



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Иркутский
государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ
ВО ИРГУПС)

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. проректора по научной работе
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Иркутский государственный
университет путей сообщения»,
канд. техн. наук
Димов Алексей Владимирович



02 2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Варыгиной Александры Олеговны «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 исследования

Современное развитие электроэнергетики в контексте внедрения технологий Индустрии 4.0 и перехода на платформу интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС) меняет электрическую сеть и наделяет ее новыми функциональными свойствами, такими как: изменение конструктивного исполнения, применение новых технологий транспорта электроэнергии, повышение управляемости режимов работы, адаптивное управление потоками активной и реактивной мощности, повышенная пропускная способность связей, неопределенность электропотребления, цифровая трансформация. Изменения в отрасли, в том числе увеличение количества инновационных технических решений, которые влияют на выбор провода воздушных линий электропередачи (ЛЭП), не обеспечены в полной мере методическими подходами, методами, и методиками проектирования.

Существующие методический подход к выбору проводов и методы выбора сечения проводов воздушных ЛЭП не учитывают новые

функциональные свойства электрической сети, так как в их основу не заложено динамическое изменение конструкций и стоимости проводов, условий функционирования электрических сетей. Отсутствует метод выбора марки провода любой конструкции по совокупности технических и экономических критериев, несмотря на появление большого разнообразия марок проводов, существенно отличающихся по физико-техническим характеристикам и параметрам. Возникла необходимость в разработке современного принципиально иного методического подхода и основанных на нем метода и методики выбора марки и сечения провода, применимых как для активно-адаптивной сети, так и для традиционной электрической сети. Учитывая вышеизложенное, рост энергопотребления в России и мире, а также необходимость повышения пропускной способности и энергетической эффективности ЛЭП в современных условиях, тема диссертации Варыгиной Александры Олеговны, посвященная исследованию выбора проводов воздушных ЛЭП, является актуальной.

2. Научная новизна диссертационного исследования состоит в следующем:

1. Обоснована необходимость в разработке новых методического подхода, методов и методики выбора проводов, обеспечивающих оптимальные условия эксплуатации ЛЭП в активно-адаптивных сетях.

2. Предложены обобщенная тепловая модель неизолированного провода и ее инженерная реализация для расчета допустимых длительных токов, позволяющие учитывать конструктивные особенности неизолированных проводов и процессы сложного теплообмена между проводом и окружающей средой.

3. Разработана интегрированная технико-экономическая модель провода, применимая к неизолированным проводам различной конструкции и способная учитывать изменения, происходящие в электросетевом комплексе, в том числе при переходе на ААС.

4. Обоснована необходимость применения универсальных факторов сопоставимости вариантов выбора провода и предложен их перечень для учета конструктивных отличий проводов при их сравнении.

5. Предложен метод выбора оптимальной марки провода, позволяющий на основе многокритериального анализа выбирать не только оптимальную марку, но и диапазон ее сечений с учетом выполнения условий размещения ЛЭП.

6. Разработан метод выбора оптимального сечения провода, применимый для активно-адаптивных сетей и традиционных, основанный

на определении оптимальной области токов для каждого сечения выбранной марки провода и учитывающий актуальные экономические условия, стохастический характер протекания тока по проводу, его нагрев, конструктивные особенности ЛЭП.

7. Разработана методика выбора провода с оптимальными параметрами, обеспечивающая совокупный выбор оптимальных марки и сечения провода на основе предложенного методического подхода для выбора проводов воздушных ЛЭП номинальным напряжением выше 1 кВ.

3. Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация объемом 224 страницы состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 168 наименований, семи приложений, основной текст изложен на 179 страницах.

Во *введении* обоснована актуальность работы, сформулированы ее цель и задачи, отражены научная новизна, практическая значимость результатов, внедрение и апробация полученных результатов, сформулированы выносимые на защиту положения, дано краткое содержание работы.

В *первой главе* представлен глубокий и систематизированный анализ современного состояния проблемы выбора проводов ЛЭП по следующим направлениям: инновационное развитие электрических сетей напряжением выше 1 кВ; конструктивное исполнение неизолированных проводов воздушных ЛЭП, в том числе проводов нового поколения; методические подходы и методы выбора сечения проводов воздушных ЛЭП; соответствие нормативно-методической базы по выбору марки и сечений проводов воздушных ЛЭП современным условиям функционирования и развития электрических сетей. Важным результатом главы является выявление новых функциональных свойств электрической сети, влияющих на выбор проводов ЛЭП, а также обоснование необходимости внесения изменений в нормативно-правовую и методическую базы по выбору оптимальных марки и сечения провода.

