

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук,  
профессора Куликова Александра Леонидовича  
на диссертацию Малафеева Алексея Вячеславовича

**«Повышение эффективности и надежности систем электроснабжения  
промышленных предприятий с собственной генерацией»**, представленную на  
соискание учёной степени доктора технических наук по специальности  
**2.4.2. «Электротехнические комплексы и системы»**

### Актуальность темы диссертации

Для систем электроснабжения крупных промышленных предприятий характерно увеличение объёма электроэнергии, вырабатываемой собственными электростанциями. Особенно это заметно на металлургических предприятиях с полным циклом производства, располагающих вторичными технологическими газами. При этом процент вырабатываемой электроэнергии на заводских электростанциях составляет от 50 % до 80 % от общего потребления. Сложившиеся принципы, методы оперативного планирования и управления режимами энергосистем часто оказываются неприменимыми для систем электроснабжения с собственными электростанциями. Количество независимых факторов, определяющих эффективность их работы, гораздо шире и разнообразнее, поскольку необходимо учитывать, во-первых, условия и ограничения внешней энергосистемы, а во-вторых – реальные режимы внутренней подсистемы – совокупных заводских электростанций, отличающихся мощностью и составом оборудования. Все эти перечисленные факторы свидетельствуют о необходимости совершенствования принципов и методов управления эксплуатационными режимами систем электроснабжения предприятий с собственной генерацией. И поэтому считаю, что диссертация Малафеева А.В., посвящённая разработке этих вопросов является актуальной и практически значимой.

### Новизна научных положений и значимость теоретических результатов

Автором проведён глубокий всесторонний анализ функционирования и организации электроснабжения предприятия на основе системного подхода – как элемента внешней энергосистемы и подсистемы предприятия. Это позволило сформулировать критерий оценки энергоэффективности при планировании и оперативном управлении систем электроснабжения.

В диссертации получены результаты, имеющие научную новизну; наиболее значимыми являются следующие:

1. Способ формирования модели заводских электростанций, отличающийся возможностью учёта различных топливных смесей и их состава при регулировании паропроизводительности котлов. Способ характеризует большая универсальность и адаптация к условиям функционирования реального оборудования.

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»	
за № _____	_____
Дата регистрации _____	28.12.2023
Фамилия регистратора _____	_____

2. Метод оптимизации загрузки заводских электростанций по активной и реактивной мощности на основе критерия минимальных затрат на выработку и распределение электроэнергии в условиях неопределённости исходных данных.

3. Метод математического описания электрических нагрузок с использованием нечётких интервалов, отличающийся от известных большей универсальностью и позволяющий оперативно прогнозировать нагрузки на основе плановых производственных показателей.

4. Универсальный метод расчёта эксплуатационных режимов систем электроснабжения, основанный на принципах последовательного эквивалентирования.

5. Метод выбора положения РПН заводских трансформаторов по критериям минимума потерь мощности в сетях низкого напряжения с учётом срока службы переключателей.

6. Метод расчёта надёжности систем электроснабжения предприятий с собственными электростанциями с учётом неопределённости информации о нагрузке приёмников, отличающийся тем, что позволяет учесть технологические и электрические связи между потребителями и наличие запаса технологического резерва.

7. Метод оценки вклада собственных и сторонних потребителей, а также заводских электростанций в распределении мощности, потерь электроэнергии и её стоимости на основе расчёта потокораспределения.

На основе полученных теоретических результатов работы сформирован законченный комплекс научно обоснованных методов, алгоритмов, программ для расчёта и планирования эксплуатационных режимов на основе критерия минимума затрат на выработку, потребление и распределение электроэнергии в системах электроснабжения промышленных предприятий с собственной генерацией.

**Практическая значимость диссертации** заключается в разработке и внедрении правил принятия решений в процессе управления режимами системы электроснабжения крупного предприятия с собственными электростанциями. Снижение затрат, связанных с выработкой электроэнергии местными электростанциями, приобретением определенных объемов на розничном рынке и потерями электроэнергии в распределительных сетях предприятия, предлагается обеспечивать за счет внедрения методов и методик оптимизации режимов систем электроснабжения. Учитывать характеристики надежности предлагается в виде ограничений при разработке эксплуатационных режимов, что позволит снизить ущерб от ограничений и перерывов электроснабжения и от недовыработки электроэнергии местными электростанциями. Обеспечивать полную степень компенсации стоимости услуг по передаче электроэнергии сторонним потребителям предложено путем учета при разработке схемных и режимных мероприятий вклада заводских электростанций и сторонних потребителей в стоимость потерь. Разработанные методы, методики, алгоритмы реализованы в программном комплексе «КАТРАН» и использованы при выполнении 11 хозяйственно-договорных и четырех госбюджетных научно-исследовательских работ.

### **Степень достоверности результатов исследования**

Достоверность научных исследований и результатов диссертации подтверждается корректным использованием математического аппарата и апробированных математических пакетов обработки данных, подтверждается соответствием результатов теоретического анализа и вычислительных экспериментов применительно к реальным объектам, обсуждением положений и результатов работы на различных международных и всероссийских конференциях.

