

## **Отзыв**

официального оппонента, доктора технических наук,

**Коржова Антона Вениаминовича**

на диссертационную работу **Горобца Александра Николаевича** на тему **«Разработка метода определения теплового состояния кабелей высокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена в условиях испытаний и эксплуатации»**, представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.02 – Электротехнические материалы и изделия

### **1. Актуальность темы и решаемой проблемы**

Актуальность рецензируемой диссертационной работы обусловлена рядом факторов:

1. Необходимостью обязательного контроля теплового состояния современных высоковольтных кабелей для: выбора оптимальной нагрузки; минимизации рисков аварийных ситуаций в электрической сети; предотвращения преждевременного старения изоляции; обеспечения экономически обоснованного решения по выбору требуемого сечения на этапе проектирования.

2. Существующие на сегодняшний день методики, стандарты и системы мониторинга температуры изоляции кабельных линий, как правило, дают различающиеся результаты, обладают сложностью применения и используются на стадии проектирования. В условиях эксплуатации задача мониторинга теплового состояния силовых кабельных линий остаётся востребованной и нерешённой, что приводит к аварийным ситуациям в энергосистемах.

3. Представленная на рассмотрение работа отвечает плану мероприятий Национальной технологической инициативы по направлению «Энерджинет», а именно, способствует развитию сервисов интеллектуальной энергетики за счёт внедрения новой системы мониторинга теплового состояния кабельных линий. Можно отметить, что разработанный метод может быть транслирован и на другие объекты электроэнергетики, в которых необходимо оценивать тепловое состояние внутри объекта, основываясь на доступном для измерения значении температуры внешней поверхности, например, для оценки работы изоляционной системы двигателей и силовых трансформаторов.

4. Особенно ценно, что автором разработана не только теория нового метода расчёта теплового состояния современных высоковольтных и сверхвысоковольтных кабельных линий, но и прибор, работающий на алгоритмах данной теории, внедрённый в эксплуатацию.

Указанные факторы рассматриваются в диссертационной работе Горобца А.Н. Поставленная цель работы и задачи для её достижения актуальны как в практическом, так и теоретическом аспектах.

## **2. Степень достоверности, обоснованности и новизны выдвинутых научных положений, полученных результатов, выводов и рекомендаций для теории и практики**

Рассмотрим выдвинутые на защиту научные положения и полученные на их основе результаты.

Новизной научного положения №1 является разработанная математическая модель и методика расчёта теплового состояния высоковольтных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) в условиях испытаний и эксплуатации. Оригинальностью модели является обоснованное использование метода конечных разностей и учёт в методике нелинейных зависимостей теплофизических характеристик электропроводящих и изоляционных материалов от температуры. Данный подход позволил автору увеличить скорость и точность расчёта распределения температуры в слоях изоляции кабеля.

Новизной научного положения №2 является впервые разработанный математический алгоритм расчёта теплового поля высоковольтного кабеля в реальном времени с применением метода конечных разностей. Следует отметить, что в настоящее время существующие алгоритмы и методы расчёта работают с рядом допущений, вносящих значимый результат в погрешность оценки температуры в изоляции кабелей, особенно при циклических режимах нагрузки и меняющихся параметров трассы прокладки кабельной линии. Соискателем впервые предложен алгоритм, который основывается на данных о температуре медного экрана или поверхности оболочки и тока нагрузки кабеля.

Достоверность и обоснованность первого и второго научных положений подтверждается верификацией теоретических расчётов, проведёнными экспериментами на разработанной установке для тепловых испытаний высоковольтных кабельных линий.

Новизной научного положения №3 является впервые разработанное соискателем программное обеспечение для расчёта теплового поля высоковольтных кабелей с СПЭ изоляцией в режиме реального времени. Оригинальностью является то, что программное обеспечение обладает быстродействием, использует стандартные интерфейсы и протоколы передачи данных. Данный факт позволяет его использовать с широким кругом контрольно-измерительных приборов, которые применяются при проведении испытаний кабелей, а также на высоковольтных подстанциях при мониторинге их состояния.