Вторая глава посвящена разработке тепловой модели провода нового поколения. На основе проведенного анализа методических подходов к реализации тепловой модели провода, автором предложена обобщенная тепловая модель неизолированного провода в развитие теплового расчета провода по руководству Международного совета по большим электрическим системам высокого напряжения (СИГРЭ). Предложенная модель позволяет более точно учитывать конструктивные

особенности провода и условия прохождения трассы. Исследование параметров полученной модели для расчета допустимых длительных токов (ДДТ) проводов любой конструкции позволило получить практические рекомендации и инженерную реализацию расчета ДДТ.

В *третьей главе* автором разработана интегрированная технико-экономическая модель (ИТЭМ) провода любой конструкции, не имеющая аналогов и способная учитывать изменения, происходящие в электросетевом комплексе, в том числе при переходе на ААС. Особенности данной модели являются: возможность применения для любого конструктивного исполнения провода и ЛЭП, учет современных экономических условий, стохастического характера тока линии и процессов сложного теплообмена между проводом и окружающей средой. ИТЭМ провода получена на основе предложенного интегрированного технико-экономического критерия выбора сечения провода. Этот критерий представляет собой функционал зависимости удельных дисконтированных затрат от тока линии и позволяет разработать метод выбора сечения провода на принципиально иной основе.

В *четвертой главе* показаны разработка и реализация новой методики выбора провода с оптимальными параметрами, базирующейся на предложенном автором принципиально ином методическом подходе и разработанных на его основе методах выбора оптимальных марки и сечения провода.

Предлагаемый методический подход совокупного выбора марки и сечения провода состоит из последовательной реализации трех процедур: формирование области возможных решений для выбора провода с оптимальными параметрами, выбор оптимальной марки провода, выбор оптимального сечения провода выбранной марки.

Метод выбора оптимальной марки провода разработан на основе метода анализа иерархий и обеспечивает учет множества технических и экономических критериев.

Метод выбора оптимального сечения провода основан на выборе оптимального сечения по соответствию прогнозируемого тока линии одному из диапазонов тока, определенного для конкретного сечения из ограниченного ряда выбранной марки провода по интегрированному технико-экономическому критерию. Областью применения этого метода являются как ААС, так и традиционные электрические сети.

Корректность и достоверность предложенных в работе методов и моделей, новой методики выбора провода с оптимальными параметрами доказана путем реализации расчетов для реальных ЛЭП традиционной

электрической сети и смоделированной ААС. Результаты моделирования электрических режимов наглядно иллюстрируют достижение цели работы.

Дана оценка получаемых интегрированных эффектов от применения новых методического подхода, методов и методики. Подтвержден вывод о необходимости внедрения предложенных методического подхода, методов и методики в инженерную и проектную практику.

В заключении сформулированы основные результаты работы, содержащие научную новизну и имеющие практическую ценность.

Приложения диссертационной работы включают: выбор комбинации учитываемых параметров обобщенной тепловой модели провода; оценку чувствительности функций чистого дисконтированного дохода и удельных дисконтированных затрат к изменению параметров, влияющих на выбор провода; оценку капитальных вложений и удельных дисконтированных затрат проектов строительства и реконструкции воздушных линий электропередачи; применение интегрированной технико-экономической модели провода для выбора сечения проводов нового поколения; результаты расчета электрических режимов для апробации разработанной методики в традиционной электрической сети; результаты расчета электрических режимов для апробации разработанной методики в активно-адаптивной сети; акты внедрения.

Структура и содержание диссертации свидетельствуют о высокой квалификации автора и его способности проводить самостоятельное научное исследование.

4. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Теоретическая значимость работы заключается в развитии теоретических основ проектирования ЛЭП. Предложены принципиально новые методический подход к выбору провода ЛЭП, методы выбора оптимальных марки и сечения, а также основанная на них методика выбора провода с оптимальными параметрами для ААС напряжением выше 1 кВ, обеспечивающие учет конкретных условий трассы.

