

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор ФГБОУ ВО «Приволжский
государственный университет путей
сообщения» (ПривГУПС)

доктор экономических наук, доцент



М.А. Гаранин

В диссертационный совет 99.2.140.02 при
ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет» (КНАГУ),
681013, Хабаровский край,
г. Комсомольск-на-Амуре,
проспект Ленина, 27

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Приволжский государственный университет путей сообщения» на диссертационную работу Пуховой Анастасии Игоревны «Повышение эффективности работы ЛЭП на основе комплексной модели нагрузочной способности провода», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы (технические науки)

1. Актуальность темы диссертационной работы

Государственная энергетическая политика регламентируется Энергетической стратегией РФ, последняя редакция которой (до 2035 года) была утверждена Правительством в 2020 году. Среди ключевых направлений развития отрасли особое внимание уделяется вопросам энергоэффективности. В контексте работы электросетевого хозяйства центральное значение приобретает показатель пропускной способности - предельной мощности передачи без нарушения технических ограничений оборудования.

Нормативная база (приказы Минэнерго РФ №340 от 23.07.2012 и №102 от 13.02.2019) устанавливает требования по предоставлению собственниками энергооборудования данных об аварийно-допустимых токовых нагрузках (АДТН) для системного оператора. Регламент распространяется на воздушные и кабельные линии электропередачи с указанием временных диапазонов (10 с, 1 и 20 мин). Однако существующие методические подходы не охватывают расчеты кратковременных перегрузок (менее 20 минут), что создает существенный пробел в системе оперативно-диспетчерского управления.

Для решения данной проблемы необходимо сформировать математическую модель, которая позволит определять допустимые токи в заданных эксплуатационных условиях, т.е. при текущих значениях температуры воздуха и режиме работы электрической сети, оперативно и точно. Предлагаемый подход должен обеспечить переход от статических нормативных показателей к динамической системе оценки пропускной способности в реальных условиях эксплуатации.

Актуальность работы подтверждается необходимостью контроля нагрузки линий электропередач, в условиях ее динамики в режиме реального времени, в тенденции общего роста распределяемых мощностей.

Таким образом, тема и задачи диссертационной работы Пуховой А.И. «Повышение эффективности работы ЛЭП на основе комплексной модели нагрузочной способности провода» актуальны и имеют практическое значение.

2. Структура и содержание диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка литературы, имеющего 121 наименование и 3 приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 169 страниц, включая 30 рисунков, 13 таблицы и 55 страницы приложений.

Во введении представлена общая структура исследования, обоснована значимость выбранной темы диссертационной работы, определены цели и задачи научного исследования, а также изложены ключевые положения, выносимые на защиту. Приведена оценка степени достоверности результатов, а также указаны данные об апробации и практическом применении полученных результатов.

В главе 1 проведен анализ влияния развития электроэнергетической отрасли в условиях изменения внешних факторов эксплуатации сети на тепловые процессы в проводах ЛЭП. Рассмотрен рост электропотребления в мире и России, что требует строительства новых генерирующих мощностей и сетей. Однако их создание сталкивается с трудностями и не всегда успевает за спросом. Кроме того, электрические сети и генерация имеют длительный срок эксплуатации, что приводит к необходимости плановых ремонтов. Проанализировано увеличение вероятности возникновения аварийных ситуаций при частичных отключениях в распределительных сетях. Рассмотрены основные требования в соответствии с приказом Минэнерго РФ №102 от 13.02.2019, регулирующим предоставление данных для диспетчерского управления. Обозначена необходимость создания адаптивной методики расчёта допустимой токовой нагрузки. Представлена зависимость изменения величины протекающего тока от температуры провода.

Рассмотрены методы прямого и косвенного измерения. Описаны сложности внедрения прямого мониторинга в России из-за высоких затрат, сложного климата, больших расстояний и отсутствия связи в малонаселённых районах. Косвенные методы, такие как уравнение теплового баланса, более практичны, так как обеспечивают точность без сложного оборудования. В данной работе, автор отдаёт предпочтение именно этому подходу.

