


УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»



д.т.н. профессор Любимов В.К.

« » _____



ОТЗЫВ

ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» на диссертационную работу Горобца Александра Николаевича, выполненную на тему «Разработка метода определения теплового состояния кабелей высокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена в условиях испытаний и эксплуатации», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.02 –

«Электротехнические материалы и изделия»

На отзыв представлены:

- диссертация объемом 135 страниц основного текста, состоящая из введения, трех глав, заключения и списка литературы, включающего 90 источников, 78 рисунков и 10 таблиц;
- автореферат, в котором приведена общая характеристика работы, кратко изложено содержание и даны основные результаты работы.

Актуальность темы:

Важным критерием экономической эффективности высоковольтных кабельных линий является передаваемая ими мощность. Передача электрической энергии сопровождается потерями в элементах кабеля: токопроводящих жилах (ТПЖ), изоляции, экранах. Это ведет к нагреву и деградации материалов, из которых выполнен кабель. В связи с этим задача

оценки теплового режима кабельной линии в процессе эксплуатации является важной. Наиболее информативным параметром является температура ТПЖ, определяющая рабочую температуру изоляции. Однако непосредственное измерение этого параметра в процессе эксплуатации не представляется возможным, в связи с этим ограничиваются измерением температуры экрана или поверхности оболочки силового кабеля. Однако использование этих параметров не позволяет оценить тепловое состояние изоляции кабеля. Так например, температура ТПЖ может отличаться от температуры экрана от 10 до 30 °С в стационарном и до 40 °С нестационарном режиме. В связи с этим задача создания методик оценки теплового состояния изоляции кабеля по результатам измерения температур экрана или оболочки кабеля представляется актуальной.

Целью рассматриваемой диссертационной работы является:

Разработка методики расчета теплового состояния кабеля с СПЭ изоляцией в целом от температуры его ТПЖ в частности, основываясь на данных о температуре медного экрана или поверхности оболочки и тока нагрузки в условиях испытаний и эксплуатации. При этом учитывается температурная зависимость теплофизических характеристик применяемых изоляционных и электропроводящих полимерных композиций.

Научная новизна исследований и результатов, полученных в работе:

1. Создана оригинальная методика для анализа теплового состояния кабельного изделия, учитывающая нелинейные зависимости теплофизических характеристик электропроводящих и изоляционных материалов от температуры, что позволяет выполнять анализ с высокой скоростью и точностью.

2. На основе экспериментальных исследований получены корректные временные зависимости температуры конструктивных элементов полноразмерных образцов кабелей на напряжение 110 и 500 кВ при циклической нагрузке.

Теоретическая и практическая значимость:

1. Полученные математическая модель и методика позволяют с высокой точностью и скоростью выполнять расчет теплового состояния высоковольтного кабеля с изоляцией из СПЭ в условиях испытаний и эксплуатации.

2. Использование в расчете температурных зависимостей теплофизических свойств изоляционных и электропроводящих материалов, применяемых при производстве высоковольтных и сверхвысоковольтных кабелей, увеличивает точность вычисления теплового поля во всех режимах эксплуатации КЛ.

3. Разработанное на основе математической модели и методики программное обеспечение позволяет в режиме реального времени производить расчет температурного поля высоковольтных кабелей с экструдированной изоляцией, основываясь на данных о токовой нагрузке и температуре медного экрана или оболочки кабеля.

4. Разработанные оборудование и программное обеспечение позволяют во время проведения испытаний в автоматическом режиме получать данные о токовой нагрузке ТПЖ и температуре экрана или оболочки кабеля, производить расчет теплового поля во всем сечении изоляционной системы, а также обрабатывать и хранить полученные результаты.

5. Применение разработанной оригинальной методики и оборудования температурного контроля позволило впервые в России провести корректный эксперимент по циклическому нагреву отечественного кабеля на напряжение 500 кВ с изоляцией на основе сшитого полиэтилена в рамках типовых и предквалификационных испытаний, а также выполнить анализ полученных результатов.

Обоснованность и достоверность результатов и выводов диссертации:

Достоверность результатов, полученных при использовании разработанной методики, подтверждается данными испытаний циклами

нагрева и охлаждения полноразмерных образцов кабелей на напряжение 110 и 500 кВ.

Оценка содержания диссертации

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована цель работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, даны основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен обзор методов расчета теплового состояния кабельных линий высокого напряжения. Рассмотрены стандарты МЭК для стационарного и нестационарного тепловых режимов для циклической нагрузки, их достоинства и недостатки. Отмечается, что в тепловых расчетах необходимо учитывать зависимости теплофизических параметров элементов конструкции кабеля от температуры. Показаны роль и место компьютерного моделирования на основе метода конечных элементов (МКЭ), используемого на этапе проектирования кабельных линий. Рассмотрены существующие методы теплового мониторинга кабельных линий. Отмечается необходимость построения модели и методик, позволяющих оценивать температуру ТПЖ на основе измеренных температур экрана или оболочки кабеля. Сформулированы задачи, которые необходимо решить в диссертационной работе.

