

Отзыв

официального оппонента

Сулова Константина Витальевича

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 специальности 2.4.3. Электроэнергетика

Актуальность темы диссертации

Интеллектуализация электроэнергетики подразумевает переход отрасли на новую технологическую платформу – интеллектуальную энергосистему с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС). В настоящее время элементы электрической сети претерпевают изменения, а она сама наделяется новыми функциональными свойствами, которые позволяют создавать инновационные линии электропередачи (ЛЭП) и влияют на выбор провода. Изменения включают в себя широкое применение проводов нового поколения (ПНП), которые существенно отличаются от традиционных проводов по конструкции и превосходят их по своим характеристикам. Как показал опыт внедрения ПНП, конструктивные особенности их марок сделали возможным повышение пропускной способности ЛЭП, надежности электроснабжения, энергоэффективности и гибкости электропередачи по сравнению с применением проводов традиционной конструкции. В связи с появлением большого количества разнообразных конструктивных исполнений и новых материалов проводов, обеспечивающих получение различных технико-экономических эффектов, появилась необходимость выбора не только сечения, но и марки провода. До сих пор не существует ни одного метода по выбору марки провода, учитывающего его конструктивные особенности и условия эксплуатации. Важнейшим параметром ЛЭП, определяющим ее основные технико-экономические показатели, является сечение провода. Проблема выбора оптимальных сечений проводов связана не только с определением наиболее эффективного способа вложения денежных средств и необходимостью снижения эксплуатационных издержек на транспорт электроэнергии, но и с обеспечением выполнения технических требований, установленных для воздушных ЛЭП. В результате возникает проблема согласованности оптимальных значений сечений, выбранных по техническим и экономическим критериям. Опыт эксплуатации показывает, что принятые для выбора сечения проводов критерии, не отвечают современным требованиям по энергоэффективности, экономичности и надежности не учитывают в полной мере климатические, географические и экономические особенности реализации проектов. Необходима разработка методики, основанной на новом методическом подходе выбора марки и сечения провода в условиях интенсивного развития электросетевого комплекса, в том числе при переходе на ААС. Значимость темы подтверждается увеличившимся количеством аварий в электрических сетях, большим уровнем потерь электроэнергии и необходимостью повышения пропускной способности ЛЭП, что напрямую

связано с выбором марки и сечения проводов. Исходя из вышесказанного, тема диссертации, посвященная исследованию выбора проводов воздушных ЛЭП, является **актуальной**.

Целью диссертации является разработка методики выбора провода с оптимальными параметрами, учитывающей процессы сложного теплообмена провода с окружающей средой и стохастический характер протекания тока по ЛЭП напряжением выше 1 кВ в активно-адаптивных сетях.

Научная новизна работы

1. На основе системного подхода выявлена и обоснована необходимость в разработке методики выбора проводов, обеспечивающих оптимальные условия эксплуатации ЛЭП в активно-адаптивных сетях.

2. Предложены обобщенная тепловая модель провода, являющаяся развитием модели, рекомендуемой Международным советом по большим электрическим системам высокого напряжения (СИГРЭ), и ее инженерная реализация, позволяющая учитывать процессы сложного теплообмена между проводом и окружающей средой и отличающаяся возможностью ее применения к проводам различной конструкции, в том числе проводам нового поколения.

3. Разработана интегрированная технико-экономическая модель провода различной конструкции, позволяющая выбирать его оптимальное сечение для всего срока эксплуатации провода, отличающаяся учетом стохастического характера токовой нагрузки, тепловых процессов и неопределенности, обусловленной условиями функционирования электроэнергетических систем.

4. Предложены универсальные факторы сопоставимости вариантов выбора провода, учитывающие конструктивные отличия проводов, для обеспечения их корректного сравнения при выборе марки и сечения.

5. Впервые предложен метод выбора оптимальной марки провода, принимающий во внимание технические характеристики провода и позволяющий на основе многокритериального анализа выбирать не только оптимальную марку, но и диапазон ее сечений, обеспечивающий выполнение условий размещения ЛЭП.

6. Разработан метод выбора оптимального сечения провода, основанный на определении оптимальной области токов для каждого сечения выбранной марки провода с помощью предложенной в работе интегрированной технико-экономической модели провода, и отличающийся от существующих методов адаптацией к динамичным изменениям в отрасли и экономике. Данный метод применим для активно-адаптивных сетей и традиционных.

7. Впервые разработана 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 в условиях интенсивного развития электросетевого комплекса и перехода на активно-адаптивные сети.

Теоретическая значимость заключается в разработке нового методического подхода к выбору провода ЛЭП и основанной на нем методики для активно-адаптивных сетей напряжением выше 1 кВ, обеспечивающих оптимальные марку и сечение провода с учетом конкретных условий

размещения ЛЭП и инструментария для реализации данного подхода. Диссертационная работа развивает теоретические основы проектирования ЛЭП.

Практическая ценность заключается в обеспечении оптимальных условий транспорта электроэнергии по ЛЭП на всем сроке ее службы, выраженных в получении интегрированного экономического эффекта, учитывающего: повышение пропускной способности ЛЭП, снижение потерь электроэнергии, снижение эксплуатационных затрат в целом.

