

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
**Варыгиной Александры Олеговны** на тему «**Разработка методики выбора проводов для линий электропередачи в активно-адаптивных сетях**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика

### 1. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

В условиях реализации Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года одной из приоритетных задач развития электроэнергетического комплекса является цифровая трансформация и переход к концепции активно-адаптивных сетей (ААС). Интеллектуализация энергосистем, интеграция объектов распределенной генерации (в том числе на базе возобновляемых источников энергии), а также появление активных потребителей принципиально изменяют характер функционирования электрических сетей. Формируются многонаправленные, высокодинамичные потоки мощности, что приводит к систематической неравномерности графиков электрических нагрузок и усложнению режимов работы линий электропередачи (ЛЭП). В этих условиях электрические сети приобретают новые функциональные свойства, объективно требующие пересмотра классических, устоявшихся десятилетиями подходов к их проектированию.

Существующая нормативно-техническая база, регламентирующая выбор сечений проводов воздушных линий по экономической плотности тока или экономическим интервалам, формировалась преимущественно во второй половине прошлого века для условий традиционной (пассивной) сети. Опыт эксплуатации убедительно показывает, что применяемые сегодня методы не отвечают современным жестким требованиям к энергетической эффективности магистрального и распределительного электросетевого комплекса. Традиционные подходы не способны в полной мере учесть сложный комплекс климатических и макроэкономических факторов, динамику процессов теплообмена провода с окружающей средой, а главное – стохастический характер протекания токов, присущий активно-адаптивным сетям. Как следствие, принимаемые проектные решения зачастую приводят либо к избыточной материалоемкости строительства, либо к формированию «узких мест» со сниженной пропускной способностью, что влечет необоснованный рост технологических потерь электроэнергии и снижение системной надежности.

Ситуация дополнительно осложняется стремительным технологическим прогрессом в электротехническом материаловедении: на отечественном и мировом рынках появилось широкое номенклатурное многообразие марок проводов нового поколения (ПНП), в частности высокотемпературных проводов с компо-

зитными сердечниками, компактированных проводов профилированного сечения и т.д. Их конструктивные, тепловые, аэродинамические и механические характеристики кардинально отличаются от широко применяемых традиционных сталелюминиевых проводов (типа АС). Классические методики неприменимы для адекватной технико-экономической оценки ПНП, поскольку они не позволяют корректно обосновать компенсацию повышенных капитальных затрат за счет резкого снижения эксплуатационных издержек и увеличения предела передаваемой мощности на протяжении всего жизненного цикла ЛЭП.

Исходя из вышеизложенного, научно-практическая задача разработки комплексной, современной методики выбора марки и сечения провода (включая ПНП), которая базировалась бы на детальных моделях теплообмена и напрямую учитывала новые свойства и стохастичность ААС, имеет существенное значение для повышения эффективности транспорта электроэнергии. Таким образом, тема диссертационного исследования Варыгиной А.О. является актуальной, своевременной и крайне востребованной проектными и электросетевыми организациями.

## **2. НАУЧНАЯ НОВИЗНА ПОЛОЖЕНИЙ**

В диссертационной работе Варыгиной А.О. решена важная научно-техническая задача обеспечения оптимальных условий транспорта электроэнергии путем разработки нового инструментария для выбора проводов ЛЭП. Научной новизной обладают следующие полученные автором результаты:

- предложена обобщенная тепловая модель провода, развивающая концепцию СИГРЭ, учитывающая сложный теплообмен с окружающей средой и применимая к проводам любой конструкции;
- разработана интегрированная технико-экономическая модель провода, учитывающая как новые свойства ААС, так и стохастический характер токовой нагрузки во времени;
- предложен оригинальный метод многокритериального выбора оптимальной марки провода и метод определения оптимального сечения на основе разработанной экономической модели;
- впервые разработана комплексная методика выбора провода с оптимальными параметрами для ЛЭП напряжением выше 1 кВ, обобщающая ограничения и требования к воздушным ЛЭП в условиях перехода к ААС.

