

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»,

доктор технических наук, профессор

 В.К. Пригунов

« _____ »

2018 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» на диссертационную работу **Грешнякова Георгия Викторовича** по теме: **«Комплексная оценка технических и эксплуатационных характеристик XLPE-кабельных систем среднего и высокого напряжения»**, представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.09.02 – Электротехнические материалы и изделия

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационная работа Грешнякова Георгия Викторовича посвящена решению важной научной проблемы – повышению эксплуатационной надёжности, безопасности и ресурсосбережению изоляции 3-х фазных кабельных линий среднего и высокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Автор рассматривает решение данной проблемы применительно к действующим трехфазным кабельным линиям (КЛ) номинального напряжения 6(10) кВ ÷ 64(110) кВ, проложенных однофазными кабелями, учитывая их конструкционные особенности, а также для импульсных систем специального назначения, где используют кабели особой конструкции. Значимость и актуальность данной темы обусловлена растущим объемом применения кабельных линий и систем с изоляцией из сшитого полиэтилена. При этом основное внимание уделено научному обоснованию, и, на этой основе – разработке актуальных методов расчета пропускной способности КЛ при различных способах и условиях прокладки и при этом рассмотрено несколько вариантов объединения и заземления экранов. Другими, не менее актуальными направлениями исследования, представленными в диссертации, является:

- развитие методов управления электрическим полем в усиленной изоляции высоковольтных кабельных муфт;
- развитие методов диагностирования сшитой полиэтиленовой изоляции силовых кабелей с помощью испытаний напряжением сверхнизкой частоты;
- исследование вопросов выбора чувствительного параметра для оценки состояния сшитой полиэтиленовой изоляции в процессе старения и возможности контроля этого параметра в процессе эксплуатации;
- снижение магнитного поля, создаваемого трёхфазной КЛ, проложенной группой однофазных кабелей, в локальных областях с помощью экранов спе-

циальной конструкции, изготовленных с применением материалов из магнитомягких сплавов. Подобные элементы монтируют поверх оболочки кабеля каждой фазы.

Выполненные Грешняковым Г.В научные исследования и разработки в настоящее время являются актуальными и востребованными практикой.

Результаты диссертационной работы по расчёту пропускной способности КЛ внедрены в практику проектирования института «Энергопроект-Нева» г. Санкт-Петербург при проектировании ПС 35 ÷ 110 кВ, использованы отделом ОАО «НИИПТ», г. Санкт-Петербург для уточнения методов испытаний высоковольтных КЛ. Результаты диссертационной работы по разработке ряда силовых низко индуктивных кабелей (СНИК) получены в рамках выполнения договора с ОАО «НИИЭФА им. Д.В. Ефремова» г. Санкт-Петербург, которое, в свою очередь имеет договорные отношения с Госкорпорацией «Росатом», участвующей в международном проекте «ITER», и будут использованы в составе опытного образца термоядерного реактора. Результаты диссертационной работы по разработке кабельных муфт класса 110 кВ внедрены в практику производства ООО «Масса» (ранее называлось НПО «Изолятор») г. Москва. Результаты диссертационной работы в части оптимизации параметров испытательного напряжения СНЧ внедрены в практику проведения испытаний ЗАО «Электрум» для КЛ высокого напряжения. Результаты диссертационной работы по разработке магнитных экранов внедрены в практику испытательного центра ОАО «НИИПТ» г. Санкт-Петербург при проведении испытаний энергетических кабелей для снижения электромагнитного влияния, в том числе, на измерительные и сигнальные цепи

ЗНАЧИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ ОТРАСЛИ НАУКИ определяется научной новизной, теоретической и практической значимостью диссертационной работы.

Научная новизна работы сформулирована в следующих обоснованных автором положениях:

1. Предложен новый способ оценки нагрузочной способности силовых кабельных систем (КС) с изоляцией из сшитого полиэтилена. Оценка проведена на базе анализа комплексных численных моделей, учитывающих условия, способы прокладки и монтажа. При этом учитывается наличие проводящих элементов: как в конструкции кабелей, так и находящихся в зоне влияния полей, а также тепловые и магнитные свойства материалов и сред, влияние скорости перемещения воздушных потоков при конвективном теплообмене, а также воздействие сторонних источников электромагнитного и теплового влияния (имеется патент на полезную модель).

2. Разработаны новые триаксиальные конструкции силовых низкоиндуктивных импульсных кабелей (СНИК) среднего напряжения с двухслойной изоляцией из сшитого полиэтилена с разными сечениями проводников. Эти кабели являются вспомогательными и входят в состав опытного образца тер-

моядерного реактора (программа ITER). Одновременно, для испытаний СНИК разработаны концевые муфты. Предварительно проведены испытания СНИК в составе кабельной линии среднего напряжения (разработка новых конструкций подтверждена актом о внедрении).