Во 2-ой главе были выявлены ключевые факторы, требующие обязательного учета. В условиях неопределенности ряда параметров установлен минимально необходимый набор учитываемых величин, включающий температуру окружающего воздуха и интенсивность солнечной радиации. Эти параметры признаны наиболее значимыми для обеспечения адекватности и точности расчетов. На основании проведенного анализа было сформулировано уравнение теплового баланса провода, комплексно учитывающее: параметры окружающей среды; температурную зависимость сопротивления и теплоемкости материалов; конструктивные особенности сталеалюминиевых проводов. Разработанный подход обладает определенным преимуществом – позволяет получить математические зависимости для определения температуры провода в функции времени действия тока, что обеспечивает высокую точность расчетов (заявленное отклонение составило 5%).

В 3 главе рассмотрено определение параметров уравнения теплового баланса с помощью экспериментального нагрева провода. В ходе исследований был разработан специализированный испытательный стенд, позволяющий изучать тепловые процессы в проводах воздушных линий электропередачи. Стенд оснащен системой автоматизированного контроля, обеспечивающей точное измерение температуры воздуха, температуры провода и регулировку заданного тока. Экспериментальным путем были получены математические зависимости, описывающие динамику тепловых процессов для различных марок проводов ЛЭП, находившихся в эксплуатации. Особое внимание уделялось уточнению коэффициентов теплоотдачи в уравнении теплового состояния - эти параметры определялись на специально сконструированном стенде, максимально приближенном к реальным эксплуатационным условиям. Для проверки достоверности теоретических расчетов проведен комплекс испытаний на экспериментальном стенде. Результаты испытаний подтвердили высокую точность полученных данных - погрешность для всех исследуемых марок проводов не превысила 5%. Сопоставление данных математического моделирования и экспериментальных результатов позволило сделать вывод о практической применимости разработанной методики в реальных условиях эксплуатации.

В 4 главе описан полученный в рамках работы алгоритм, позволяющий автоматизировать расчеты различных режимов работы электрической сети с учетом разнообразных условий эксплуатации. Этот алгоритм обеспечивает высокую точность вычислений и адаптирован для решения практических задач энергокомпаний. Параллельно создана комплексная база данных критических токовых значений для проводов воздушных линий электропередачи. Данная разработка позволяет владельцам сетевого хозяйства оперативно определять и передавать информацию о длительно допустимых и аварийно-допустимых нагрузках на свои линии, что полностью соответствует требованиям нормативных документов и приказов регулирующих органов. На основе разработанного алгоритма создан специализированный программный продукт, реализованный в среде «1С:Предприятие». Данное решение предоставляет электросетевым компаниям удобный инструмент для определения допустимых нагрузок различной продолжительности на объектах эксплуатации. Особую значимость имеет возможность точного расчета этого ключевого показателя, непосредственно определяющего предельную пропускную способность линий электропередачи в действующих условиях окружающей среды.

3. Новизна исследований и полученных результатов, выводов и рекомендаций

Автор определил цель своей работы, заключающейся в повышение эффективности работы ЛЭП за счёт создания комплексной модели нагрузочной способности провода с учётом времени действия токовых нагрузок, климатических условий по критериям сохранения механической прочности и допустимого габарита.

В соответствии с поставленной целью корректно сформулированы задачи исследования, которые решены в результате проделанной работы.

Диссертационная работа Пуховой А.И. обладает научной новизной, которая заключается в следующем:

Разработанный комплексный аналитический метод решения дифференциального уравнения теплового баланса нестационарного теплового режима для неизолированных проводов, отличается тем, что направлен на одновременную оценку механической прочности провода и изменения стрелы провеса в габарите ЛЭП.

Предложенные комплексная модель и алгоритм расчёта температуры проводов с определением критических токовых нагрузок воздушных линий электропередачи разной длительности с учетом климатических факторов, позволяет

оценить потенциал пропускной способности линий электропередачи в действующих условиях окружающей среды.

