TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
«National Research Tomsk Polytechnic University» (TPU)
30, Lenin ave., Tomsk, 634050, Russia
Tel. +7-3822-606333, +7-3822-701779,
Fax +7-3822-606444, https://tpu.ru
OKPO (National Classification of Enterprises and Organizations): 02069303,
Company Number: 1027000890168,
VAT/KPP (Code of Reason for Registration)
7018007264/701701001, BIC 016902004

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
Томский политехнический университет» (ТПУ)
Ленина, пр., д. 30, г. Томск, 634050, Россия
тел.:+7-3822-606333, +7-3822-701779,
факс +7-3822-606444, https://tpu.ru
ОКПО 02069303, ОГРН 1027000890168,
ИНН/КПП 7018007264/701701001, БИК 016902004

07.10.2026 № 14/11525
на № _____ от _____

Председателю
диссертационного совета
24.2.347.05

О направлении отзыва ведуще

УТВЕРЖДАЮ
ратегическим
университета
А.С. Гоголев
___ 2026 года

ОТЗЫВ

Ведущей организации ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (НИ ТПУ) на диссертационную работу Горшунова Андрея Андреевича «Исследование надежности и технического состояния систем электроснабжения монопотребителей на основе риск-ориентированного подхода», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика (технические науки).

Актуальность темы исследования

Автором отмечается, что нарушения электроснабжения приводят к остановке технологических процессов и значительным экономическим потерям. На сегодняшний день методы расчета надежности систем электроснабжения (СЭС) основаны на использовании статистических показателей отказов электрооборудования и не учитывают текущее техническое состояние элементов системы. В условиях ограниченных финансовых ресурсов на эксплуатацию и ремонт электрооборудования возрастает необходимость применения риск-ориентированного подхода, позволяющего учитывать: как вероятность отказов оборудования, так и последствия их возникновения. При этом важным фактором является учет текущего технического состояния электрооборудования.

Решение рассматриваемой задачи отвечает приоритетному направлению развития науки, техники и технологии РФ «Энергоэффективность, энергосбережение и ядерная энергетика»

В качестве объекта исследования рассмотрены СЭС нефтяных месторождений. Предметом исследования являются методы и математические

модели оценки отказов электрооборудования с учетом надежности и текущего технического состояния элементов СЭС и последствий отказов.

Соответствие паспорту специальности

Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.4.3 – Электроэнергетика:

п. 18 – «Разработка методов анализа структурной, балансовой и функциональной надежности электроэнергетических систем, 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».

Общая характеристика работы

Диссертация «Исследование надежности и технического состояния систем электроснабжения монопотребителей на основе риск-ориентированного подхода» выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» на кафедре «Системы электроснабжения предприятий».

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 142 наименований и пяти приложений. Работа изложена на 209 страницах машинописного текста, которая поясняется 61 рисунком и 17 таблицами.

Во **введении** диссертационной работы представлена общая характеристика работы, показана актуальность, сформулирована цель и поставлены задачи исследования, отражена научная новизна, теоретическая и практическая значимость, сформулированы выносимые на защиту положения.

В **первой главе** выполнен анализ современных подходов к оценке надежности систем электроснабжения промышленных предприятий. Рассмотрены основные показатели надежности электроэнергетических систем, методы расчета схемной надежности, а также показатели надежности электроснабжения потребителей, которые применяют на практике при эксплуатации электрических сетей. Показано, что методы расчета надежности, основанные на статистике отказов электрооборудования, как правило, не учитывают текущее техническое состояние элементов СЭС, что может приводить к неоправданным оптимистически завышенным оценкам при расчете надежности.

Во второй главе исследовано текущее техническое состояние электрооборудования СЭС кустов нефтяного месторождения. Предложена математическая модель на основе метода Монте-Карло, позволяющая, при ограниченности статистических данных, оценивать индекс технического состояния

(ИТС) с учетом состояния функциональных узлов и их весовых коэффициентов значимости.

Проверка по критерию Пирсона не выявила оснований для отклонения гипотезы о нормальном распределении моделируемого ИТС рассматриваемых схем. Установлено снижение математического ожидания общего ИТС при увеличении количества учитываемого оборудования. Разработан программный комплекс для моделирования технического состояния элементов СЭС и анализа его влияния на показатели надежности системы.

В третьей главе разработаны математические модели оценки надежности СЭС объектов нефтедобычи с учетом текущего технического состояния электрооборудования и ограничений пропускной способности элементов.