3. Предложен новый метод снижения неравномерности распределения электрического поля в усиленной изоляции кабельных муфт, на базе сочетания геометрического и рефракционного способов. Метод реализован при изготовлении опытных образцов концевых и соединительных муфт в составе КЛ класса 110 кВ (положительные результаты подтверждены актом о внедрении, получено два патента на полезные модели).

4. Выполнено численное моделирование электрического поля в усиленной изоляции муфт класса 110 кВ с резистивным методом выравнивания, где в качестве элемента, управляющего полем, применена термоусаживаемая полиэтиленовая трубка-регулятор.

5. Предложено увеличить теплопроводность полиэтилена, используемого в усиленной изоляции муфт, путем введения в состав композиции углеродных нановолокон типа CNF.

6. Предложен новый метод оценки наработки КЛ класса 10-35 кВ и 110 кВ по результатам измерения $\text{tg}\delta$ как функции частоты питающего напряжения. На основе анализа результатов измерений $\text{tg}\delta$ установлено значение испытательного напряжения СНЧ (подтверждено актом о внедрении).

7. Впервые теоретически обоснована и экспериментально подтверждена целесообразность применения в составе КЛ магнитных экранов специальной конструкции (концентраторы магнитного поля) для выполнения требований по ЭМС и электромагнитной экологии трёхфазных кабельных линий, проложенных группой однофазных кабелей. Для оптимизации угла раскрытия зазора и ориентации экрана на поверхности каждой фазы, применён генетический алгоритм (ГА). Применение магнитных экранов подтверждено актом о внедрении.

Теоретическая значимость диссертационной работы состоит:

- в создании метода расчета пропускной способности трёхфазных КЛ и КС, проложенных группой однофазных кабелей, при различных условиях и способах прокладки, а также при объединении и заземлении металлических экранов;
- в разработке комплексного емкостного метода регулирования электрического поля в кабельной муфте, путём сочетания геометрического и рефракционного способов;
- в разработке основных принципов перехода от комбинированного емкостного к резистивному и резистивно-емкостному методу регулирования поля в усиленной изоляции кабельных муфт высокого напряжения, с регулирующим элементом в виде трубки-регулятора;
- в обосновании выбора параметра $\text{tg}\delta$ в качестве основного при оценке работоспособности КЛ и предложении алгоритма прогнозирования наработки.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Внедрен в практику проектирования метод расчета пропускной способности трёхфазных КЛ и КС, проложенных группой однофазных кабелей, при различных условиях и способах прокладки, а также при любом способе объединения и заземления металлических экранов.
2. Изготовлен ряд высоковольтных СНИК с изоляцией из сшитого полиэтилена. Указанные кабели применены как вспомогательные в системе управления и коммутации макета термоядерного реактора, который разрабатывают в рамках программы ITER.
3. Изготовлены кабельные муфты на напряжение 110 кВ: концевые (наружной установки) и соединительные (с прямым соединением и с разделением экранов). Расчет изоляции этих муфт проведен с использованием вновь разработанного комплексного емкостного метода регулирования электрического поля, сочетающего в себе геометрический и рефракционный способы.
4. Успешно проведены квалификационные испытания в составе КЛ указанных кабельных муфт, о чём свидетельствуют соответствующие протоколы испытаний.
5. Внедрение для практического применения магнитных экранов с зазором для трёхфазных КС, проложенных однофазным кабелем, позволяющие обеспечить выполнение требований по электромагнитной совместимости и экологии

ДОСТОВЕРНОСТЬ И АПРОБАЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Достоверность результатов работы обеспечена: корректным применением фундаментальных законов и методов теории поля и электрических цепей; использованием лицензированных вычислительных программ; сравнением полученных результатов с результатами других авторов.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на Международной конференции «Electric Power Quality and Supply Reliability», Rakvere, Estonia, June 2014; На 6, 7 и 8–м Международных симпозиумах «Электромагнитная совместимость и электромагнитная экология» (Санкт-Петербург 2007, 2009, 2011 г.г.); на Международной конференции по вопросам энергетики, окружающей среды и материаловедения (EEMAS 2014), Санкт-Петербург 2014г.; на Международной конференции IEE International Energy Conference «Energycon 2016» Leuven, Belgium, 2016; на Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности энергетического оборудования-2012», Санкт-Петербург, 2012г; на Международной научной конференции «Современные технологии и развитие политехнического образования», Владивосток, 2015г, и др. Результаты работы обсуждены на семинарах: на кафедре ТЭЭ, ТВНЭИКТ СПбПУ, в ОАО «ВНИИКП», ОАО «НИИЭФА им. Д.В.Ефремова», в ООО «ГК «Севкабель», ООО «НИИ «Севкабель», всероссийских и международных конференциях