Практическая значимость заключается в обеспечении оптимальных условий транспорта электроэнергии по ЛЭП, направленных на повышение надежности электроснабжения, повышение пропускной способности ЛЭП, снижение потерь электроэнергии, снижение эксплуатационных затрат в целом.

5. Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертационная работа Варыгиной Александры Олеговны соответствует паспорту научной специальности 2.4.3. Электроэнергетика. Работа соответствует следующим направлениям исследований, указанным в паспорте специальности 2.4.3. Электроэнергетика:

Пункт 9. *«Оптимизация структуры, параметров и схем электрических соединений электростанций, подстанций и электрических сетей энергосистем, мини- и микрогрид»*. В первой главе представлен анализ влияния функциональных свойств ААС на выбор провода ЛЭП. В третьей главе разработана интегрированная технико-экономическая модель провода любой конструкции, учитывающая новые свойства ААС. В четвертой главе дана оценка положительных эффектов от практической реализации предложенных в диссертации методического подхода, методов и методики выбора провода с оптимальными параметрами на примерах традиционной электрической сети и модели ААС.

Пункт 17. *«Исследования по транспорту электроэнергии переменным и постоянным током, включая проблемы повышения пропускной способности транспортных каналов, разработки и применения FACTS-устройств, накопителей энергии»*. Во второй главе предложена обобщенная тепловая модель неизолированного провода для расчёта значений допустимых длительных токов проводов различной конструкции в зависимости от условий прохождения трассы ЛЭП. В четвертой главе предложены новые методический подход выбора провода, метод выбора оптимальной марки провода, метод выбора оптимального сечения провода и методика выбора провода с оптимальными параметрами, а также показано их применение как для традиционной электрической сети, так и модели ААС.

6. Обоснованность и достоверность результатов научных исследований

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе Варыгиной Александры Олеговны, являются в достаточной степени обоснованными и подтвержденными результатами теоретических и вычислительных исследований. Работа выполнена на основе системного подхода, в рамках которого каждый этап исследования логически связан с предыдущим и опирается на четко сформулированные исходные предпосылки.

Достоверность и обоснованность полученных результатов и сделанных выводов подтверждена верификационными расчетами электрических режимов и нагрева проводов, выполненными для ЛЭП

реальных электрических сетей, а также сопоставлением проведенных расчетов с паспортными данными проводов.

Выводы по главам диссертационной работы логично вытекают из представленного материала, адекватно отражают содержание проведенных исследований и в совокупности подтверждают достижение поставленной цели и решение сформулированных задач. Представленные научные положения и результаты обладают внутренней согласованностью, методической целостностью и достаточной степенью обоснованности для их использования в дальнейших научных и прикладных исследованиях.

7. Апробация и публикации результатов диссертационной работы

Результаты работы представлялись на научных семинарах кафедры энергетики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Амурский государственный университет» и отдела электроэнергетических систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук; докладывались на пяти международных конференциях. По теме диссертации опубликовано 10 статей, в том числе 4 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ по специальности 2.4.3. Электроэнергетика (К1 – 3 публикации, К2 – 1 публикация), 3 – в изданиях, индексируемых в Scopus и (или) Web of Science, 3 – в иных изданиях.

8. Вопросы и замечания по содержанию диссертационной работы

По диссертации имеются следующие вопросы и замечания:

1. Автор по тексту диссертации упоминает «инновационные ЛЭП» и «воздушные линии электропередачи нового поколения». Следует более точно указать, что автор подразумевает под этими понятиями.

2. В обобщенной тепловой модели провода автором при расчете мощности солнечного излучения, поглощаемой проводом, взята формула в соответствии с методикой ПАО «ФСК ЕЭС», хотя существуют более простые реализации расчета. Автором получено, что для использования можно выбрать любую реализацию расчета мощности солнечного излучения, поглощаемой проводом. Возникает вопрос – чем обусловлен выбор именно данной реализации расчета для включения его в обобщенную тепловую модель провода?

3. Автором в работе отмечено, что для проводов нового поколения при расчете допустимых длительных токов необходимо учитывать коэффициент поверхностного эффекта, начиная с сечения 600 мм^2 , на основе расчета данного коэффициента для провода марки АССС. С какого сечения следует учитывать коэффициент поверхностного эффекта для других марок проводов нового поколения?

