

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Казаковой Светланы Алексеевны** «Исследование коммутационных перенапряжений и разработка защитных аппаратов для ремонтных работ под напряжением», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.12 – Техника высоких напряжений

### 1. Структура и объем диссертации

Диссертационная работа включает в себя введение, 5 глав, заключение, список литературы из 115 наименований и 6 приложений. Основной текст диссертационной работы изложен на 167 страницах и включает 62 иллюстрации и 27 таблиц.

### 2. Актуальность темы диссертации

Производство ремонтных работ под напряжением (ПРН) на воздушных линиях электропередачи (ВЛ) высокого и сверхвысокого напряжения осуществляется с давних пор и является альтернативой ремонтам с выводом линий из работы. Для производства ремонтных работ под напряжением необходимо обеспечить безопасность ремонтного персонала и, прежде всего, исключить перекрытия изоляционных промежутков между потенциальными элементами (провода, арматура, экраны) и заземленными элементами (опора, растительность, грузоподъемные механизмы) в зоне, в которой находятся ремонтники. При производстве работ под напряжением основную угрозу создают перенапряжения, которые могут возникнуть от случайных коротких замыканий на соседних с ремонтируемой фазой проводах линии и возможных повторных включениях.

Поэтому **актуальность темы** диссертации Казаковой С.А., посвящённой разработке специальных защитных аппаратов для ПРН, не вызывает сомнений.

### 3. Оценка содержания диссертации

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследований, их новизна и практическая значимость.

В **первой главе** выполнен обзор технологий и проблем обеспечения безопасности ПРН, решаемых преимущественно нормированием минимально допустимых изоляционных расстояний в зоне ПРН. Выявлены «проблемные» опоры ВЛ, на которых изоляционные промежутки в зоне предполагаемых работ под напряжением оказываются меньше расстояний, предельно допустимых по нормативным документам и расчётам. Предложено решать эту проблему посредством ограничения возможных перенапряжений специальными защитными аппаратами на основе нелинейных ограничителей перенапряжений (ОПН). Обоснована логическая цепь их разработки: исследования возможных коммутационных перенапряжений, выбор необходимых характеристик и конструкции защитных аппаратов, изготовление опытных образцов и проведение их высоковольтных испытаний.

**Вторая глава** посвящена оценкам электрической прочности воздушных промежутков в зоне ПРН. В рекомендованную стандартом МЭК 61472 методику расчёта минимальных изоляционных расстояний введены **новые** 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.

**Третья глава** посвящена исследованиям перенапряжений на ВЛ высокого и сверхвысокого напряжения. Расчёты проводились численными методами с использованием программных пакетов МАЭС и АТР-ЕМТР. В основе расчётов лежали классические модели переходных процессов в линиях электропередачи. При АПВ учитывались оставшиеся на здоровых фазах заряды. По итогам расчётов определены основные характеристики перенапряжений, возникающих при однофазном коротком замыкании и ТАПВ на ВЛ 220 и ОАПВ на ВЛ 500 кВ.

В **четвертой главе** обсуждаются отдельные вопросы и результаты разработки защитных аппаратов для ПРН на ВЛ 220 и 500 кВ. Основной трудностью при разработке была координация распределения напряжения между искровым промежутком и модулем ОПН до срабатывания аппарата.

На первом этапе были обоснованы нижний предел выдерживаемого напряжения искрового промежутка ( $1,3U_{н.раб.ф}$ ) и уровень ограничения перенапряжений всего аппарата ( $1,8 U_{н.раб.ф}$ ). Затем в предположении, что напряжение между модулями аппарата делится обратно пропорционально их емкостям, синтезировалась схема замещения аппарата и определялась доля общего напряжения заданной кратности, приходящаяся на искровой промежуток. Затем по среднему разрядному градиенту определялись длины искровых промежутков, которые корректировались по результатам высоковольтных испытаний опытных образцов.

В **пятой главе** рассмотрены вопросы эффективности ПРН на ВЛ. Основным аргументом в пользу ПРН было сокращение потерь электрической энергии при её вынужденной канализации по обходным линиям взамен линии, выведенной в ремонт. Автор предлагает учитывать и **новый** фактор экономической эффективности ПРН, связанный с оптимизацией генерации электроэнергии для покрытия недостающих мощностей в дефицитном энергорайоне.

В **заключении** отражены основные научные и практические положения, полученные в ходе диссертационного исследования.

**Приложения** содержат акт внедрения результатов исследования, вклад соискателя в публикации, протокол высоковольтных испытаний опытных образцов защитных аппаратов, расчетные схемы, проект технологической карты и анализ электрогенерации Бийской ТЭЦ.

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

Содержание диссертации полностью соответствует паспорту научной специальности 05.14.12 "Техника высоких напряжений".