Достоверность полученных результатов и сделанных выводов подтверждена верификационными расчетами электрических режимов и нагрева проводов, выполненными для отдельных ЛЭП реальных электрических сетей, а также сопоставлением проведенных расчетов с паспортными данными проводов.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертационная работа соответствует следующим направлениям исследований паспорта специальности ВАК 2.4.3. Электроэнергетика:

Пункт 9. «Оптимизация структуры, параметров и схем электрических соединений электростанций, подстанций и электрических сетей энергосистем, мини- и микрогрид».

Пункт 17. «Исследования по транспорту электроэнергии переменным и постоянным током, включая проблемы повышения пропускной способности транспортных каналов, разработки и применения FACTS-устройств, накопителей энергии».

Публикации

По теме диссертации опубликовано 10 статей, в том числе 4 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ по специальности 2.4.3 (К1 – 3 публикации, К2 – 1 публикация), 3 – в изданиях, индексируемых наукометрическими базами Scopus и Web of Science, 3 – в иных изданиях.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 168 наименований, 7 приложений. Общий объем работы составляет 179 страниц основного текста, включает 31 рисунок и 80 таблиц.

Во *введении* обосновывается актуальность темы диссертации, сформированы цели и задачи исследований, приведены положения, выносимые на защиту, отмечены новизна полученных результатов, их научная и практическая значимость, представлены структура диссертации и основные результаты исследований.

В *первой главе*, в результате анализа инновационного развития электрических сетей напряжением выше 1 кВ в мире, выявлено, что, в связи с использованием технологий Индустрии 4.0 и переходом электроэнергетики РФ на новую технологическую платформу ИЭС ААС, появились новые функциональные свойства электрической сети, оказывающие влияние на выбор проводов ЛЭП.

Во *второй главе* предложена обобщенная тепловая модель неизолированного провода, учитывающая процессы сложного теплообмена между проводом и окружающей средой, в развитие модели теплового баланса провода, рекомендуемой СИГРЭ.

В *третьей главе* разработана интегрированная технико-экономическая модель провода любой конструкции, учитывающая новые свойства ААС.

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

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

Таким образом, можно обоснованно сделать вывод о том, что поставленная цель диссертации соискателем достигнута.

Автореферат диссертации достаточно полно и точно отражает ее содержание.

Замечания по диссертационной работе и автореферату

1. В качестве основы для разработки обобщенной модели автор принимает уравнение теплового баланса по руководству СИГРЭ (формула 2.1), отмечая его полноту. Однако из текста не совсем понятна целесообразность использования именно этой модели по сравнению с другими подходами, в том числе с точки зрения точности и объема требуемой исходной информации для российских условий эксплуатации. Необходимо обоснование выбора именно этой модели.

2. В работе автором отмечается необходимость учета потерь на корону для ПНП. Данная составляющая имеется в обобщенной модели (формула 2.13). Однако в расчетах (формула 2.32 и Таблица 2.15) для большинства проводов предлагается потерями на корону пренебречь. Не снижает ли это практическую ценность предложенной модели?

3. Разработанная автором тепловая модель ориентирована на определение допустимого длительного тока в установившемся режиме. В условиях активно-адаптивных сетей (ААС) характерны быстрые изменения потоков мощности. Учитывает ли предложенная модель возможность кратковременных перегрузок и динамику нагрева провода при изменяющейся нагрузке?

4. Предложенные формулы (2.26) - (2.28) для проводов марки АС и обобщенная формула (2.32) с табличными коэффициентами (2.15) являются достаточно удобным практическим инструментом. Однако из текста не совсем понятно, каковы погрешности при использовании формул при изменении исходных климатических параметров (скорости ветра, температуры) в широком диапазоне.

5. В параграфе 2.1 автором указывается на наличие множества разрозненных уточнений к тепловым расчетам (Таблицы 2.1, 2.2). При разработке обобщенной модели автор выбирает, какие из этих уточнений включаются в итоговый вариант. Каков был критерий отбора? Была ли проведена оценка совместного влияния всех отобранных уточнений (например,

по формулам (2.11), (2.24) - (2.25) на конечный результат, чтобы избежать эффекта «двойного счета» или неоправданного завышения точности?

6. В параграфе 2.4 предложены конкретные численные значения для ряда коэффициентов применительно к ПНП. Насколько эти значения универсальны для всего класса ПНП? Учитывают ли они старение материала и изменение состояния поверхности провода в течение срока эксплуатации (ведь для традиционных проводов, как отмечено в тексте диссертации, эти коэффициенты со временем растут)?

Приведенные замечания не снижают научную ценность и практическую значимость представленной к защите диссертации.

Заключение по работе

Диссертационная работа **Варыгиной Александры Олеговны** «Разработка методики выбора проводов для линий электропередачи в активно-адаптивных сетях» представляет собой законченное научно-квалификационное исследование, выполненное на современном научном уровне, в котором поставлена и решена важная научная задача, связанная с разработкой методики выбора проводов для ЛЭП в активно-адаптивных сетях. Диссертация отвечает требованиям 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 с учетом изменений и дополнений, а её автор, **Варыгина Александра Олеговна, заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3. Электроэнергетика

Официальный оппонент

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,

Константин Витальевич Суслов
«16» марта 2026 г.

Подпись Сулова К.В. заверяю:

Сведения об организации:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ».
Адрес: 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14. Тел: (495) 362-72-51.
E-mail: dr.souslov@yandex.ru