Во второй главе проведён расчёт циклического теплового режима высоковольтного однофазного кабеля на напряжение 110 кВ с использованием методик МЭК и конечно-элементного моделирования с использованием программного обеспечения Elcut версии 5.10. Отмечается, что существующие методики МЭК не учитывают температурные зависимости теплофизических параметров, что обуславливает различие экспериментальных и расчетных значений, особенно заметное для высоковольтных кабелей. МКЭ позволяет учесть нелинейность теплофизических параметров элементов конструкции кабеля. Однако этот подход, как показали расчеты, в связи с существенными вычислительными затратами неприменим для систем мониторинга и может быть использован

лишь на стадии проектирования кабельных линий. Сформулирована задача создания методики, которая обеспечивает анализ теплового состояния кабельной линии с приемлемой точностью в режиме реального времени. Далее автором предлагается методика, основанная на классическом подходе к решению нелинейной задачи нестационарной теплопроводности методом конечных разностей. Рассмотренная задача сведена к осесимметричной, что делает её одномерной по пространственной координате, тем самым снижая требования к вычислительным затратам. Решается тепловая задача для граничного условия первого рода (задается измеренная температура экрана или оболочки кабеля).

В третьей главе рассмотрено применение разработанной методики теплового расчета в условиях эксперимента. Для сравнения предложенного метода и методик МЭК проведен натурный эксперимент для кабеля марки АПвПу2гж 1x1200/185 – 64/110 кВ. Детально описано проведение эксперимента. Автором разработан и собран программно-аппаратный комплекс оценки теплового состояния на основе информации о температуре на поверхности экрана (оболочки) и токе, потребляемом кабельной линией. Комплекс представляет собой функциональный блок в виде защищённого кейса. Выполнена экспериментальная проверка предложенных методик для высоковольтных кабелей напряжением 110 и 500 кВ, работающих как в рабочем режиме, так и режиме перегрузки.

В заключении приводятся выводы о проделанной работе.

Замечания по диссертации:

1. Раздел 1.1 главы 1 частично дублирует главу 2, где рассматриваются методы расчета однофазного силового кабеля с использованием методик МЭК, конечно-элементного моделирования и разработанной методики. Так в разделе 1.1 приводятся схемы для методик МЭК и МКЭ, которые без ущерба можно поместить в главу 2.

2. Математическая модель на базе метода конечных разностей заявлена автором как научная новизна (см. п.1 с. 9 диссертации). Использованный

метод решения осесимметричной нелинейной нестационарной тепловой задачи приводится в классических учебниках по численному решению уравнений математической физики и, по нашему мнению, не может претендовать на научную новизну.

3. Разработанное программное обеспечение является средством решения задачи, имеет практическую ценность, но не может претендовать на научную новизну.

4. Автор считает практически значимым применение стандартных интерфейсов для сопряжения объекта и программно-аппаратного комплекса (см. п.5 с. 10 диссертации). С этим нельзя согласиться, поскольку является обычной инженерной практикой.

5. В диссертации автор ограничивается решением задачи мониторинга однофазных кабельных линий, в то же время существенный интерес представляет решение задачи мониторинга для трехфазных кабельных линий на основе однофазных кабелей.

6. Из текста автореферата непонятно, где внедрена разработанная методика (см. с. 8).

Заключение

Представленные автором материалы показали, что диссертационная работа является законченным исследованием и выполнена автором самостоятельно на высоком научно-техническом уровне.

Содержание диссертации в достаточной степени отражено в следующих публикациях входящих в перечень ВАК:

- Горобец А.Н. Опыт применения термического анализа для изучения теплопроводности полимерных материалов для кабельных изделий. /А.Н. Горобец, А.А. Крючков, В.Л. Овсиенко, Т.А. Степанова, М.Ю. Шувалов. / Кабели и провода. – 2013, – №5(342), – С.16-18.
- Горобец А.Н. Методика расчета температуры токопроводящей жилы высоковольтного кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена по известной


температуре медного экрана в режиме реального времени. /А.Н. Горобец, В.Л. Овсиенко. / Кабели и провода. – 2018, – №1(585), – С.18-25.

Основные положения и результаты диссертации прошли апробацию на двух международных и трех всероссийских научно-технических конференциях. Представленный автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Указанные выше замечания не снижают общего положительного впечатления от рецензируемой работы. Диссертация отвечает всем требованиям положения о порядке присуждения ученой степени кандидата технических наук, а Горобец Александр Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.02 – «Электротехнические материалы и изделия».

Диссертационная работа соискателя Горобца Александра Николаевича заслушана и обсуждена на заседании кафедры «Физики и технологии электротехнических материалов и компонентов» Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» протокол №57 от 29 мая 2019 г.

Заведующий кафедрой физики
и технологии электротехнических
материалов и компонентов,
д.т.н., профессор
SerebriannikSV@mpei.ru



Серебрянников Сергей Владимирович

Доцент кафедры физики и
технологии электротехнических
материалов и компонентов,
к.т.н., доцент
SutchenkovAA@mpei.ru



Сутченков Антон Анатольевич

111250, Москва, Красноказарменная ул., д.14, тел. 8-495-362-78-58