## **3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Теоретическая значимость исследования заключается в развитии основ проектирования электроэнергетических систем: автором создан новый методический подход к выбору конфигурации элементов сети, адаптированный к условиям неопределенности и стохастичности активно-адаптивных сетей.

Практическая значимость работы выражается в получении интегрированного экономического эффекта на всем сроке службы ЛЭП за счет повышения пропускной способности, снижения потерь электроэнергии и минимизации эксплуатационных затрат. Разработанные модели и методы доведены до стадии практической реализации и уже внедрены в производственную деятельность АО «Дальневосточная распределительная сетевая компания» (АО «ДРСК»), что подтверждено соответствующими актами.

#### **4. ОБОСНОВАННОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ ВЫВОДОВ**

Обоснованность научных положений подтверждается корректным применением методов системного анализа, теории теплопередачи, методов принятия решений и математического моделирования электрических сетей. Достоверность полученных результатов доказана сходимостью результатов верификационных расчетов электрических режимов и процессов нагрева проводов, выполненных для реальных ЛЭП, с паспортными данными заводов-изготовителей, а также сопоставлением с существующими методами.

#### **5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ О СООТВЕТСТВИИ ДИССЕРТАЦИИ УСТАНОВЛЕННЫМ КРИТЕРИЯМ**

Диссертация Варыгиной А.О. отвечает критериям пунктов 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842. Работа написана самостоятельно, обладает внутренним единством и содержит новые научные результаты. Основные результаты исследования полно отражены в 10 печатных трудах, включая 4 публикации в изданиях из перечня ВАК и 3 — в международных базах цитирования (Scopus / Web of Science).

Текст автореферата полностью соответствует содержанию диссертации. Тематика исследований полностью соответствует паспорту специальности 2.4.3. Электроэнергетика, в частности пунктам 9 и 17.

#### **6. АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ**

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и 7 приложений.

В первой главе выполнен анализ тенденций развития электроэнергетики, выявлены системные проблемы традиционных методов выбора проводов и показана необходимость учета специфики активно-адаптивных сетей.

Во второй главе проведено развитие тепловой модели провода для расчета допустимых длительных токов проводов любого конструктивного исполнения (в том числе ПНП) с учетом внешних климатических и географических факторов.

В третьей главе подробно описана интегрированная технико-экономическая модель, учитывающая стохастическую природу графиков тока и удельные дисконтированные затраты. Предложены и обоснованы универсальные факторы сопоставимости вариантов.

В четвертой главе представлена сформированная итоговая методика выбора провода с оптимальными параметрами. Приведены убедительные примеры практической реализации разработанного подхода на реальных участках сети, что подтверждает высокую технико-экономическую целесообразность предложенного аппарата.

## 7. ВОПРОСЫ И ЗАМЕЧАНИЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ ДИССЕРТАЦИИ

При высокой оценке диссертационной работы Варыгиной А.О., по тексту диссертации и автореферата имеются следующие вопросы и замечания:

1. В главе 2 автором детально проработана обобщенная тепловая модель, учитывающая числа Нуссельта, Рейнольдса и Грасгофа для стационарных режимов теплообмена. Однако для активно-адаптивных сетей с высокой волатильностью нагрузки критически важной является оценка переходных тепловых процессов. В автореферате и диссертации недостаточно ясно отражено, учитывается ли тепловая инерция (постоянная времени нагрева) провода при оценке пиковых краткосрочных перегрузок, характерных для ААС, или расчет ДДТ ведется только по условиям стационарного теплового баланса?

2. В главе 3 при описании формирования суточных графиков нагрузки автор справедливо указывает на стохастический вид случайных процессов. Вместе с тем, в условиях ААС с высокой долей ВИЭ профиль генерации и перетоков мощности приобретает ярко выраженный негауссовский характер с вероятностью резких скачков. Уточните, насколько предложенный аппарат прогнозирования графиков устойчив к интеграции стохастической распределенной генерации?

