надёжности ЭЭС. Известно, что одним из главных недостатков ММК является медленная сходимости в отдельных случаях. В эту категорию как раз попадают случаи моделирования ЭЭС. Автор переходит от «чистой

случайности» к структурированным последовательностям, в частности Соболя, Холтона и Хаммерсли (метод QMC). Автор тестировал псевдослучайные последовательности, в частности, по критерию Колмогорова-Смирнова, и пришел к выводу о их большей равномерности. Это закономерно: случайные числа могут ложиться кучно и оставлять дыры в пространстве состояний. Вместе с тем подвох методов QMC кроется именно в отходе от чисто вероятностного подхода. Сходимость QMC сильно зависит от размерности задачи. При очень большом количестве узлов преимущества псевдослучайных последовательностей могут нивелироваться, и результаты могут стать менее точными, чем при классическом ММК. Принимал ли автор данную особенность во внимание? 2. Также во второй главе автор описывает применение машинного обучения для минимизации дефицита мощности. Он заменяет решение «тяжелых» оптимизационных задач регрессионными моделями. При этом возникает риск, что обученная модель (линейная регрессия или градиентный бустинг) хорошо работает в знакомых ей ситуациях, на которых ее обучали. И при этом же ЭЭС - это динамическая система. Поэтому при возникновении редкого, критического сочетания аварий, которого не было в обучающей выборке, модель может выдать ошибочный результат, и он может быть даже нефизическим. По этой причине необходимо регулярно переобучать модель при изменении топологии сети. В противном случае ошибка будет постепенно накапливаться, пока однажды не станет причиной дорогостоящего неверного решения. Как автор подходит к решению этой проблемы? 3. В четвертой главе обсуждается интеграция ЭЭС с водохозяйственными системами. Здесь трудность заключается в том, что моделирование притоков воды - это еще более неопределенная стохастика, чем отказы оборудования, хотя высокая инерционность водохранилищ многолетнего регулирования отчасти нивелирует ее. Объединение двух крупных систем - водохозяйственного комплекса и ЭЭС в одну модель существенно увеличивает количество необходимых допущений. Ошибка в прогнозе паводка может обесценить все расчеты надёжности ГЭС. Ставка автора на скорость, критически важная для оперативного управления на основе цифровых платформ, входит в противоречие с ценой такого ускорения. Считает ли автор, что для оперативного управления в реальном времени скорость расчета имеет приоритет над точностью в экстремальных режимах? 4. В пятой главе диссертации, которая, по-видимому, наиболее близка собственным научным интересам соискателя, автор строит и использует матрицы чувствительности в рамках оптимизации режимной надёжности ЭЭС. Режимная надёжность - это обычно реальное время, и ускориться здесь не помешает. Автор ускоряет расчеты на величину до 30 раз, используя дифференциальные модели вместо полных уравнений Ньютона-Рафсона. Подвох этой замены заключается в том, что матрицы чувствительности - это, по сути, линеаризация, разложение в ряд Тейлора. Они дают удовлетворительную точность при малых возмущениях, скажем, при изменении нагрузки на величину до нескольких процентов. Если же в системе

крупная авария с резким падением напряжения, нелинейность системы резко возрастает и может стать критической. Тогда линейная аппроксимация или даже аппроксимация 2-го порядка запросто могут пропустить точку обрушения напряжения или лавину частоты. На с. 33 автореферата автор сам признает, что подход обоснован для «краткосрочных периодов», когда изменения параметров невелики. В этой связи вопрос: как подстраховаться от выхода подхода за границы его работоспособности? 5. В главе 5, с. 30 автореферата, автор вводит предположение о том, что физически реализуемое решение - то, где потери мощности минимальны. Это красивая математическая гипотеза, упрощающая поиск решения. Однако не следует забывать, что в кольцевых сетях с активным управлением (FACTS, вставки постоянного тока) система может иметь несколько устойчивых состояний. Тогда выбор единственного решения по критерию минимума потери мощности может оказаться излишним упрощением физики реальных процессов.