Реализация и внедрение результатов Результаты диссертационной работы по расчёту пропускной способности КЛ внедрены в практику проектиро-

вания института «Энергопроект-Нева» г. Санкт-Петербург при проектировании ПС 35- 110 кВ и использованы отделом ОАО «НИИПТ», г. Санкт-Петербург для уточнения методов испытаний высоковольтных КЛ до проведения квалификационных испытаний. Результаты диссертационной работы по разработке ряда СНИК получены в рамках выполнения Договора с ОАО «НИИ-ЭФА им. Д.В.Ефремова», г. Санкт-Петербург. Это ОАО, в свою очередь, имеет договорные отношения с Госкорпорацией «Росатом», участвующей в международном проекте «ITER» и предназначены для использования в составе опытного образца термоядерного реактора. Результаты диссертационной работы по разработке кабельных муфт класса 110 кВ внедрены в практику производства ООО «Масса» (ранее – НПО «Изолятор») г. Москва. Результаты диссертационной работы в части оптимизации параметров испытательного напряжения СНЧ внедрены в практику проведения испытаний ЗАО «Электрум» для КЛ высокого напряжения. Результаты диссертационной работы по разработке магнитных экранов внедрены в практику испытательного центра ОАО «НИИПТ», г. Санкт-Петербург при проведении испытаний энергетических кабелей для снижения электромагнитного влияния, в том числе, на измерительные и сигнальные цепи.

СТРУКТУРЫ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертация представлена в двух томах: первый том – основная часть изложена на 236 страницах текста и состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, включающего 136 наименований, содержит 151 рисунок, 40 таблиц; второй том – Приложения, изложен на 99 страницах текста, содержит восемь приложений, включая материалы о внедрении результатов работы.

Материал диссертационной работы изложен последовательно и аргументированно. Так, во введении и в первой главе автор показывает существующие технические проблемы эксплуатации КС среднего и высокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена и актуальность их решения, ставит цель и задачи исследований. Во второй главе рассматривает новый подход, основанный на формировании, изучении и анализе комплексной модели КЛ, для оценки пропускной способности при различных условиях и способах прокладки и любых вариантах объединения и заземления экранов. Проводит сравнительный анализ результатов расчетов различными методами. Развивает идею создания метода диагностики состояния изоляции с помощью испытаний напряжением СНЧ путем распространения этого метода на КЛ высокого напряжения. В третьей главе автор приводит результаты теоретических и экспериментальных исследований разрабатываемых впервые конструкций СНИК для системы питания и коммутации макета термоядерного реактора (проект ITER), определяет степень сохранения изоляционных свойств в различных импульсных режимах эксплуатации. В четвёртой главе автор представляет новый метод преобразования неравномерно напряженного электрического поля в равномерно напряженное поле, путем сочетания геометрического и рефракционного способов. Приведены математические модели для оценки эффек-

тивности такого метода и результаты экспериментальных исследований по увеличению теплопроводности полиэтиленовой трубки регулятора. Далее обсуждаются вопросы возможности контроля структурно-чувствительного к процессу старения кабельной изоляции параметра $\operatorname{tg} \delta$ в процессе эксплуатации КЛ. В пятой, заключительной главе, автор приводит результаты исследования по научному обоснованию и практической реализации магнитных экранов специальной конструкции (концентраторов поля) для снижения поля в локальных областях пространства, окружающего КЛ. Цель таких исследований – выполнение специальных требований по ЭМС и электромагнитной экологии. В заключении автор приводит основные результаты и выводы по работе. Скромный список литературы охватывает значительный период времени и достаточно убедительно представляет имеющиеся в настоящее время печатные материалы по затронутым вопросам.

По диссертационной работе следует сделать следующие замечания:

1. В наименовании диссертационной работы не следует использовать латинские буквы для обозначения сшитого полиэтилена. В настоящее время имеется принятое в технической литературе краткое обозначение «СПЭ».

2. Автору работы при формулировании научной новизны и научных положений, выносимых на защиту, следовало бы их разделить, что позволило бы более наглядно представить полученные результаты.

3. В тексте работы совершенно не обоснованно указаны виды испытаний, которые отсутствуют в ГОСТ 16504-81.

4. При сравнении результатов оценки пропускной способности КЛ по разработанному автором методу с результатами, полученными альтернативными методами, следует проводить мониторинг температуры.

3. Коэффициент затухания магнитного экрана предложено определить по уравнению $b_{\Sigma} = \ln \left(\frac{1}{|K_{\Sigma}|} \right)$, однако не указано, почему происходит уменьшение этого коэффициента с увеличением тока нагрузки.