Новизной научного положения №4 является разработка испытательного оборудования и результаты экспериментов, проведённых на полноразмерных образцах высоковольтных кабелей. Оригинальностью является простота применения на практике и удобство эксплуатации разработанного испытательного оборудования. Достоверность и обоснованность подтверждается экспериментально полученными корректными зависимостями температуры конструкционных элементов полноразмерных образцов кабелей на напряжение 110 и 500 кВ при циклической нагрузке.

### **3. Практическое значение результатов работы**

Соискателем разработаны, испытаны, апробированы и внедрены в практику: оригинальная методика и оборудование для температурного контроля изоляции силовых кабелей. Данные разработки позволили впервые в России провести корректный эксперимент по циклическому нагреву отечественного кабеля на напряжение 500 кВ с СПЭ изоляцией в рамках типовых и предквалификационных испытаний, а также выполнить анализ полученных результатов.

### **4. Оценка содержания диссертации и автореферата**

Диссертация состоит из общей характеристики работы, 3 глав, заключения и списка литературы.

В общей характеристике работы (стр. 3–12) обоснована актуальность работы, сформулирована цель, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, применяемые методы исследования, представлены основные научные положения, выносимые на защиту, их достоверность и результаты апробации результатов работы, личный вклад автора.

В первой главе (стр. 13–32) рассмотрены существующие методы расчёта и мониторинга теплового состояния кабельных линий высокого напряжения. Соискателем проведён хороший литературный обзор, начиная с первых работ начала 20-го века до работы в современных программных комплексах для проведения теплового анализа работы изоляции электротехнических материалов и изделий.

Во второй главе (стр. 33–86) приведены, проанализированы и сопоставлены результаты теплового расчёта кабеля в соответствии с методиками стандартов МЭК, методом конечных элементов, расчётом в программе ELCUT. На основе выявленных недостатков соискателем разработана новая математическая модель с применением метода конечных разностей для расчёта теплового состояния кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена. Теоретически обосновано, что методика позволяет с высокой точностью произвести оценку процесса теплообмена в силовых кабелях в режиме реального времени.

В третьей главе (стр. 87–124) рассмотрена апробация и верификация предложенной теоретической модели оценки теплового состояния кабелей в условиях эксплуатации и в условиях испытаний. Соискателем представлено описание разработанной методики организации эксперимента, рассмотрена разработка и сборка испытательного прибора. Экспериментальные исследования проведены для кабелей марки АПвПу2гж 1×1200/185 – 64/110 кВ и ПвПу2г 1×1600(гж)/300ов – 500 кВ. Установлены графики зависимостей температуры токопроводящей жилы и медного экрана от времени в процессе циклического нагрева и охлаждения. Представлено сопоставление с расчётом с применением стандартов МЭК и ПО ELCUT, что подтвердило факт более точного расчёта с применением разработанного соискателем метода.

В заключении (стр. 124–125) сформулированы основные результаты работы.

Список литературы включает 90 цитируемых автором литературных источников.

Текст автореферата в полном объёме соответствует материалу, изложенному в диссертации.

Основные научные положения и результаты диссертационной работы отражены в 2 статьях в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, и прошли апробацию на конференциях.

## **5. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Установленные в диссертационной работе результаты и разработанный прибор могут найти применение не только для сверхвысоковольтных кабельных линий, но и для кабельных линий среднего класса напряжения и других электротехнических устройств, а также результаты работы могут быть полезны в учебном процессе при подготовке студентов и аспирантов.

## **6. Замечания, вопросы и дискуссионные положения**

1. Согласно проведённых расчётов и экспериментов методика, разработанная соискателем, показывает более корректные результаты по сравнению с существующими нормативными документами и расчётами в современных программах. Требуется пояснение, насколько правомерно сравнивать результаты расчёта по предложенной автором методике с результатами, полученными в ПО ELCUT, если автор неоднократно упоминает в тексте диссертации, что в модель кабеля в программе введены ряд существенных допущений.