Замечания не снижают научной ценности и практической значимости диссертационной работы. На замечания оппонентов и ведущей организации, а также на замечания в отзывах, поступивших на автореферат и диссертацию, соискатель привел исчерпывающие ответы.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что в Акционерном обществе «Россети Научно-технический центр» (г. Москва), созданном на базе бывшего Всесоюзного научно-исследовательского института электроэнергетики, сформировалась и активно развивается одна из ведущих отечественных научных школ в области исследования электроэнергетических систем, в том числе в области надёжности электроэнергетических систем и их элементов, что подтверждается наличием публикаций сотрудников организации.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их высокой компетенцией в области исследования вопросов функционирования и развития электроэнергетических систем с учётом критериев надёжности, что подтверждается наличием рецензируемых (высокорейтинговых) публикаций оппонентов по научной специальности 2.4.3. Энергетика.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработаны** методические основы оценки и обеспечения различных видов системной надёжности ЭЭС, учитывающие современные требования потребителей электроэнергии и повышающие обоснованность принимаемых решений в части оптимальных технико-экономических оценок средств обеспечения надёжности и реализующие комплексное решение системных задач управления ЭЭС в условиях неопределённости;

**предложены** пути совершенствования понятийного аппарата, методической и программной основы решения задач обеспечения системной надёжности ЭЭС; оригинальные методы решения задач оценки и оптимизации

различных видов системной надёжности ЭЭС; принципы формирования цифровых платформ управления системной надёжностью ЭЭС;

**доказано**, что разработанные методы оценки системной надёжности ЭЭС позволяют повысить обоснованность перспективных направлений её повышения и, как следствие, обоснованность принятия решений по обеспечению системной надёжности на различных этапах управления ЭЭС;

**введено** новое понятие и направление исследований, предназначенные для решения задач на этапе планирования работы (режимов и балансов) ЭЭС – «плановая надёжность ЭЭС», что позволяет улучшить валидность принимаемых решений по обеспечению системной надёжности на этом этапе.

**Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:**

**доказана** возможность улучшения вычислительной эффективности анализа различных видов системной надёжности ЭЭС за счет совершенствования методики её оценки на основании метода Монте-Карло в направлениях использования квазислучайных последовательностей чисел, методов машинного обучения, матриц чувствительности (дифференциальных моделей) ЭЭС, а также эффективность разработанных методов оптимизации различных видов системной надёжности;

**применительно к проблематике диссертации результативно использованы** элементы теории системного анализа, теории вероятностей и математической статистики, теории надёжности, теории математического моделирования технических систем, методы непрерывной и дискретной оптимизации, линейного и нелинейного программирования, теории принятия решений, методы имитационного моделирования, в том числе метод Монте-Карло, методы машинного обучения;

**изложены** концептуальные и методологические научные принципы комплексного управления системной надёжностью ЭЭС, обеспечивающие оптимизацию потоков информации, согласованность действий, вырабатываемых на разных временных этапах и оптимальные решения задач обеспечения системной надёжности, способствующие реализации современных принципов управления техническими системами, основанными на цифровизации таких процессов;

**раскрыты:** несовершенство применяемого понятийного аппарата в рассматриваемой области; недостатки существующей методики оценки балансовой надёжности ЭЭС в направлении формирования расчетных схем, учёта надёжности поставки первичных энергоресурсов, адекватности моделирования процесса определения дефицита мощности; потребность разработки методики оценки плановой надёжности ЭЭС с учётом специфики моделирования ЭЭС на периоды планирования их работы; недочёты существующих методов и методик оценки режимной надёжности ЭЭС при учёте вероятностного характера отказов элементов, скорости решения задачи анализа послеаварийных установившихся режимов и её неоднозначность, «слабые» стороны существующего методического обеспечения задач оптимизации системной надёжности;

