



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого»  
(ФГАОУ ВО «СПбПУ»)

ИНН 7804040077, ОГРН 1027802505279,  
ОКПО 02068574

Политехническая ул., 29, Санкт-Петербург, 195251  
тел.: +7(812)297 2095, факс: +7(812)552 6080  
office@spbstu.ru

№ \_\_\_\_\_  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

## УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе ФГАОУ  
ВО «Санкт-Петербургский  
политехнический  
университет Петра Великого», д-р техн.  
наук, член-корреспондент РАН



  
Сергеев В.В.

## ОТЗЫВ

ведущей организации - ФГАОУ ВО "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого" на диссертацию Козаковой Светланы Алексеевны "Исследование коммутационных перенапряжений и разработка защитных аппаратов для ремонтных работ под напряжением" представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности **05.14.12 – техника высоких напряжений.**

**Актуальность** диссертационной работы Козаковой С.А. определяется необходимостью более широкого внедрения ремонтных и сервисных работ на воздушных линиях электропередачи высших классов напряжения без отключения этих линий. Действительно, усиление требований к надежности межсистемных линий и увеличение экономических потерь при их отключении приводит к необходимости максимального использования технологий обслуживания линий без снятия напряжения. При этом возникает ряд сложных научно-технических задач по безусловному обеспечению безопасности ремонтного персонала. Решению этих задач и посвящена данная работа.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования "Новосибирский государственный технический университет". Состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 115 наименований и шести приложений. Диссертационная работа изложена на 167 стр. текста, включает 62 иллюстрации и 27 таблиц.

### **Оценка содержания диссертации.**

*Во введении* определяются актуальность работы, объект и предмет исследования, связь темы диссертации с общенаучными программами, цели работы, методы исследования. Формулируется научная новизна, теоретическая и практическая значимость, положения выносимые на защиту, приводится реализация и апробация работы.

004701



*В первой главе* рассмотрены и проанализированы основные методы работ на воздушных линиях без снятия напряжения, приведены основные виды работ и приемы их проведения. Подробно рассмотрены виды вредных воздействий на ремонтный персонал и методы защиты от них. Особое внимание уделено методам расчета минимальных изоляционных расстояний и определению зоны безопасности. Проведен анализ различных конструкций промежуточных опор и определены "проблемные" места выполнения ремонтных работ под напряжением. Рассмотрено также применение защитных искровых промежутков, обеспечивающих защиту при перенапряжениях, и показаны их недостатки. Предложено для ограничения перенапряжений использовать специальные защитные аппараты на основе нелинейных ограничителей напряжения.

*Во второй главе* рассматриваются разрядные характеристики воздушных промежутков для различных конфигураций электродов. Реализована попытка объединить достоинства двух подходов к оценке безопасности работ под напряжением: российской концепции индивидуальной степени риска и концепции минимального расстояния приближения по МЭК. Рассмотрены ряд факторов, влияющих на электрическую прочность, которые ранее не учитывались. Рассмотрено влияние на электрическую прочность ширины грани опоры, обращенной к проводу. Предложен способ построения оригинальных эквивалентных кривых, соответствующих неизменной электрической прочности воздушных промежутков между проводом и элементами опоры. Рассмотрено влияние на электрическую прочность данной фазы соседних фаз.

*В третьей главе* проанализированы виды перенапряжений, которые могут возникнуть при проведении работ под напряжением. Определено, что для анализа возможных кратностей перенапряжений необходимо рассматривать коммутационные перенапряжения, возникающие при однофазных коротких замыканиях на землю, трехфазные автоматические повторные включения для линий 220 кВ и однофазные автоматические повторные включения для линий 500 кВ. Показано, что кратность неограниченных перенапряжений при однофазных коротких замыканиях не превышает 1,8 и 1,7 для линий 220 и 500 кВ соответственно. При трехфазных АПВ на линиях 220 кВ кратность может достигать 2,6, а на линиях 500 кВ – 2,8, что требует ограничения перенапряжений. Проведены статистические оценки длительности фронтов коммутационных перенапряжений.

*Четвертая глава* посвящена разработке защитных аппаратов, ограничивающих перенапряжения в зоне производства работ. Показано, что аппараты с использованием нелинейных ограничителей перенапряжений предпочтительнее по сравнению с защитными искровыми промежутками. Определены основные технические требования, предъявляемые к подвесным защитным аппаратам, на основании которых были изготовлены опытные образцы этих аппаратов. Проведены успешные испытания опытных образцов. Рассмотрены основные требования к выбору места установки



защитного аппарата на ремонтируемой линии и разработан проект технологической карты на этот вид работы.

В пятой главе проведена сравнительная оценка экономической эффективности производства ремонтных работ под напряжением. Показано, что ущерб определяется двумя основными показателями надежности: безотказности и ремонтпригодности. Проведение ремонтных работ под напряжением позволяет существенно повысить ремонтпригодность линий и соответственно снизить ущербы. В качестве дополнительных преимуществ показано, что ремонты под напряжением снижают количество коммутаций, что повышает надежность работы коммутационной аппаратуры и сети в целом, отсутствие потерь из-за неоптимальной схемы передачи энергии при отключении линий, оптимизируют сроки проведения работ и загрузки ремонтных бригад. Кроме того впервые рассмотрено снижение ущербов за счет сохранения оптимальных режимов работы электростанций и генераторных мощностей.

В заключении сформулированы основные выводы по представленной работе, показано, что решены поставленные задачи, позволяющие достичь цели проведенных исследований.