На основе эксплуатационных данных за 11 лет рассчитаны основные показатели надежности воздушных линий электропередачи, включая параметр потока отказов и среднее время восстановления. Предложен и реализован алгоритм автоматизированного расчета схемной надежности, основанный на последовательном преобразовании схемы в эквивалентный элемент в виде программного комплекса. Установлено, что совместный учет технического состояния оборудования и ограничений пропускной способности приводит к наименьшим расчетным значениям вероятности безотказной работы, при этом определяющее влияние оказывает техническое состояние. Игнорирование указанных факторов приводит к завышенным оценкам надежности СЭС.

В четвертой главе разработаны модели поддержки принятия решений на основе риск-ориентированного подхода для систем электроснабжения монопотребителей.

Были рассмотрены методы оценки экономических ущербов, возникающих вследствие нарушений электроснабжения промышленных потребителей. Проанализированы технологические и энергетические особенности нефтедобычи как примера монопотребителя электрической энергии. Предложен способ оценки рисков нарушений электроснабжения на основе математического ожидания ущерба от недоотпуска электрической энергии.

Разработана модель оценки ущерба для кустов нефтедобывающих скважин и алгоритм поддержки принятия решений о выводе электрооборудования в ремонт на основе данных мониторинга технического состояния и показателей надежности элементов СЭС.

В **заключении** сформулированы основные результаты работы.

Основные научные результаты

1. Проведенный анализ схем электроснабжения месторождений выявил 11 типовых схем, которые были использованы для расчетов оперативной надежности системы электроснабжения.

2. На основе обработки многолетней статистической информации получены достоверные показатели надежности (параметр потока отказов и время восстановления) основных элементов системы электроснабжения реального

месторождения, которые использовались в расчетах для оценки оперативной надежности СЭС.

3. На основе анализа существующих методов оценки надежности СЭС установлено, что использование основных показателей надежности без учета текущего технического состояния электрооборудования приводит к завышенной оценке надежности. Для корректного решения предложен способ учета технического состояния элементов СЭС на основе индекса технического состояния, позволяющего корректировать параметры надежности оборудования.

4. Разработаны математические модели оценки технического состояния и расчета схемной надежности СЭС, основанные на совместном учете структурной надежности и текущего технического состояния элементов системы. Для моделирования изменения технического состояния элементов оборудования применен метод статистических испытаний, что позволило получить вероятностные оценки состояния элементов СЭС на рассматриваемый момент времени. Проверка гипотезы по критерию $\chi 2$ – Пирсона для всех кустов месторождения показала, что случайные изменения значения ИТС электрооборудования подчиняется нормальному закону распределения. Полученные результаты согласуются с положениями центральной предельной теоремы, что подтверждает корректность применения метода статистических испытаний при моделировании технического состояния элементов СЭС.

5. Предложен способ оценки риска нарушения электроснабжения потребителей с доминирующим технологическим процессом, при котором риск определяется как математическое ожидание ущерба от недоотпуска продукции вследствие нарушения электроснабжения с учетом вероятности отказов и технического состояния элементов СЭС. Для исследуемого объекта установлено, что нарушение электроснабжения приводит к недоотпуску продукции, который может быть выражен ущербом. Полученные значения риска позволили сформировать ранжированный ряд рисков. Разработан алгоритм поддержки принятия решений о выводе электрооборудования СЭС в ремонт, обеспечивающий ранжирование элементов системы по уровню риска и формирование приоритетной программы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) с учетом ограниченных финансовых ресурсов. На основе предложенных моделей создан программный комплекс, реализующий расчет надежности, моделирование технического состояния и оценку риска от нарушения электроснабжения. На отдельные модули получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Апробация выполнена на электрических сетях Салымской группы нефтяных месторождений, с получением результатов автоматизированного расчета надежности, моделирования текущего технического состояния элементов СЭС и оценок рисков по каждому рассматриваемому кусту месторождения.

Научная новизна

1. Предложен способ учета текущего состояния электрооборудования СЭС на основе индекса технического состояния при оценке структурной надежности, позволяющий повысить достоверность расчётов.

2. Предложен классификационный признак выделения потребителей электрической энергии, заключающийся в наличии доминирующего технологического процесса по выпуску однотипной продукции, на который приходится основная доля электропотребления и способ оценки риска нарушения электроснабжения потребителей нефтяного месторождения, под которым понимается математическое ожидание ущерба от недополученной продукции.

3. Разработан риск-ориентированный алгоритм поддержки принятия решений о выводе электрооборудования СЭС в ремонт, основанный на совместном учете данных текущего технического состояния и показателей надежности элементов СЭС. Алгоритм обеспечивает ранжирование оценок риска, оказывая поддержку в принятии решения при определении приоритетности ремонтных мероприятий в планах ТОиР.