**изучены** принципы создания цифровых систем управления современными техническими объектами, методы решения сложных задач анализа и оптимизации, в частности методы и модели определения оптимального уровня резервирования генерирующей мощности ЭЭС, методы формирования графиков плановых ремонтов энергетического оборудования, интегрированные формы моделей ЭЭС в полярной и декартовой системах координат, предназначенные для анализа установившихся режимов ЭЭС, существующие дифференциальные модели ЭЭС;

**проведена модернизация** существующей методики оценки балансовой надёжности ЭЭС на основании метода Монте-Карло в направлении внедрения методов кластеризации ЭЭС на зоны надёжности, учёта надёжности поставки первичных энергоресурсов на электростанциях, по использованию квазислучайных последовательностей чисел при формировании расчётных состояний ЭЭС, модели минимизации дефицита мощности с одновременным учётом потерь мощности в квадратичной форме и сетевых коэффициентов, отражающих пропорциональность загрузки ЛЭП и использования методов машинного обучения для решения этой задачи; методики оценки режимной надёжности ЭЭС в направлении внедрения метода Монте-Карло для формирования расчётных состояний, матриц чувствительности для экспресс-анализа послеаварийных установившихся режимов.

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

**разработаны и внедрены** методика оценки, методы и алгоритмы оптимизации балансовой надёжности ЭЭС в рамках разработки методических указаний по проектированию развития энергосистем, а также при выполнении ряда научно-исследовательских работ, в том числе работы по определению величины и оптимального местоположения перспективных площадок для сооружения объектов ВИЭ, программно-вычислительный комплекс «Надёжность», в котором реализованы все представленные методические наработки по оценке балансовой надёжности ЭЭС; методика оценки режимной надёжности ЭЭС на основании метода Монте-Карло для разработки программных средств комплексного анализа надёжности ЭЭС, а также интегральные и дифференциальные модели установившихся режимов ЭЭС для цифрового моделирования ЭЭС;

**определены** перспективы применения разработанных методов оценки и оптимизации балансовой надёжности при проектировании развития энергосистем в аспекте обоснования величины и мест размещения резервов генерирующей и сетевой частей; место и роль плановой надёжности ЭЭС в процессе решения задач управления энергосистемой при планировании её работой; направления улучшения практики оперативного управления ЭЭС при интеграции разработанных методов оценки режимной надёжности, основанных на применении матриц чувствительности установившихся режимов; направления реализации цифровых платформ управления системной надёжностью ЭЭС;

**созданы** программно-вычислительный комплекс оценки балансовой надёжности ЭЭС, в качестве основы для создания цифровой платформы управления системной надёжностью ЭЭС; расчетная модель для оценки балансовой надёжности ЭЭС России, исследовательские компьютерные программы для оценки плановой и режимной надёжностей ЭЭС;

**представлены** результаты кластеризации ЭЭС России на основании контролируемых сечений, результаты по обоснованию нормативного показателя балансовой надёжности на современном этапе развития российской электроэнергетики; результаты оценки показателей балансовой надёжности современного уровня развития ЭЭС России; уровни резервирования генерирующей мощности ЭЭС России, соответствующие различным нормативам балансовой надёжности;

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** и опытной апробации подтверждено соответствие полученных результатов протекающим процессам в ЭЭС, адекватность полученных результатов с результатами вычислительных экспериментов на базе верифицированных программно-вычислительных комплексов, а также с результатами, представленными в исследованиях других авторов;

**теория опирается** на фундаментальные законы электротехники, теории цепей, теории систем и теории вероятностей;

**идея базируется** на обобщении и критическом анализе современных достижений отечественной и мировой науки в области создания цифровых систем управления техническими объектами, применении в разработке методов оценки и оптимизации надёжности технических систем, методов дифференцирования вектор-функций, использование которых адаптировано к специфике функционирования современных ЭЭС.

