

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук, доцента Бык Феликса Леонидовича на диссертационную работу Губина Павла Юрьевича «Планирование ремонтов генерирующего и сетевого оборудования энергосистем с учетом их балансовой надёжности», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3. Электроэнергетика

Актуальность темы

Согласно «Методическим указаниям по проведению расчетов балансовой надёжности» (СТО 59012820.27.010.005–2018), расчеты балансовой надёжности энергосистем проводятся для оценки возможности покрытия совокупного спроса на электрическую энергию и мощность потребителей при обеспечении установленного (нормативного) уровня балансовой надёжности энергосистемы.

Плановое ремонтное снижение мощности электростанций задается равным среднемесячной величине и определяется:

- графиками ремонтов генерирующего оборудования на предстоящий год;
- формируемыми субъектами электроэнергетики перспективными планами ремонтов основного энергетического оборудования электростанций, а также планами модернизации и реконструкции основного энергетического оборудования электростанций;
- фактическими данными о величинах ремонтного снижения мощности и периодами проведения ремонтов в ретроспективном периоде, усредненными за соответствующий месяц последних 10 лет;
- при отсутствии фактических данных – среднестатистическими величинами для соответствующего или аналогичного оборудования, либо по нормативам по продолжительности и периодичности отдельных видов ремонта генерирующего оборудования или данным заводов изготовителей оборудования об объемах и периодичности его технического обслуживания и ремонта.

Расчеты показателей балансовой надёжности должны проводиться с применением вероятностно-статистических методов с использованием расчетных моделей и нехронологического метода математического моделирования Монте-Карло. Основным фактором, определяющим величину резерва мощности, является случайный характер состава, работающего генерирующего и сетевого оборудования, определяемый аварийными, внеплановыми и плановыми ремонтами оборудования.

В условиях, когда заявки на проведение ремонтов носят ситуативный характер, т.е. снижается доля планово-предупредительных ремонтов и нарастает случайный характер ремонтов по состоянию, требует соответствующего

методического обеспечения. Влияние внеплановых ремонтов на балансовую надёжность (БН) наименее исследованный вопрос и это обуславливает актуальность исследования.

Научная новизна диссертационного исследования Губина П.Ю. заключается в следующем:

- методике оценки показателей БН концентрированной ЭЭС с учетом оптимальной стратегии планирования ремонтов генерирующего оборудования ЭЭС;
- реализации метода чемпионата (МЧ), до этого не применявшегося для решения задачи планирования ремонтов генерирующего оборудования в концентрированной ЭЭС;
- методике аппроксимации функции дефицита мощности, которая позволяет на порядок снизить вычислительные затраты при расчете показателей БН ЭЭС методом Монте-Карло (ММК) в задаче планирования ремонтов основного оборудования ЭЭС.

Личный вклад соискателя заключается в разработке проведении теоретических исследований, новых математических методов и вычислительных экспериментов для проверки выдвигаемых гипотез.

Основные положения, выносимые соискателем на защиту:

1. Реализация и развитие методов чемпионата, направленного поиска и роя частиц для решения задачи планирования ремонтов при расчете показателей балансовой надёжности концентрированных ЭЭС.

2. Результаты сравнения оптимальных планов ремонтов, сформированным согласно критериям: минимума суммарных затрат на топливо; минимума интегральной вероятности дефицита мощности; минимума математического ожидания (МО) недоотпуска ЭЭ.

3. Метод аппроксимации функции дефицита мощности на интервалах постоянства состава оборудования при расчёте показателей БН по ММК и в задаче оптимизации плана ремонтов основного оборудования ЭЭС по критериям балансовой надёжности.

4. Методика совместного планирования ремонтов генерирующего и сетевого оборудования системы при расчете показателей БН с учётом сетевых ограничений.

Практическая значимость и реализация результатов

Практическая значимость полученных в диссертационной работе Губина П.Ю. результатов состоит, прежде всего, в разработках:

- модифицированных версиях методов направленного поиска (МНП) и роя частиц (МРЧ), использование которых повышают качество планирования ремонтов генерирующего оборудования ЭЭС;

- решения задачи планирования ремонтов методами: МНП, МРЧ, МЧ, дифференциальной эволюции (МДЭ). Показаны преимущества и недостатки каждого из подходов и определены условия, в которых каждый из них наиболее эффективен;
 - расчетной процедуры совместного планирования ремонтов генерирующего и сетевого оборудования с учетом сетевых ограничений и возможных отказов оборудования на основе алгоритма дифференциальной эволюции
- Основным практическим результатом является рекомендации по дополнению действующих «Методических указаний по проведению расчетов балансовой надёжности» методами учета ремонта оборудования, отказавшись от предиктивной аналитики, основным недостатком которой является слабый учёт качественных сдвигов в структуре потребления и генерации электроэнергии.

Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, представленных в диссертационной работе Губина П.Ю. основана на глубоком анализе математического инструментария, подтверждается корректным использованием методов оценивания состояний, корректным применением математических методов и проверкой результатов расчета показателей БН с помощью ММК. Автором было проведено сравнение с результатами оптимизации с помощью сертифицированного ПК DIgSILENT PowerFactory 2021, что показало хорошее совпадение результатов.

Основные научные положения, выносимые Губиным П.Ю. на защиту, основные выводы по результатам исследований и рекомендации осуществлять совместное планирование ремонтов генерирующего и сетевого оборудования системы по критерию БН с учетом сетевых ограничений по предложенной автором методике не противоречат существующим представлениям теории управления и теории надёжности, накопленным знаниям и практическому опыту по эксплуатации энергосистем.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертационная работа Губина П.Ю. отвечает критериям пунктов 9, 10, 14, 16 паспорта научной специальности 2.4.3. «Электроэнергетика», утвержденного приказом Министерством образования и науки Российской Федерации от 24 февраля 2021 года № 118 и соответствует следующим требованиям:

5.1. Цель работы – развития методов планирования ремонтов оборудования энергосистем по критериям БН без учета и с учетом сетевых ограничений – достигнута в представленной диссертации. Представленная диссертационная работа является законченной научно-квалифицированной работой, она содержит решение научных и практических задач, необходимых для обеспечения балансовой надёжности в ремонтных режимах энергосистем и позволяет добиться снижения ожидаемой величины недоотпуска электроэнергии

при оптимальном плане ремонтов, что соответствует п. 9 и 10.

5.2. Диссертация написана соискателем самостоятельно, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты. Полученные соискателем научно-практические результаты и предложенные рекомендации обоснованы и достоверны, т.к. сопоставлены с результатами экспериментальных и аналитических исследований других авторов. Разработанные математические методы анализа состояния основного оборудования электростанций соответствуют п. 14 и 18 паспорта научной специальности 2.4.3. «Электроэнергетика».

5.3. Научные публикации Губина П.Ю. Результаты исследований автора по теме диссертации изложены в 7 научных работах, которые полностью отражают основное содержание диссертации, из них 5 статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях, определенных Аттестационным советом УрФУ и индексируемых в международной реферативной базе данных.

5.4. В диссертационной работе Губина П.Ю. опираясь на достижения отечественной и зарубежной науки, им сделаны необходимые ссылки на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов.

Диссертационная работа Губина П.Ю соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 2.4.3. «Электроэнергетика»:

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

10. Разработка цифровых и физических методов анализа и мониторинга режимных параметров основного оборудования электростанций, электрических сетей и систем электроснабжения.

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.

18. Разработка методов анализа структурной, балансовой и функциональной надёжности электроэнергетических систем и систем электроснабжения, мини- и микрогрид.

Анализ содержания работы

Диссертационная работа Губина П.Ю. состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложения. Объем работы включает в себя 195 страниц печатного текста, 10 таблиц и 69 рисунков.

Во введении представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов,

апробация полученных результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе «ОБЗОР МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ» рассмотрены существующие подходы к планированию ремонтов и выявлены имеющиеся проблемы в данной области. Показано, что главной сложностью с точки зрения математического обеспечения данной задачи является её целочисленный характер, дискретность пространства решений и, как следствие, многоэкстремальность целевой функции (ЦФ). Продемонстрировано, что при планировании есть два общепринятых сценария: график ремонтов задается для генерирующего оборудования без учета сетевых ограничений и график ремонтов определяется с учетом сетевых ограничений. При этом в план ремонтов включаются линии электропередачи (ЛЭП) и трансформаторы. В первом случае больше внимания уделяется вероятностным характеристикам входных данных, а во втором вероятностные характеристики задаются упрощенно. Показаны основные сдерживающие развитие математических методов факторы, обуславливающие недостатки существующих подходов, что ведет к отсутствию математически формализованной и утверждённой методики оптимального планирования ремонтов оборудования любых типов по критерию максимальной надёжности, учитывающая значимые сетевые ограничения ЭЭС.