4. На стр. 91-92 в пояснениях к формуле (3.11) не приведено описание позиции K_3 .

5. На стр. 106 в таблице 4.2 указано, что для приведения в сопоставимый вид вариантов выбора провода по фактору «техно-экономические эффекты» необходима реализация «всесторонней оценки влияния принятого технического решения на выбор оптимального варианта исполнения ВЛ». Необходимы пояснения, каким образом следует реализовывать такую оценку.

Указанные вопросы и замечания не снижают высокой положительной оценки представленной Варыгиной Александрой Олеговной диссертационной работы и могут рассматриваться как уточнения и пожелания для дальнейших исследований в данном научном направлении.

9. Соответствие диссертации критериям «Положения о присуждении ученых степеней»

По пункту 9. Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой автором впервые предложены: обобщенная тепловая модель провода и ее инженерная реализация, отличающаяся возможностью ее применения к проводам различной конструкции; интегрированная технико-экономическая модель провода различной конструкции; универсальные факторы сопоставимости вариантов выбора провода, учитывающие конструктивные отличия проводов, для обеспечения их корректного сравнения при выборе марки и сечения; метод выбора оптимальной марки провода; метод выбора оптимального сечения провода; методика выбора провода с оптимальными параметрами, обобщающая ограничения и требования к реализации воздушных ЛЭП и обеспечивающая совокупный выбор оптимальных марки и сечения провода воздушных ЛЭП напряжением выше 1 кВ.

По пункту 10. Диссертация написана автором самостоятельно в виде рукописи, содержит новые научные результаты и положения, заслуживающие публичной защиты. Содержание диссертации и опубликованные работы свидетельствуют о достаточном вкладе автора в

науку. В диссертации имеются сведения о практической полезности выполненных исследований, подтвержденные актами внедрения. Предложенные автором методический подход и методика выбора провода с оптимальными параметрами по сравнению с традиционными обладают целым рядом преимуществ, основными из которых являются: использование актуальных экономических данных; дисконтирование затрат; возможность применения для активно-адаптивных сетей; получение интегрированного технико-экономического эффекта от внедрения выбранного провода. Полученные преимущества подтверждены расчетами экономических показателей и электрических режимов реальных ЛЭП с помощью современных программных комплексов.

По пунктам 11-13. Основные научные результаты достаточно полно отражены в 10 публикациях, в том числе 4 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ по специальности 2.4.3. Электроэнергетика.

По пункту 14. В диссертационной работе Варыгиной Александры Олеговны сделаны необходимые ссылки на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов научной деятельности.

10. Заключение

Диссертация Варыгиной Александры Олеговны «Разработка методики выбора проводов для линий электропередачи в активно-адаптивных сетях» является законченной научно-квалификационной работой, в которой представлено решение актуальной научной задачи повышения пропускной способности и энергетической эффективности линий электропередачи. Диссертация выполнена на высоком теоретическом уровне по тематике, актуальной для электроэнергетики России и мира, обладает научной новизной, содержит оригинальные результаты, имеет теоретическое и практическое значения.

Содержание диссертации соответствует заявленной цели и поставленным задачам и детально отражает последовательность их решения.

Диссертационная работа оформлена в соответствии со всеми требованиями.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы и полностью отражает основные научные и практические результаты исследований. Отмеченные замечания имеют частный характер и не снижают в целом положительной оценки рассматриваемой диссертационной работы.

Диссертационная работа Варыгиной Александры Олеговны полностью соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (с изменениями и дополнениями), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а Варыгина Александра Олеговна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3 Электроэнергетика.

Отзыв на диссертацию Варыгиной Александры Олеговны «Разработка методики выбора проводов для линий электропередачи в активно-адаптивных сетях» обсужден и одобрен на заседании кафедры «Электроэнергетика транспорта» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО ИрГУПС) 17 февраля 2026 г. протокол № 7

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электроэнергетика транспорта» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения»

Тихомиров Владимир Александрович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» - Irkutsk State Transport University (ФГБОУ ВО ИрГУПС – ISTU)

664074, Сибирский федеральный округ, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15.

Тел.: +7(3952) 638-383

E-mail: mail@irgups.ru

Сайт: <https://www.irgups.ru/>