#### **5. Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

#### **6. Методы исследования**

При выполнении диссертационной работы проводились расчеты по современным программам для ПК и высоковольтные испытания защитных аппаратов. Результаты расчетов и результаты испытаний обрабатывались с применением методов математической статистики и теории вероятностей.



## **7. Степень обоснованности и достоверности полученных научных положений**

Обоснованность научных положений и рекомендаций подтверждена результатами высоковольтных испытаний опытных образцов разработанных защитных аппаратов в аттестованном испытательном центре.

Достоверность результатов базируется на использовании фундаментальных положений теории электрических цепей и электромагнитного поля, общепризнанных механизмах пробоя длинных воздушных промежутков, использовании апробированных компьютерных программ и результатах лабораторных исследований, результаты которых соответствуют опубликованным в литературе данным.

## **8. Уровень новизны научных положений, выводов и рекомендаций**

Научная новизна результатов диссертационной работы определяется следующими положениями:

1. Определены зависимости кратности перенапряжения от вида и взаимного расположения места короткого замыкания и места проведения ремонта по длине линии, в том числе при условии ограничения амплитуды перенапряжений защитными аппаратами.
2. Представлены распределения плотности вероятности по длительности фронта перенапряжений.
3. На основе полученных данных разработаны основные технические требования к характеристикам новых защитных аппаратов ОПН-ПРН, которые нашли подтверждение при высоковольтных испытаниях.

## **9. Ценность для науки и практики результатов исследования**

Ценность для науки определяется вкладом в развитие методологии производства ремонтных работ под напряжением на воздушных линиях электропередачи высокого и сверхвысокого напряжения.

Итоговые высоковольтные испытания ОПН-ПРН-220 кВ и ОПН-ПРН-500 кВ доказали правоту автора в выборе основных габаритов искрового промежутка и модуля ОПН. Расчетные оценки выделяемой в ОПН энергии при срабатывании защитного аппарата подтвердили правильность выбора класса энергоемкости. Опытные образцы защитных аппаратов переданы в эксплуатацию, а рекомендации по их применению внедрены в МЭС Сибири.

Эти достижения подтверждают **практическую значимость** выполненных исследований.

## **10. Отличие выполненной работы от других работ в данной области**

Диссертационная работа Казаковой С.А. отличается от других работ, выполненных в данной области, комплексным и целостным подходом к решению поставленной задачи:

- определены характеристики коммутационных перенапряжений при 1-ф КЗ и АОПВ на ВЛ 220 кВ и 500 кВ, действующих на изоляционные промежутки в зоне ПРН;
- получены зависимости кратностей перенапряжений от вида и расположения места КЗ, а также места ПРН;
- определены распределения плотности вероятности по длительности фронта перенапряжений.

## **11. Личный вклад**

Автором работы проведен обзор научно-технической литературы по тематике диссертационного исследования, выполнена постановка научно-исследовательских задач и их решение, сформулированы выводы и рекомендации по результатам исследований.

## **12. 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. Личный вклад в работы, опубликованные в соавторстве, составляет не менее 50%.

Материалы диссертации опубликованы с достаточной полнотой.

## **13. Соответствие полученных результатов поставленной цели и задачам**

Полученные результаты соответствуют поставленной цели. Сформулированные задачи решены.

## **14. Замечания**

По работе имеется ряд замечаний общего и частного характера.

1. ОПН является аббревиатурой полного названия «Ограничитель Перенапряжения Нелинейный». На стр.87 приведено название ОПН как «ограничитель повышенных напряжений», что не является корректным. Для ОПН в научной литературе используются различной степени сложности модели: от простой в виде нелинейного сопротивления с ВАХ  $i = A \cdot i^\alpha$  до сложной в виде цепи из последовательно-параллельно соединенных емкостей и нелинейных сопротивлений (см., например, модель, описанную К.П.Кадомской). В диссертации отсутствует анализ таких схем в отношении применимости их в проводимых численных расчетах. Электрическая схема ОПН, используемая в диссертации, отсутствует.
2. На стр.51 указано, что автором были проведены несколько сотен расчетов коммутационных перенапряжений. Методика расчета не приведена, поэтому возникают вопросы об эффективности проведенных расчетов. Известно, что при многофакторных зависимостях наибольший эффект достигается при применении методов планирования эксперимента. Основная цель планирования эксперимента – достижение максимальной точности при минимальном количестве проведенных опытов (в том числе, численных) и сохранении статистической достоверности результатов.
3. При выборе схем электропередачи, видов и условий коммутаций для исследования коммутационных перенапряжений не проанализированы модели примыкающих систем и модели ВЛ с точки зрения частотной зависимости параметров при электромагнитных переходных процессах. Не учтена проблема обрезания частотного спектра в расчетах при использовании модели ВЛ четырехполосниками с сосредоточенными параметрами.
4. На стр.63 указано, что в исследовании были «проигнорированы квазистационарные перенапряжения». Для реактированных ВЛ проблема повышенных квазистационарных перенапряжений не может быть проигнорирована. Резонансные перенапряжения, относящиеся к квазистационарным перенапряжениям, возникают в паузе ОАПВ (т.е. в



режимах, исследуемых диссертантом) при определенных сочетаниях параметров схемы.