Практическая значимость результатов исследования заключается в возможности применения предложенных методов и алгоритма при эксплуатации СЭС нефтяных месторождений. Разработанные положения позволяют выполнять более обоснованную оценку надежности схем электроснабжения, определять потребителей, для которых нарушение электроснабжения приводит к наибольшему технологическому и экономическому ущербу, а также ранжировать электрооборудование по уровню риска при планировании мероприятий ТОиР.

Практическая полезность результатов работы состоит в том, что предложенный риск-ориентированный алгоритм может использоваться эксплуатационными службами при формировании планов ремонта электрооборудования СЭС. Его применение позволяет учитывать не только показатели надежности элементов системы, но и их текущее техническое состояние, а также возможный ущерб от нарушения электроснабжения потребителей нефтяного месторождения.

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным использованием математического аппарата, применением научно обоснованных методов диссертационного исследования. Показатели надежности элементов СЭС, используемые в расчетах, получены на основе обработки статистических данных об отказах электрооборудования рассматриваемых электрических сетей, что обеспечивает соответствие расчетных параметров условиям реальной эксплуатации.

Основные результаты и положения диссертации докладывались и обсуждались на различных всероссийских и международных конференциях с привлечением, в том числе, сотрудников службы эксплуатации электросетевых компаний.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации некорректно сформулированы такие параметры научного исследования, как цель работы, некоторые пункты научной новизны, в заключении отсутствует количественная оценка эффективности предлагаемого метода учета текущего технического состояния при сравнении с известными методами.

2. В работе используется термин: «мониторинг технического состояния», хотя в работе мониторинга не проводилось.

3. Использование экспертных оценок при построении математической модели может вносить элемент субъективности. Целесообразно пояснить, каким образом проверяется согласованность экспертных оценок и оценивается их влияние на результаты расчёта надёжности.

4. Как в модели технического состояния обосновано число реализаций при моделировании методом Монте-Карло? По какому критерию оцениваются сходимость результатов и достаточность объёма вычислений?

5. Можно ли считать равнонадёжными два однотипных элемента оборудования с одинаковым итоговым ИТС, если у одного имеются небольшие отклонения по нескольким параметрам, а у другого — существенное ухудшение одного параметра?

6. Не может ли при суммировании взвешенных оценок неудовлетворительное состояние одного критически важного узла компенсироваться хорошим состоянием остальных? Каким образом в методике учитывается ситуация, когда именно этот узел определяет работоспособность всего оборудования?

Сделанные замечания существенно не влияют на результаты диссертационной работы.

Общее заключение

Диссертационная работа Горшунова Андрея Андреевича «Исследование надежности и технического состояния систем электроснабжения монопотребителей на основе риск-ориентированного подхода» является законченной научно-квалификационной работой, в которой представлено решение актуальной задачи по оценке показателей надежности схем электроснабжения нефтяных месторождений с учетом текущего технического состояния для дальнейшего анализа отказов и их последствий, имеющей существенное значение для электроэнергетики.

Диссертационная работа представляет собой целостное самостоятельное исследование, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, заслуживающие публичной защиты.

Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации. По результатам диссертационного исследования опубликована 21 печатная работа, в том числе 5 – в рецензируемых изданиях из перечня, рекомендованных ВАК Российской Федерации, 1 – в изданиях, индексируемых в наукометрических базах Scopus и Web of Science, 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Диссертация Горшунова Андрея Андреевича «Исследование надежности и технического состояния систем электроснабжения монопотребителей на основе риск-ориентированного подхода» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, изложенным в п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 (с изменениями от 16.10.2024 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Автор диссертации, Горшунов Андрей Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3. Электроэнергетика.

Отзыв на диссертацию Горшунова А.А., обсужден и одобрен на заседании Отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», протокол № 3 от 01 октября 2026 г.

Отзыв подготовлен профессором-консультантом Отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики доктором технических наук, профессором Лукутиным Борисом Владимировичем

Исполняющий обязанности руководителя
Отделения электроэнергетики и электротехники
Инженерной школы энергетики,
кандидат технических наук, доцент А.С. Сайгаш

Отзов получен 21.10.2026 г. /Осинцев А.В./
С отзывом ознакомлен 21.10.2026 г. /Горшунов А.А./

Лукутин Борис Владимирович
+7 (3822) 701-777, доп. 1935

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ТПУ

В. Д. НОВИКОВА