3. В работе подчеркивается возможность получения интегрированного эффекта: замена традиционного провода на ПНП без замены опор с увеличением пропускной способности. При нагреве ПНП до высоких рабочих температур (150–200 °С) возникает существенная проблема изменения стрелы провеса. Является ли проверка габаритов линии до земли ограничивающим фактором внутри итерационного алгоритма выбора сечения? Как предложенная методика формализует проверку на допустимую стрелу провеса в критических тепловых режимах для проводов с композитными сердечниками, линейное расширение которых принципиально отличается от АС?

4. Рассматривая экономическую целесообразность, автор доказывает неэффективность применения укрупненных стоимостных показателей для оценки капитальных вложений. В приложении В обосновывается расчет по текущим ценам

на провод. Однако при реконструкции ВЛ замена провода на высокотемпературный часто влечет за собой необходимость замены линейной арматуры (натяжных и поддерживающих зажимов), которая для ПНП (особенно композитных) стоит существенно дороже стандартной. Учитывается ли стоимость специфической арматуры в целевой функции удельных дисконтированных затрат при сравнении альтернатив?

5. Пункт 4.5.1, на мой взгляд, имеет неудачную структуру изложения материала. Графики, отражающие зависимости УДЗ от тока для различных сечений, а также таблицы с токовыми диапазонами (рисунок 4.11, таблица 4.24), представлены до проверки этих сечений на соответствие требованиям по механической прочности и термической стойкости. Логика технико-экономического проектирования подсказывает, что параметрическая оптимизация (поиск минимума УДЗ) должна проводиться внутри множества уже технически допустимых решений.

6. При описании экспертного метода выбора оптимальной марки провода и построении матриц парных сравнений (таблицы 4.9–4.11) применена балльная оценка с использованием дробных и целых величин (1, 3, 5, 1/7 и т.д.). Автору следовало бы в тексте более четко оговорить и сослаться на исходную шкалу качественных оценок, что повысило бы изначальную прозрачность формирования весовых коэффициентов.

Приведенные замечания и вопросы не снижают высокой положительной оценки диссертационной работы, поскольку существенно не влияют на основные выводы, а также полученные научные и практические результаты.

## **8. ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Диссертационная работа Варыгиной А.О. является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, обладающей актуальностью, научной новизной, теоретической и практической значимостью полученных результатов. В ней решена важная научная и практическая задача, заключающаяся в разработке инструментария и методики выбора провода с оптимальными параметрами для ЛЭП напряжением выше 1 кВ в активно-адаптивных сетях.

Полученные соискателем результаты базируются на корректном использовании основных положений теории математического и технико-экономического моделирования, что позволяет сделать вывод о полном соответствии диссертационной работы паспорту научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика (п. 9, п. 17). Содержание диссертационной работы подробно отражает последовательность решения поставленных задач. Текст изложен грамотным техническим языком. Сделанные в работе выводы и сформулированные рекомендации аргументированы.

Автореферат диссертации Варыгиной А.О. полностью соответствует тексту диссертационной работы по основным квалификационным признакам: цель, задачи исследования, основные положения, выносимые на защиту, актуальность,

научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов. Основные результаты диссертации изложены с достаточной полнотой в 10 печатных научных работах.

В целом диссертационная работа Варыгиной Александры Олеговны на тему «Разработка методики выбора проводов для линий электропередачи в активно-адаптивных сетях», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, обладает научной новизной и практической значимостью. По своему теоретическому уровню и практическому значению работа отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а именно критериям пунктов 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (с изменениями и дополнениями), а ее автор, Варыгина Александры Олеговна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика.

#### ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ,

кандидат технических наук, старший научный сотрудник  
отдела электроэнергетических систем

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева

Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН),

Томин Никита Викторович

19 марта 2026 г.

Тел. (моб): +7(950) 058-71-12

E-mail: tomin.nv@gmail.com

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН)

Адрес: 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 130

Тел.: +7(3952) 500-646

E-mail: info@isem.irk.ru



Подпись \_\_\_\_\_ / расшифровка \_\_\_\_\_  
19 03 2026 г.