

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора Тимашева
Святослава Анатольевича 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

Электроэнергетические системы сегодня являются критическими структурами, надёжность которых определяет не только экономическое благосостояние и вектор развития государств, но и безопасность их граждан. С этой точки зрения проведение ремонтов оборудования энергосистем (энергоблоков электростанций, линий электропередач, трансформаторов и т. д.) неминуемо ведёт к ослаблению системы, росту нагрузки на работающее оборудование и снижению надёжности системы в целом. Процедура планирования ремонтов регламентируется постановлением Правительства РФ от 30.01.2021 «Об утверждении Правил вывода объектов электроэнергетики в ремонт и из эксплуатации». Данный документ определяет ответственность сторон, задаёт приоритет проведения ремонтов по типам оборудования, призывает к совмещению ремонтов функционально связанных объектов, но при этом не указывает на конкретные критерии при формировании графика и не формализует задачу математически. С учётом высокой неопределённости вносимой внеплановыми и аварийными заявками, а также тенденцией проведения ремонтов оборудования по состоянию, планирование ремонтов без явной ориентации на надёжность энергосистем может приводить к общему снижению надёжности энергосистем, возникновению недопустимых режимов и дефицита мощности. В этой связи диссертационная работа Губина П.Ю., посвященная разработке методов планирования ремонтов генерирующего и сетевого оборудования энергосистем по критерию балансовой надёжности, является актуальной.

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

1. Предложены улучшенные версии методов направленного поиска и роя частиц. В ходе вычислительного эксперимента показана эффективность этих методов в приложении к задаче планирования ремонтов генерирующего оборудования.
2. Проведено сравнение метода направленного поиска, метода роя частиц, метода чемпионата, метода дифференциальной эволюции и их

модифицированных версий для планирования ремонтов генерирующего оборудования в концентрированной энергосистеме. Показаны преимущества и недостатки данных методик.

3. Получены аналитически и подтверждены в ходе вычислительных экспериментов условия оптимальности графиков ремонтов по критериям минимума затрат, ущерба, вероятности и математического ожидания дефицита мощности, подтверждающие существующие гипотезы об величине относительных резервов мощности в пределах периода ремонтной компании.
4. Предложена и реализована методика пересчёта дефицита мощности по интервалам постоянства состава оборудования, позволяющая с высокой точностью получить оценку показателя балансовой надёжности для периода работы энергосистемы при кратном уменьшении вычислительных затрат.
5. Предложен и апробирован метод планирования ремонтов оборудования всех типов в системе со слабыми связями, в которой отказ от учёта сетевых ограничений невозможен.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

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 надежности электроэнергетических систем и систем электроснабжения, мини- и микрогрид.

Основные положения, выносимые соискателем на защиту:

1. Реализация и развитие методов чемпионата, направленного поиска и роя частиц для решения задачи планирования ремонтов по критерию максимальной 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 критерию балансовой надёжности.

4. Методика совместного планирования ремонтов генерирующего и сетевого оборудования системы по критерию БН с учётом сетевых ограничений.

Теоретическая значимость работы состоит в развитии методов оценки балансовой надёжности при решении оптимизационных задач, предложении новых подходов к выполнению планирования ремонтов в ЭЭС с сильными и слабыми связями.

Практическая значимость работы состоит в разработке схемы оптимизации по критерию балансовой надёжности, которая применена соискателем для планирования ремонтов, и предложенных методах повышения точности оценки показателей балансовой надёжности для концентрированных энергосистем, а также решениях, направленных на ускорение оценки надёжности систем с учётом сетевых ограничений, в частности, с помощью метода аппроксимации дефицита мощности.

Методология и методы исследования. При поиске оптимальных решений применялись эвристические и метаэвристические методы оптимизации. Для математического моделирования режимов энергосистем и их оптимизации применялся метод внутренней точки. Все методы и алгоритмы реализованы автором в среде Microsoft Visual Studio Community 2019 на языке программирования C#. Подготовленная программа стала инструментом проведения вычислительных экспериментов для проверки теоретических гипотез, а также эффективности предлагаемых методик. Для анализа данных экспериментов и построения графиков использовались библиотеки языка Python – seaborn и matplotlib.

Личный вклад соискателя заключается в анализе существующих подходов к планированию ремонтов; нахождении и экспериментальном подтверждении условий оптимальности графика ремонтов генерирующего оборудования в системах с сильными связями по критериям надёжности; разработке и тестировании нового метода планирования ремонтов, позволяющего формировать график ремонтов и сетевого, и генерирующего оборудования с учётом сетевых ограничений.

Апробация результатов. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на 4 конференциях:

1. 93-е заседание Международного научного семинара им. Ю.Н. Руденко Методические вопросы исследования надёжности больших систем энергетики на тему "Надёжность систем энергетики в условиях их цифровой трансформации".

2. IEEE 60th Annual International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga, 2019, Riga, Latvia.

3. IEEE 61st International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University, 2020, Riga, Latvia.

4. IEEE 62nd International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University, 2021, Riga, Latvia.

Публикации. Результаты диссертационного исследования соискателя 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 Scopus.