Все основные результаты диссертации достаточно полно отражены в научных публикациях, а также прошли апробацию на международных научных конференциях.

4. Значимость для науки и производства полученных результатов

Проведенное исследование имеет существенное теоретическое значение, заключающееся в развитии методологии расчета температурных параметров проводов, а именно:

1. Создан испытательный стенд для изучения тепловых процессов в проводах, пропускающих ток, с автоматизированным контролем температуры окружающего воздуха, температуры провода и задаваемого тока, с обработкой, синхронизацией и цифровизацией аналоговых сигналов с датчиков, позволяющий повысить точность результатов экспериментов, влияющих на достоверность параметров математической модели, используемой в дальнейшем для контроля работы ЛЭП.

2. Разработан программный продукт для автоматизации расчетов, позволяющий оценить различные режимы работы электрической сети при различных условиях эксплуатации.

3. Создана база данных критических токовых значений проводов воздушных линий электропередачи, позволяющая повысить эффективность использования электрических сетей без увеличения риска выхода их из строя из-за превышения допустимых токовых нагрузок.

5. Степень обоснованности и достоверности научных положений; выводов и заключения соискателя, сформулированных в диссертации

Достоверность выносимых на защиту научных положений и выводов диссертационной работы подтверждаются высокой сходимостью полученных результатов математического моделирования с данными, полученными по результатам измерений на испытательном стенде.

Теоретические и экспериментальные исследования проведены на основе методов теории теплопередачи, элементы теории электрических цепей, численные методы решения дифференциальных уравнений. Моделирование тепловых процессов в проводе проводилось на экспериментальном стенде. В работе были применены следующие программные продукты: Microsoft Excel, LabView, Mathcad, 1С: Предприятие.

Обоснованность и достоверность полученных результатов и выводов диссертации подтверждаются следующим: результаты теоретических и практических исследований приняты к использованию в ОАО «РЖД», АО «ДРСК» и ДВГУПС. Научные результаты диссертационного исследования применялись при выполнении ряда научно-исследовательских работ, а также в ходе реализации учебного процесса.

6. Публикации и апробация результатов работы

Основное содержание диссертации Пуховой А.И. опубликовано в 15 печатных работах, в том числе 6 - в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, трёх свидетельствах интеллектуальной собственности. Сформулированные положения, выводы и рекомендации не противоречат опубликованным литературным данным.

Основные положения диссертации апробированы, докладывались и получили одобрение на международных научно-практических конференциях, в том числе на III Международном научно-образовательном форуме "Хэйлунцзян-Приамурье", Биробиджан, 2019 год; конкурсе студенческих научных работ в области инноваций и технического творчества научно-исследовательской программы XXV Юбилейного Хабаровского краевого открытого фестиваля «Студенческая весна – 2019» Хабаровск, 2019 год; молодёжном конкурсе инновационных проектов, Хабаровск, 2019 год; всероссийской научно-практической конференции творческой молодёжи с международным участием «Научно-техническое и социально-экономическое развитие транспорта и промышленности стран АТР» Хабаровск, 2022 год; XXV Краевом конкурсе молодых ученых и аспирантов, Хабаровск, 2023 год; «Производственные технологии будущего: от создания к внедрению», КнАГУ, г. Комсомольск-на-Амуре.

7. Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям

Из приведенного выше следует, что тема диссертационной работы актуальна, полученные результаты обладают необходимой новизной, очевидна их значимость для науки и производства. Сформулированные положения, выводы и заключения обоснованы и достоверны. Полученные результаты соответствуют поставленной цели.

Основное содержание диссертации, а также научные положения, вынесенные на защиту, достаточно полно отражены в опубликованных работах. Диссертация соответствует специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы (технические науки), поскольку в ней рассматриваются вопросы повышения

эффективности функционирования линий электропередачи – основного элемента комплекса распределения электроэнергии.