Во второй главе «ПЛАНИРОВАНИЕ РЕМОНТОВ В СИСТЕМЕ БЕЗ УЧЕТА СЕТЕВЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ» дана постановка задачи планирования ремонтов генерирующего оборудования в системе с сильными связями, выведены условия теоретически оптимального распределения ремонтного резерва при планировании ремонтов по ряду критериев, исследовано применение метода чемпионата и сопоставлены математические методы планирования ремонтов. Критерием оптимизации принимается минимум МО суммарного на рассматриваемом интервале времени недоотпуска электроэнергии. Показано краткое описание реализованных алгоритмов для планирования ремонтов: МРЧ, модифицированный МРЧ (ММРЧ), МДЭ и выявлено, что ММРЧ позволяет с большей вероятностью найти решение, которому соответствует меньшие значения целевой функции. На базе тестовой сети IEEE96, проведен вычислительный эксперимент и представлены результаты, исследована зависимость качества планирования от выбранного метода. Анализ результатов, показывает, что предложенная модификация метода направленного поиска (МНП) в виде повышения порядка позволяет дополнительно улучшить результаты планирования, но требует несопоставимых с другими методами вычислительных затрат. Доказана эффективность схемы обновления решений в случайном порядке. Следует обратить внимание на

хорошую сходимость предложенной модификации метода роя частиц (МРЧ), а также на реализованный впервые МЧ. Особого внимания заслуживает МДЭ, поскольку он не требует предварительной настройки. Показано, что для практической реализации предпочтительно использовать МЧ или ММРЧ. Важным результатом является выявление факта, что ошибки в оценке интенсивностей отказов и восстановления элементов ЭЭС слабо влияют на результат планирования ремонтов генерирующего оборудования

Третья глава «ОЦЕНКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ НЕДООТПУСКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО МЕТОДУ МОНТЕ-КАРЛО» описана методика распределения дефицита мощности (ДМ) между узлами сети для оценки недоотпуска ЭЭ при планировании ремонтов и предложена аппроксимация функции дефицита мощности для оценки входящего в состав целевой функции (ЦФ) МО недоотпуска электроэнергии по узлам и ЭЭС в целом. Оптимальное распределение дефицита мощности определяется автоматически в процессе расчета ЦФ, поскольку график ремонтов формируется по условию минимума МО недоотпуска электроэнергии. Оценка ЦФ возможна для любой комбинации отключений, в том числе, если ремонты и отказы линий и трансформаторов, приводят к делению системы на отдельные районы. Критерием останова расчета по распределению дефицита мощности между узлами сети является выполнение всех ограничений, вводимые в форме равенств и неравенств. В представленной работе оптимизируется распределение только активной мощности. При планировании ремонтов это позволяет минимизировать вычислительные затраты на расчеты. В работе представлены результаты вычислительного эксперимента с сопоставлены результаты распределения мощности между узлами генерации и нагрузки, полученные с помощью предложенного метода с распределением, рассчитанным с помощью промышленного ПК DlgSILENT PowerFactory 2021. Расчеты были выполнены для тестовой системы RBTS. Результат эксперимента позволяет говорить об эффективности предложенного метода планирования ремонтов не только с учетом плановых отключений, но и при возможных отказах сетевого оборудования. С целью снижения вычислительных затрат предлагается перейти от оценки каждого режима к анализу интервалов постоянства состава оборудования.

В четвертой главе «ПЛАНИРОВАНИЕ РЕМОНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ С УЧЕТОМ СЕТЕВЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ» экспериментально подтверждена полезная при учете сетевых ограничений гипотеза о взаимосвязи МО недоотпуска ЭЭ и вероятностей дефицитов мощности в пределах ремонтного периода. Показано, что ошибка в оценке интенсивностей отказа и восстановления элементов слабо влияет на результат

планирования.

В заключении представлены обобщающие выводы по диссертационной работе, где показано, какие теоретически оптимальные стратегии заполнения ремонтных площадок рекомендуются при разработке плана ремонтов генерирующего оборудования. Рекомендуемой является ориентация на равенство на ремонтном периоде относительного оперативного резерва мощности в ЭЭС. Обоснована эффективность модификации методов направленного поиска и роя частиц, а также использование метода чемпионата для решения задачи планирования ремонтов. Очевидны преимущества метода дифференциальной эволюции (МДЭ), но сфера его применения ограничивается ЭЭС с малым числом внутренних параметров. Способ аппроксимации дефицита мощности по интервалам постоянства оборудования сопровождается незначительной ошибкой, но позволяет существенно снизить вычислительные затраты и оказывается полезным при моделировании вероятностного характера нагрузки и генерации по методу Монте-Карло.