Степень обоснованности основных положений, выводов и заключений

Диссертационная работа Губина П.Ю. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка терминов и сокращений, списка литературы, включающего 102 наименования. Общий объем работы составляет 197 страниц печатного текста, включая 10 таблиц и 69 рисунков.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, обозначена степень научной разработанности темы, указаны цели и задачи исследования, дана научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов работы, перечислены положения, выносимые на защиту, описаны методы исследования.

В первой главе рассмотрены существующие стратегии планирования ремонтов и проанализированы методы, используемые для их реализации. Показано, что в силу особенностей расчёта показателей балансовой надёжности, для планирования ремонтов по данному критерию используются только упрощённые оценки данных показателей, а сетевые ограничения либо не учитываются, либо рассматриваются в минимальном объёме.

Вторая глава посвящена реализации планирования ремонтов генерирующего оборудования в концентрированной системе. Дана постановка задачи и показано, как может быть оценена балансовая надёжность такой системы на основе вероятностных распределений нагрузки и генерации. Описаны реализованные и модифицированные версии метаэвристических подходов и выполнено их сопоставление для исследуемой проблемы. Аналитически получены условия оптимальности графика отключений по критериям затрат и балансовой надёжности. В ходе вычислительного эксперимента подтверждена эффективность реализованных подходов, справедливость выдвинутых гипотез.

В третьей главе описана реализация распределения дефицита мощности с учётом сетевых ограничений, применяемая при оценке показателей балансовой надёжности. Описан расчёт коэффициентов потокораспределения и показано, как они могут быть использованы для решения задачи оптимизации режима сети. Описано решение, позволяющее на порядок уменьшить время расчётов показателей надёжности за период времени, основанное на вводимом понятии интервала постоянства состава оборудования и аппроксимации дефицита мощности по данным интервалам. В ходе вычислительного эксперимента по результатам сравнения с промышленным программным комплексом подтверждена эффективность и точность используемой в работе процедуры.

Четвертая глава посвящена методике совмещенного планирования генерирующего и сетевого оборудования с учётом сетевых ограничений. Дана постановка задачи, описан алгоритм приближённой оценки показателей балансовой надёжности. В ходе вычислительного эксперимента показана эффективность предлагаемой процедуры.

В заключении подведён итог выполненной работе, сведены основные выводы по исследованию, описаны планы и перспективы дальнейших исследований.

Всё указанное выше позволяет прийти к выводу о корректности, обоснованности и достоверности положений диссертации, экспериментов, выводов и заключений.

Автореферат соответствует содержанию диссертации, опубликованные статьи в полной мере отражают основные положения и результаты диссертационного исследования.

Замечания и вопросы по диссертационной работе

1. В названии работы и по всему её содержанию соискатель говорит о связи балансовой надёжности и ремонтов сетевого оборудования. Насколько сильно связаны между собой балансовая надёжность, сетевые ограничения, и состояния сетевого оборудования энергосистем?
2. Что в работе рассматривается в качестве критерия оптимальности графика ремонтов и как этот критерий изменяется в зависимости от условий функционирования ЭЭС?
3. Что для собственника служит триггером для подачи заявки на включение в график ремонтов оборудования?
4. Предложенный в третьей главе метод аппроксимации функции распределения дефицита мощности, как отмечает соискатель, применим только для систем, графики нагрузки узлов которых одинаковы по форме. Насколько справедливо такое допущение для реальных

энергосистем? Какие у соискателя есть предложения по развитию данного подхода?

5. Может ли по мнению соискателя предложенная методика быть использована для планирования ремонтов оборудования в других сетевых структурах и в том числе инфраструктурах?

Заключение

Диссертационная работа Губина П.Ю. «Планирование ремонтов генерирующего и сетевого оборудования энергосистем с учетом их балансовой надёжности» соответствует паспорту научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика, является актуальной и перспективной с точки зрения практической реализации. В данном исследовании решена важная практическая задача разработки метода планирования, позволяющего учесть неопределённость нагрузки и состава оборудования, а также сетевые ограничения. Все положения, выводы и заключения, представленные в диссертации, являются обоснованными и подкреплены результатами вычислительных экспериментов.

Диссертационное исследование «Планирование ремонтов генерирующего и сетевого оборудования энергосистем с учетом их балансовой надёжности» отвечает требованиям Положения о присуждении учёных степеней в УрФУ, а именно пунктам 9, 10, 14 и 18.

Считаю, что автор работы, Губин П.Ю., заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3. Электроэнергетика.

Официальный оппонент

Доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник, научный
руководитель,
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Научно-инженерный
центр "Надёжность и ресурс больших
систем и машин" Уральского отделения
Российской академии наук
Адрес: 620049, г. Екатеринбург, ул.
Студенческая, д.54А
Тел.: +7 (343) 374-16-82
E-mail: timashevs@gmail.com

Тимашев
Святослав Анатольевич



«22» ноября 2022 г.



Подпись С.А. Тимашева заверяя
Директор НИЦ «НиР БСМ» УрФУ

Л.В. Полуян