### **Оценка содержания диссертации и её завершенности**

Диссертация Малафеева А.В. изложена логически последовательно с обоснованием всех теоретических положений проведенными экспериментами и расчётами. Диссертационная работа включает 340 страниц машинописного текста и содержит введение, 6 глав, заключение, список литературы из 301 наименования, 183 рисунка и 44 таблицы. Диссертация содержит все необходимые элементы законченной научной работы: обоснование актуальности на основе анализа литературы; выбор инструментов исследования и разработка математических моделей и алгоритмов управления системами электроснабжения с собственной генерацией; обоснование новых показателей для оценки надёжности и эффективности систем электроснабжения предприятий с собственными электростанциями.

*Во введении* рассмотрена актуальность проблемы и степень ее разработанности, цель и задачи диссертационной работы, научная и практическая значимость, сведения об апробации и внедрении результатов, приведен перечень основных публикаций.

*В первой главе* содержится характеристика системы электроснабжения крупного энергоёмкого промышленного предприятия с собственными генерирующими мощностями, изложен подход к управлению режимами промышленной системы электроснабжения на основе ее системных свойств, проведен анализ научных публикаций, посвященных методам расчета, оптимизации и управления режимами электроэнергетических систем и систем электроснабжения, моделированию и прогнозированию электрических нагрузок, вопросам снижения затрат на передачу электроэнергии, надежности электроэнергетических систем и электрических сетей. Автором были проанализированы труды зарубежных и отечественных ученых, включая новейшие исследования.

*Во второй главе* автор приводит разработанный метод оптимизации режимов систем электроснабжения с местными промышленными электростанциями по критерию минимума затрат на производство, приобретение и передачу электроэнергии. Предложены экономико-математические модели генерирующего оборудования промышленных электростанций, учитывающие негладкость кривых затрат при использовании местных энергоресурсов. Для учета неопределенности автор предлагает использовать положения теории нечетких множеств. Рассмотрены особенности планирования оптимальных режимов на краткосрочном и среднесрочном периодах с учетом изменения цен на энергоносители.

*В третьей главе* автором рассматривается подход к математическому описанию электрических нагрузок подразделений промышленного предприятия, позволяющий учитывать их неопределенные свойства. Произведена оценка погрешности при использовании предложенного подхода, предложен способ оперативной оценки графика нагрузки по плановой производительности структурного подразделения.

*В четвертой главе* раскрывается метод расчета установившихся режимов промышленных систем электроснабжения, основанный на последовательном эквивалентировании схем замещения. Метод предполагает единый способ представления пассивных и активных элементов системы электроснабжения и обладает хорошей сходимостью при расчете эксплуатационных режимов независимо от сложности схемы.

*В пятой главе* рассмотрены вопросы повышения технико-экономических показателей электрических сетей системы электроснабжения. Автором изложена разработанная методика выбора оптимальных положений устройств регулирования напряжения силовых трансформаторов по критерию минимума потерь электроэнергии в сетях низшего напряжения с учетом износа переключателей. Для условий крупных предприятий, имеющих статус территориальных сетевых организаций, разработан и рассмотрен метод оценки вклада источников питания и потребителей в потокораспределение, потери и стоимость потерь электроэнергии, направленный на обеспечение полной компенсации затрат на передачу сторонним потребителям.

*В шестой главе* содержится разработанный соискателем метод определения показателей надежности, позволяющий оценивать для выбранной точки схемы оценивать, в зависимости от характера объекта, надежность электроснабжения, надежность выдачи мощности или надежность транзита в смежную сетевую организацию. При недостаточном объеме статистической информации о технологических нарушениях в системе электроснабжения автором предложено оценивать ущерб как нечеткую величину. Для определения ущерба от нарушения электроснабжения технологически связанных потребителей в работе использованы правила нечеткого вывода.

*В заключении* сформулированы выводы, которые соответствуют целям и задачам, поставленным в работе.

#### **Соответствие паспорту специальности**

Диссертация Малафеева А.В. соответствует паспорту научной специальности 2.4.2. «Электротехнические комплексы и системы» по следующим направлениям исследований:

П.1. Анализ системных свойств и связей, математическое и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем, включая системы электроснабжения.

П.2. Разработка научных основ эксплуатации электротехнических комплексов, систем.

П.3. Оптимизация электротехнических комплексов, систем, разработка алгоритмов эффективного управления.

П.4. Исследование качества функционирования электротехнических комплексов, систем в различных режимах.

## **Публикации**

Основные результаты диссертации обсуждены на международных и всероссийских научно-технических конференциях и семинарах. Материалы диссертации опубликованы в 55 статьях, в том числе 23 статьи в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК по специальности 2.4.2 (технические науки), 7 в изданиях, индексируемых Web of Science и Scopus; издано 2 монографии, получено 5 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ и баз данных.

## **Качество оформления диссертации**

Оформление диссертационной работы соответствует всем требованиям ВАК Министерства науки и высшего образования России, предъявляемым к докторским диссертациям. Текст работы написан с использованием общепринятой научной и технической терминологии, логически построен. Содержание автореферата полностью коррелирует с содержанием диссертации.