Замечания и вопросы по диссертационной работе:

1. Согласно существующим директивным документам, уровень балансовой надёжности характеризуется интегральной вероятностью бездефицитной работы энергосистемы и, в частности, ее нормативом 0,996. Насколько предложенные автором методы планирования ремонтов основного генерирующего и сетевого оборудования учитывают этот показатель?
2. При разработке оптимального плана ремонтов основного оборудования ЭЭС автор использует в том числе критерий минимума расхода топлива. Какая взаимосвязь между расходом топлива и организацией ремонтов?
3. Почему ограничение на число ремонтных бригад может учитываться только при вертикально-интегрированной организации электроэнергетики?
4. Как методология расчетов балансовой надёжности по ГОСТ Р 58730–2019 соотносится с рекомендованными автором модифицированными математическими методами и могут ли они использоваться при решении сформулированных в ГОСТе задач?
5. В современных условиях избыточности генерирующих мощностей относительно максимума нагрузки задача планирования ремонтов, на наш взгляд существенно упрощается. В то же время здесь могут стать актуальными иные критерии оптимизации, например, связанные с рыночными отношениями в электроэнергетике. Как автор предлагает решать рассматриваемую оптимизационную задачу в новых условиях? Какие критерии оптимизации здесь могут быть более востребованы?
6. Автор отмечает, что в границах зон надёжности можно не учитывать

ограничения на передачу мощности, что позволяет сконцентрироваться на плане ремонтов только генерирующего оборудования, а планирование сетевого оборудования вывести из оптимизационной процедуры, с последующим согласованием планов сетевого и генерирующего оборудования. Насколько правомочным является такой подход? Не приведет ли это к существенной потере точности расчетов?

Приведенные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Губина П.Ю. Замечания существенно не влияют на основные научные и теоретические результаты диссертации и имеют уточняющий, рекомендательный характер.

Общее заключение

Представленная диссертационная работа Губина П.Ю. является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, обладающей как признаками актуальности и научной новизны, так и практической значимостью полученных результатов.

Результаты, полученные соискателем в диссертационном исследовании, базируются на глубоком анализе методов планирования ремонтов генерирующего оборудования с учетом поддержания уровня надёжности электроснабжения. В работе содержится содержательный анализ математических методов и существующего аппарата, ориентированного на решение поставленных в диссертации задач. Этому аспекту уделено большое внимание и придает выполненной работе теоретический характер, который позволил автору предложить модификацию известных методов и новый метод чемпионата для составления планов ремонта основного генерирующего оборудования. Выше отмеченное позволяет сделать вывод о том, что содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 2.4.3. «Электроэнергетика».

Содержание диссертационной работы отражает последовательность решения поставленных задач, демонстрирует высокий уровень подготовки и широкий кругозор соискателя. Текст диссертационной работы изложен корректным научным и техническим языком, что позволяет судить о культуре соискателя. Материалы диссертационного исследования представлены в достаточном для понимания объеме и форме, а сделанные в диссертационной работе выводы и сформулированные рекомендации обоснованы и убедительны.

Представленный автореферат диссертации Губиным П.Ю. соответствует диссертационной работе и отражает: цель, задачи исследования, основные положения, выносимые на защиту, актуальность, научная новизна, практическая значимость полученных результатов.

Основные результаты диссертационной работы Губина П.Ю. отражены в 7 научных работах, которые полностью отражают основное содержание

диссертации, из них 5 статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях, определенных Аттестационным советом УрФУ и индексируемых в международной реферативной базе данных Scopus.

В целом диссертационная работа Губина П.Ю. на тему «Планирование ремонтов генерирующего и сетевого оборудования энергосистем с учетом их балансовой надёжности», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук является актуальной, обладает научной новизной и практической значимостью, соответствует паспорту специальности 2.4.3 «Электроэнергетика».

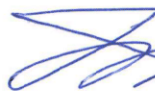
Диссертационная работа отвечает требованиям Положения о присуждении учёных степеней в УрФУ, а именно пунктам 9, 10, 14 и 18, , а ее автор Губин Павел Юрьевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3. «Электроэнергетика».

Официальный оппонент

Кандидат технических наук, доцент
кафедры «Автоматизированных
электроэнергетических систем»,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Новосибирский
государственный технический
университет»
Адрес: Россия, 630073, г. Новосибирск, пр-т
Карла Маркса, 20
Телефон: +7 (383) 346-08-43 (общий отдел)
Тел. (моб): +7 (913) 771-9135
Эл.почта: rector@nstu.ru
E-mail: felixbyk@gmail.com

Бык

Феликс Леонидович



«25» ноября 2022 г.

Подпись заверена



О. К. Пустовалова