Приложения содержат вклад соискателя в публикации, который составляет не менее 50%, акт внедрения результатов работы, протокол испытаний опытных образцов защитных аппаратов, проект технологической карты по установке защитных аппаратов, анализ электрогенерации Бийской ТЭЦ, расчетные схемы при использовании Г-образной схемы замещения воздушной линии.

**Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности 05.14.12 – Техника высоких напряжений.**

Материалы диссертации соответствуют пунктам 1,3,5,7 области исследования паспорта научной специальности 05.14.12 по техническим наукам.

**Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации.**

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

**Научная новизна** полученных автором результатов состоит в следующем:

1. Определены основные характеристики коммутационных перенапряжений, возникающих при однофазном коротком замыкании и автоматическом повторном включении на ВЛ 220 и 500 кВ и влияющих на электрическую прочность изоляционных промежутков в зоне ПРН:

– зависимости кратности перенапряжения от вида и взаимного расположения места короткого замыкания и места проведения ремонта по длине линии;

– распределения плотности вероятности по длительности фронта перенапряжений.

2. В рекомендованной МЭК методике расчёта минимальных изоляционных расстояний введены корректирующие коэффициенты,



учитывающие влияние на электрическую прочность воздушных изоляционных промежутков длительности фронта коммутационных перенапряжений, конструкции и размеров опоры, а также взаимного расположения зоны ПРН и проводов линии. Эти же корректировки могут быть использованы в вероятностной методике оценки степени риска ремонтных работ под напряжением.

3. На основе полученных данных по перенапряжениям и разрядным характеристикам изоляционных промежутков в зоне ПРН разработаны основные технические требования к защитным аппаратам ОПН-ПРН.

4. Определены минимальные допустимые изоляционные расстояния в зоне производства ремонтных работ под напряжением на линиях 220 и 500 кВ при условии ограничения коммутационных перенапряжений разработанными защитными аппаратами.

**Достоверность** полученных данных обеспечена применением в экспериментах сертифицированного испытательного оборудования, поверенных измерительных приборов и стандартных методов высоковольтных испытаний, корректным использованием аппарата волновых процессов для расчётов коммутационных перенапряжений в линиях электропередачи и лицензированного программного обеспечения. **Обоснованность выводов и рекомендаций** работы подтверждена публикациями результатов исследований.

**Значимость для науки** заключается в развитии методики расчёта разрядного напряжения изоляционных промежутков в зоне ПРН, определяющей выбор допустимых расстояний между ремонтником на потенциале провода и заземлёнными предметами, а также уровень требуемого ограничения случайных коммутационных перенапряжений.

**Практическая значимость** заключается в том, что за счёт применения разработанных защитных аппаратов обеспечивается возможность проведения работ под напряжением на линиях 220 и 500 кВ со сниженными изоляционными расстояниями и без вывода из работы устройств автоматического повторного включения. Совокупность полученных результатов создаёт основу для решения важной научно-технической задачи по обеспечению бесперебойного электроснабжения потребителей энергии.

**Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати.**

Основные результаты работы отражены в 11 научных трудах, в том числе в 4-х статьях периодических изданий по перечню ВАК. Обсуждение на международных, всероссийских конференциях и семинарах свидетельствует о том, что работа прошла апробацию в профессиональном сообществе.

**Дискуссионные положения и замечания.**

1. Одним из достоинств работы является учет длительности фронта импульса при определении разрядных характеристик. Так на рис.2.3 показаны зависимости электрической прочности промежутка от длительности фронта для четырех длин. Из рис.3 следует, что для разных промежутков критическая длительность фронта меняется в диапазоне от 100



до 350 мкс. Однако при расчете кривой 1 на рис.2.2 использовалась длительность фронта 1000 мкс, при которой прочность выше. Не ясно также на каком основании в работе длительность фронта определяется как время с момента достижения напряжения общей короны на проводе до максимума напряжения, что существенно отличается от определения по ГОСТ Р 55194-2012.

2. Не соответствует этому ГОСТу и терминология по статистическим характеристикам. В работе среднеквадратичным отклонением разрядных напряжений называется (см.п.3.5.5) стандартное отклонение от 50%-ного разрядного напряжения -  $\sigma$ : Мера наклона кривой эффекта – зависимости вероятности полного разряда от амплитуды приложенного напряжения. Среднеквадратичным отклонением разрядных напряжений «s» по ГОСТ Р 55194-2012 называется: Мера разброса разрядных напряжений от среднего значения.

3. В пояснениях к рис.2.3 указывается, что на нём показаны в виде крестиков экспериментальные значения, однако на этом рис. Крестиков нет. По-видимому речь идёт о рис.2.2.

4. На стр.51 указывается, что «...влияние прочих факторов учитывать коэффициентами, входящими в (1.8)». Однако в формуле (1.8) коэффициентов нет. По-видимому речь идёт о формуле (1.9).

#### **Общее заключение по работе.**

Указанные недостатки не снижают общего положительного впечатления от диссертации, в которой решен ряд важных научно-технических задач по обеспечению безопасности проведения работ под напряжением на линиях электропередачи высокого и сверхвысокого напряжения. Диссертационная работа С.А.Казаковой «Исследование коммутационных перенапряжений и разработка защитных аппаратов для ремонтных работ под напряжением» является завершённой научно-квалификационной работой и соответствует требованиям, установленным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.12 – Техника высоких напряжений.

Отзыв принят на заседании кафедры «Техники высоких напряжений, электроизоляционной и кабельной техники», протокол №2 от 07.09.2018г.

Зав.кафедрой ТВН,ЭиКТ,

д.т.н., профессор

Василий Васильевич Титков

Отзыв получен  
10.10.2018

С отзывом ознакомлена  
10.10.2018г. Казакова С.А.

А. Русина А.Г.