**использованы** хорошо зарекомендовавшие себя методы кластеризации, машинного обучения, оптимизации, решения систем линейных и нелинейных уравнений, которые интегрированы в методики оценки и оптимизации балансовой, плановой и режимной надёжностей ЭЭС, тестовые и реальные схемы ЭЭС;

**установлено**, что качественные и количественные значения результатов вероятностного моделирования, представленные в диссертационной работе, демонстрируют высокую степень соответствия с данными, представленными в исследованиях других отечественных и зарубежных авторов;

**использованы** современные средства автоматизированной обработки информации, полученной непосредственно от энергетических компаний и в результате многократного имитационного моделирования режимов работы ЭЭС; программно-вычислительные комплексы для расчета разных видов системной надёжности и анализа установившихся режимов ЭЭС.

**Личный вклад соискателя** состоит в расширении понятийного аппарата в области исследований системной надёжности ЭЭС, формулировке задач и направлений исследований, формулировке принципов и положений,

составляющих научную новизну, теоретическую и практическую значимость работы, в получении научно-методических и прикладных результатов, представленных в диссертационной работе, формулировке задач и направлений исследований, проведении вычислительных экспериментов. Соискатель является руководителем и основным исполнителем научно-исследовательских работ по теме диссертации.

**В ходе защиты были высказаны следующие критические замечания:**

1. Насколько актуальна и целесообразность разработка направлений и методов, в том числе, применение методов машинного обучения для ускорения процесса оценки балансовой надёжности ЭЭС?

2. В чем заключается преимущество использования результатов по оценке плановой надёжности при организации процесса планирования режимов и балансов ЭЭС?

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

**Соискатель Крупенёв Дмитрий Сергеевич аргументировано ответил на все заданные ему в ходе заседания вопросы и сделанные замечания:**

1. Актуальность и целесообразность разработки таких направлений и методов искусственного интеллекта заключается в том, что результаты оценки балансовой надёжности используются для дальнейшего решения задачи оптимизации балансовой надёжности (определения оптимальных уровней резервирования в ЭЭС). При оптимизации балансовой надёжности ЭЭС необходимо многократно проводить её оценку для анализа вариантов вводов резервов генерирующей мощности и сетей. Чем быстрее проводится эта оценка, тем большее количество вариантов развития ЭЭС может быть проанализировано и на более качественном уровне решена поставленная задача.

2. Использование методического аппарата оценки плановой надёжности и соответствующих показателей плановой надёжности улучшает практику решения задач управления надёжностью ЭЭС на этапе планирования режимов и балансов, так как при оценке плановой надёжности проводится учет максимального количества вероятностных факторов, влияющих на надёжность оборудования ЭЭС, таких как учет всех режимов работы ЭЭС как дефицитных, так и бездефицитных, учет баланса как активной, так и реактивной мощностей. Совокупность представленных направлений учета и различных факторов позволяет повысить адекватность имитации условий функционирования ЭЭС и тем самым принимать более обоснованные, по сравнению с существующей практикой, решения.

3. В работе предложено использовать оба вида матриц чувствительности для анализа послеаварийных установившихся режимов ЭЭС в декартовой полярной системах координат. В вычислительном отношении преимущество матриц чувствительности в декартовой системе координат по сравнению матриц в полярной может выражаться отсутствием тригонометрических

функций; в содержательном плане преимущество матриц чувствительности в полярной системе координат может быть более удобно, так как вычисляются модули и фазовые углы напряжения, которые контролируются и/или анализируются при управлении ЭЭС.

На заседании 26 мая 2026 года диссертационный совет принял решение: за создание методических основ комплексного анализа и обеспечения надёжности электроэнергетических систем, в том числе за развитие и исследование методов и методик оценки балансовой, плановой и режимной надёжностей электроэнергетических систем, методов решения прикладных задач на основе этой оценки, а также за полученные на их основе прикладные результаты, подтвержденные апробацией и внедрением, квалифицируемые как решение крупной научной проблемы, имеющей важное значение для развития энергетики и экономики России, присудить Крупенёву Дмитрию Сергеевичу ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук по научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета



Стенников Валерий Алексеевич

Учёный секретарь  
диссертационного совета

*Солодуша*

Солодуша Светлана Витальевна

26 мая 2026 г.