Предложенные автором математические модели, алгоритмы расчёта, а также экспериментальный стенд могут найти применение при исследовании тепловых процессов в различных электротехнических устройствах, а также при расчёте их допустимых токовых нагрузок.

Материалы диссертации, модели, алгоритмы и принципы могут быть использованы в ОАО «РЖД», АО «ДРСК» и других организациях при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения.

8. Основные достоинства и недостатки по содержанию диссертации

Полученные результаты в диссертационной работе обладают новизной и имеют теоретическое и практическое значение. Выполненная работа продолжает цикл исследований в области тепловых процессов в сетях ФГБОУ ВО ДВГУПС.

С положительной стороны можно отметить внутреннее единство работы, которое основано на цели совершенствования повышение эффективности работы ЛЭП за счёт создания комплексной модели нагрузочной способности провода с учётом времени действия токовых нагрузок, климатических условий по критериям сохранения механической прочности и допустимого габарита.

К недостаткам по содержанию диссертации и автореферата можно отнести следующее:

- на стр.32 указано : «За счёт увеличения теплоёмкости установившаяся температура провода уменьшается. Поэтому необходимо учитывать этот момент в уравнении теплового баланса, так как это объективно увеличивает значение допустимого тока». Однако теплоемкость не влияет на значение установившейся температуры, а только на время переходного процесса;

- на стр.42 Рисунок 2.2 приведен график величины ошибки между расчётной и реальной температурой провода. При этом нет пояснений, что означает применение двух цветов на графике и анализа причин значительного увеличения ошибки в диапазоне 5-10 м/с относительно других диапазонов;

- стр.47-59 приведено избыточное описание компонентов стенда, содержащее информацию, не влияющую на результаты исследований;

- в работе не представлено, как учитываются варианты условий прохода расчетной ЛЭП, включая изменения допустимых габаритов относительно рядом расположенных объектов и разных длин пролетов.

По результатам обсуждения диссертации «Повышение эффективности работы ЛЭП на основе комплексной модели нагрузочной способности провода» принято следующее заключение.

9. Заключение

Представленная диссертационная работа написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты, отличается достаточно хорошим уровнем, а выдвигаемые для публичной защиты положения имеют важное научное и практическое значение.

Полученные результаты соответствуют поставленной цели. Основная роль в анализе информации, получении и обработке данных, разработке технико-технологических решений, а также анализе и обобщении результатов принадлежит автору работы. Обсуждение и интерпретация полученных результатов проведена совместно с научным руководителем и соавторами публикаций. Автореферат отражает содержание диссертации. Диссертация соответствует научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы (технические науки).

Диссертационная работа Пуховой Анастасии Игоревны «Повышение эффективности работы ЛЭП на основе комплексной модели нагрузочной способности провода» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новое решение: комплексная модель расчёта температуры проводов с определением критических токовых нагрузок воздушных линий электропередачи разной длительности с учетом климатических факторов; алгоритм расчёта допустимой токовой нагрузки с учётом механической прочности провода и допустимого габарита; испытательный стенд для изучения тепловых процессов в проводе с автоматизированным контролем температуры окружающего воздуха, температуры провода и задаваемого тока, с обработкой, синхронизацией и цифровизацией аналоговых сигналов с датчиков; программный продукт для автоматизации расчетов, позволяющий оценить различные режимы работы электрической сети при различных условиях эксплуатации. Новые результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки и практики.

Представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а её автор Пухова Анастасия Игоревна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы (технические науки).

Заведующий кафедрой
«Электроснабжение
железнодорожного транспорта»
ФГБОУ ВО «Приволжский
государственный университет путей
сообщения»,
кандидат технических наук, доцент

Профессор кафедры
«Электроснабжение
железнодорожного транспорта»
ФГБОУ ВО «Приволжский
государственный университет путей
сообщения»,
доктор технических наук, профессор

М.А. Гаранин