5. Формулировка технических требований к ОПН-ПРН должна была бы явиться ключевым звеном в диссертационной работе. Однако, в тексте (стр.98) указано, что «подробности» в изложении опускаются. Это методологически является не совсем правильным решением.
6. По оформлению:
  - 6.1. Трудности при прочтении текста из-за большого количества излишних запятых.
  - 6.2. Имеются перепутанные ссылки на рисунки (стр.50) и выражения (стр.81).
  - 6.3. Рис.1.20 неинформативный, на него имеются ссылки (стр.41, стр.85).
  - 6.4. Несмысловое употребление некоторых слов (стр.63).
  - 6.5. Некорректное использование выражения «кратность перенапряжений» (стр.55, стр.92).
  - 6.6. Отсутствуют однолинейные схемы исследуемых электрических цепей. Расчетные схемы являются специфическими для используемого программного обеспечения и не являются общеупотребительными (стр.65, стр.66, стр.67, стр.69, стр.166).
  - 6.7. На стр.94 приведено выражение для расчета емкости в системе СГС. Следовало бы использовать общепринятую и рекомендуемую стандартами систему СИ.
  - 6.8. В тексте применяются излишние для научного текста эмоциональные оценки: «весьма привлекательный» (стр.54), «любопытно», «к сожалению», «естественно».

#### **15. Соответствие диссертации критериям «Положению о присуждении ученых степеней»**

По п. 9. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании проведенных автором исследований предложены и реализованы новые решения важных задач для науки и практики, а именно задач проведения ремонтных работ под напряжением на воздушных линиях электропередачи высокого и сверхвысокого напряжения.

По п. 10. Диссертация подготовлена в виде рукописи, написана автором самостоятельно, структурирована и обладает внутренним единством, содержит положения, заслуживающие публичной защиты. Содержание диссертации и опубликованные работы позволяют отметить достаточный личный вклад диссертанта в науку. Практическая полезность результатов выполненных научных исследований показана в диссертации с достаточной обоснованностью.

По п. 11-13. Основные научные результаты диссертации достаточно полно отражены в четырех публикациях в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

По п. 14. Диссертация отвечает указанным критериям.

#### **16. Заключение**

В диссертации решена важная научно-техническая задача по разработке специальных защитных аппаратов для проведения работ под напряжением на линиях электропередачи высокого и сверхвысокого напряжения. Высказанные замечания не опровергают ни научных, ни практических результатов диссертации и не меняют общего положительного мнения о работе.

Диссертационная работа С.А. Казаковой является завершенной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям, установленным в «Положении о присуждении ученых степеней ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.12- Техника высоких напряжений.

Официальный оппонент  
кандидат технических наук  
по специальности 05.14.12 –  
Техника высоких напряжений,  
заместитель директора по науке  
ООО «Болид», г. Новосибирск,



Наумкин  
Иван Егорович

Сведения:

**Организация:** Общество с ограниченной ответственностью «БОЛИД».

**Юридический адрес:** 630015, г. Новосибирск, ул. Электrozаводская, 2, корп.6.

**Почтовый адрес:** 630015, г.Новосибирск-15, а/я 119.

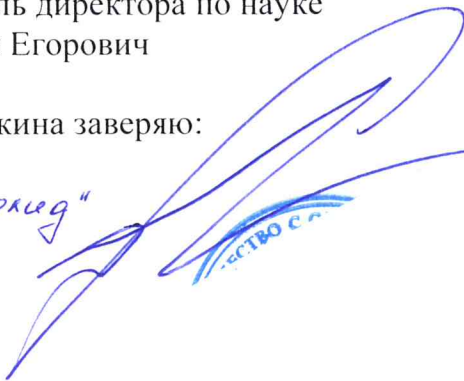
**Телефон:** +7 (383) 325-33-17

**Должность:** заместитель директора по науке

**Ф.И.О.:** Наумкин Иван Егорович

Подпись И.Е. Наумкина заверяю:

директор ООО «Болид»



И. И. Серен

Отзыв получен  
02.10.2018  
А. Русина А.Т.

с отзывом ознакомлена  
02.10.2018  
Казакова С.А.