4. Для регулирования электрического поля в усиленной изоляции кабельных муфт высокого напряжения предложено использовать комплексный емкостной метод. Но при этом не обсуждалась возможность использования нелинейного резистивного метода в сочетании с емкостным методом.

5. При исследовании СНИК не указано, как учитывали влияние на результаты работы кабелей различие в режимах с одиночными и периодическими импульсами.

6. В тексте диссертации отсутствуют сведения об импульсной прочности изоляции разработанных автором СНИК. Считаем такую информацию необходимой для данного типа кабелей.

Вместе с тем, отмеченные замечания не снижают общей научной ценности и важности полученных результатов диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поставленная цель диссертационной работы, относящаяся к повышению надёжности и улучшению условий эксплуатации кабельных линий с изоляци-

ей из сшитого полиэтилена среднего и высокого напряжения с развитием теоретических положений по оценке влияния комплекса проектных, режимных и метеорологических данных на изоляцию кабельных линий, достигнута. Научные результаты работы обоснованы не с позиции изменения конструкций кабельных линий, а с позиции разработанных новых методов для ресурсосбережения их изоляции. Данный подход актуален и имеет свою перспективу. Диссертационная работа построена на многостороннем и объёмном исследовании, что является плюсом работы и именно данный подход позволил автору найти новые решения и внести вклад в развитие теории надёжности электротехнических материалов и изделий, что, безусловно, значимо для рассматриваемой отрасли науки.

Диссертация Грешнякова Георгия Викторовича является завершённой научно-квалификационной работой. Текст диссертации и автореферата, анализ публикаций свидетельствуют о большой самостоятельной работе соискателя. Автор сумел самостоятельно поставить цель и задачи исследований, актуальные как в теоретическом, так и практическом аспектах, разработать новые методы для достижения цели с проведением многочисленных натурных экспериментов на образцах и действующих кабельных линиях. Полученные автором результаты представляют научный, а также практический интерес и востребованы специалистами в области электроэнергетики, а также при разработке и эксплуатации электротехнических материалов. Основные результаты, изложенные в диссертации, достаточно полно апробированы и опубликованы на представительных международных и российских научных конференциях и в ведущих рецензируемых журналах и изданиях, определённых ВАК РФ: «Кабели и провода», «Научно-технические ведомости СПбГПУ», «Вопросы материаловедения» и др. Основные результаты работы автора отражены в 36 публикациях включая 3 патента на полезные модели и три статьи в изданиях, индексированных в системе цитирования Scopus. Публикации автора отражают основные положения работы.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.09.02 – Электротехнические материалы и изделия. Автор исследует: связи и закономерности при эксплуатации кабельных линий; физико-химические процессы в связи с внешними условиями эксплуатации; рассматривает методы диагностики и оптимизации технологии эксплуатации; моделирует процессы проектирования и эксплуатации; решает научно-техническую проблему с разработкой новых методов по поддержанию высокой долговечности, надёжности и безопасности существующих кабельных линий.

Автореферат выполнен с соблюдением установленных требований по объёму и структуре, полно и точно отражает содержание рассматриваемой диссертационной работы.

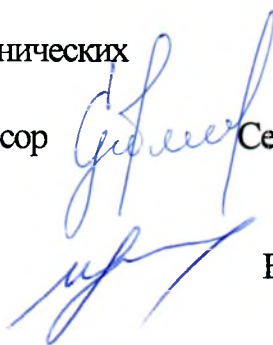
Результаты диссертации нашли практическое применение и вносят положительный вклад в развитие отрасли науки, связанной с электротехническими материалами и изделиями.

Таким образом, диссертация **«Комплексная оценка технических и эксплуатационных характеристик XLPE-кабельных систем среднего и вы-**

сокого напряжения», полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённом постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842, а её автор, Грешняков Георгий Викторович, заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 05.09.02 – Электротехнические материалы и изделия.

Диссертационная работа и настоящий отзыв обсуждены и одобрены на заседании кафедры физики и технологии электротехнических материалов и компонентов ФГБОУ ВО «НИУ» МЭИ» (протокол № 50 от 27 июня 2018 г.).

Заведующий кафедрой
физики и технологии электротехнических
материалов и компонентов,
доктор технических наук, профессор



Серебрянников Сергей Владимирович

Профессор,
доктор технических наук

Боев Михаил Андреевич

« » _____ 2018 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»)

Адрес: 111250, Россия, г. Москва, Красноказарменная улица, дом 14

Тел.: 8(495)362-78-58

e-mail: universe@mpei.ac.ru

<http://mpei.ru>