2. Остаётся не раскрытым полностью вопрос, как с помощью предложенной методики и прибора автор решил проблему, обозначенную им в диссертации, по учёту изменяющихся свойств грунта по трассе линии, влиянию коммуникаций, параллельных кабельных линий и т.п. В эксперименте автор верифицирует теоретические положения в условиях прокладки кабельной линии в помещении. Вероятно, при прокладке в грунте с определённым сочетанием свойств основываться только на данных о температуре медного экрана или поверхности оболочки и тока нагрузки кабеля будет некорректно, ввиду появления дополнительных тепловых сопротивлений и возможного влияния продольного распространения тепла.

3. Соискатель действительно правильно указывает в тексте, что наиболее опасным и сложным для проведения теплового расчёта является режим циклических нагрузок. При этом из текста диссертации неясно, какими факторами руководствовался автор при выборе параметров циклического режима нагрева и охлаждения во время проведения расчётов и экспериментов. Требуется пояснения, как данный режим связан с реальными рабочими режимами и режимами коротких замыканий с учётом принятых уставок релейной защиты и автоматики в электрической сети.

4. Как в списке использованных литературных источников, так и в тексте диссертации, у автора отсутствуют ссылки на правила устройства электроустановок, как одного из основополагающих документов в энергетике.

5. Требуются пояснения, почему автор строил математическую модель с применением метода конечных разностей, не рассматривая другие возможные математические подходы.

6. Необходимо уточнение, чем обусловлен выбор шаблона неявной схемы на равномерной сетке (рисунок 2.28 диссертации).

7. Замечания редакционного плана: (1) подписи к рисункам 1.2, 2.13, 3.23 перенесены на вторую страницу по тексту; (2) на ряде рисунков плохо читаются обозначения; (3) на ряде рисунков, например, 3.7, 3.9 в диссертации и 1, 13 в автореферате, в обозначении оси температуры пропущен значок градусы.

*Перечисленные замечания носят дискуссионный характер, не снижают научную, практическую ценность диссертационной работы Горобца А.Н. Положительно следует отметить хороший научный стиль изложения материалов диссертации.*

#### **7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней**

Диссертационная работа Горобца Александра Николаевича является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, обладает внутренним единством, актуальностью, новизной и практической значимостью, соответствует паспорту специальности 05.09.02 – Электротехнические материалы и изделия. Выдвинутые научные положения, установленные выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, оригинальны, обоснованы и достоверны. Основные научные результаты достаточно опубликованы и одобрены на международных и российских конференциях. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

В диссертации на основании выполненных автором исследований решена научно-техническая задача в области электротехнических материалов и изделий по оценке теплового состояния кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, имеющая важное значение для повышения надёжности и безопасности эксплуатации кабельных электрических сетей.

Считаю, что по совокупности выполненных исследований, разработанных теоретических положений, полученных результатов, их научной и практической значимости, диссертационная работа Горобца Александра Николаевича «Разработка метода определения теплового состояния кабелей высокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена в условиях испытаний и эксплуатации» удовлетворяет критериям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание учёной степени кандидата технических наук, согласно п.п. 9–14 Положения о присуждении учёных степеней от 24 сентября 2013 г. № 842 с изменениями постановления Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 г. № 335 «О внесении изменений в Положение о присуждении учёных степеней», а её автор, Горобец Александр Николаевич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.02 – Электротехнические материалы и изделия.

Официальный оппонент: доктор технических наук (специальность 05.09.02), доцент, профессор кафедры «Электрические станции, сети и системы электроснабжения», начальник управления научной и инновационной деятельности, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

Коржов Антон Вениаминович

«3» июня 2019 г.

Почтовый адрес: 454080, г. Челябинск,  
проспект Ленина, 76, <http://www.susu.ru>  
Телефон: +7 (351) 267-92-41  
Электронный адрес: [korzhovav@susu.ru](mailto:korzhovav@susu.ru)

Подпись Коржова Антона Вениаминовича заверяю



Верно  
Будущий документооборот  
О.В. Гривина