## **На обсуждение предлагается вынести следующие основные замечания и вопросы по диссертационной работе**

1. Существующее формирование тарифов на электроэнергию направлено на достижение общего социального экономического эффекта. Исходя из этого обеспечивается оптимизация режимов электроэнергетических систем и соответствующая минимизация затрат потребителей на электроэнергию. Однако загрузка собственных электростанций крупных промышленных предприятий (в том числе градообразующих), участвующих в формировании региональных тарифов, в основном отвечает экономическим интересам таких потребителей.

Каким образом, на Ваш взгляд, должен при этом достигаться общий социальный экономический эффект? Справедлива ли эта идея на таких региональных рынках?

2. В главе 2 диссертации при постановке задачи оптимизации в форме выражения (2.1) одной из составляющих является математическое ожидание ущерба. В последующем автор переходит к детерминированной форме (выражение (2.2)) в условиях ограничений, предполагающей исключение математического ожидания ущерба.

Однако каким образом автор видит варианты решения оптимизационной задачи в соответствии с выражением (2.1)?

3. В главе 5 исследуется возможность снижения затрат, связанных с потерями мощности в системе промышленного электроснабжения, путем выбора оптимальных положений устройств регулирования напряжения силовых трансформаторов (РПН) в сетях низшего напряжения с учетом износа переключателей. Используется понятие «жизненного цикла актива» и обосновывается, что целесообразность эксплуатации РПН в режиме суточного регулирования будет определяться количеством переключений.

Однако автором предлагается упрощенный подход, не учитывающий ряд важных обстоятельств. Во-первых, РПН является одним из наиболее повреждаемых элементов оборудования (обычно при переключениях), а риски от его повреждения необходимо

учитывать в стоимости актива. Во-вторых, автор не учитывает в стоимости актива необходимость проведения планово-предупредительных ремонтов, частота которых зависит от количества переключений РПН. Соответственно при частых переключениях возрастает объем ремонтных работ и длительность вывода оборудования из работы.

4. В шестой главе диссертации при определении ущерба не выделяется составляющая, обусловленная фактом нарушения питания, и составляющая, обусловленная продолжительностью перерыва питания.

5. В п.6.2 не вполне понятно, включает ли в себя вероятность безотказной работы вероятность отказа вторичных устройств (в частности, неисправность или неверный выбор уставок релейной защиты)?

6. При оценке производственных рисков (п.6.6.) нет каких-либо рекомендаций по выбору количества элементов терм-множества лингвистических значений ущерба.

7. В п.6.7.2 при выборе стратегии реконструкции, судя по всему, не учтены капиталовложения, только ущерб. В диссертации это никак не обосновывается.

8. Основные редакционные замечания:

– в блок-схеме принятия решений при планировании режимов с учетом показателей надежности (рис. 6.12) присутствует блок «Расчет эквивалентных показателей надежности узлов связи», однако далее в работе он никак не конкретизируется;

– не пояснены введенные сокращения на рисунке 2 автореферата;

– сокращение «А.с.» в списке литературы не соответствует «Свидетельствам о регистрации программ для ЭВМ».

### **Заключение по диссертационной работе**

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации Малафеева А.В., которая представляет в целом законченную научно-квалификационную работу, отражающую результаты многолетних исследований автора по разработке новых методов и алгоритмов управления системами электроснабжения предприятий с собственной генерацией. Автореферат в должной степени соответствует содержанию диссертации.

Тема диссертации тесно связана с работами, выполненными автором в рамках целевых программ и государственных контрактов, а также научно-исследовательских хоздоговорных работ. Диссертация прошла апробацию на многих международных и российских конференциях. Количество публикаций соответствует требованиям ВАК на соискание учёной степени доктора технических наук.

Содержание диссертации полностью соответствует паспорту специальности 2.4.2. «Электротехнические комплексы и системы».

На основании изложенного считаю, что представленную диссертационную работу по уровню научной новизны, значимости теоретических и практических результатов, разработанных и внедрённых автором, можно квалифицировать как решение крупной научной задачи, имеющей важное хозяйственное значение.

Диссертация Малафеева А.В. полностью отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства от 24 сентября 2013 г. №842 (ред. от 11.09.2021).

Автор диссертации Малафеев Алексей Вячеславович заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 2.4.2. «Электротехнические комплексы и системы»

**Официальный оппонент:**

доктор технических наук,  
профессор кафедры «Электроэнергетика,  
электроснабжение и силовая электроника»  
ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»,  
профессор

Александр Леонидович Куликов



«14» декабря 2023г.

Контактные данные: 603074, г. Нижний Новгород, Сормовское шоссе, д. 12, кв. 19,  
тел. +7 (910) 791-26-56. E-mail: inventor61@mail.ru

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Нижегородский  
государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева».

Адрес организации: 603950, Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24.

Телефон: (831) 436-23-25.

Факс: (831) 436-94-75.

E-mail: nntu@nntu.ru.

Верно:  
Ученый секретарь  
Ученого совета ННТУ



Ц. И. Мерзиев