

ОТЗЫВ

официального оппонента Киреева Кирилла Владимировича
на диссертационную работу Юренкова Юрия Петровича
на тему **«Совершенствование ограничителей тока на основе жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей в системах электроснабжения до 1 кВ»**,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы»

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Диссертация Юренкова Ю.П. посвящена решению задач повышения надежности и экономичности систем электроснабжения до 1 кВ при коротких замыканиях с учетом перспективного развития электроэнергетической системы РФ. Целью диссертационного исследования является совершенствование ограничителей тока на основе жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей (ЖСП), обеспечивающее снижение инвестиций в системы электроснабжения до 1 кВ за счет возможности применения автоматических выключателей с пониженной отключающей способностью и снижения требований к динамической и термической стойкости проводников.

В настоящее время развитие и совершенствование систем электроснабжения предполагает сокращение расстояний для транспортировки электроэнергии, применение дополнительных источников генерации электроэнергии и т.п. Все эти мероприятия приводят к увеличению токов короткого замыкания в системах электроснабжения. Существующие устройства ограничения токов короткого замыкания в системах электроснабжения до 1 кВ в ряде случаев не обладают достаточными токоограничивающими свойствами.

Одним из возможных вариантов решения проблемы является использование ограничителей тока на основе ЖСП. Исследования в области разработки и совершенствования таких устройств представляют большой интерес. Актуальными являются как теоретические исследования в данной области,

направленные на разработку математических моделей процесса короткого замыкания в электротехническом комплексе с ограничителем тока, так и апробация полученных результатов на практике.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

В диссертации Юренкова Ю.П. впервые получен ряд результатов, обладающих научной новизной:

- разработана и исследована уточненная математическая модель процесса короткого замыкания в электротехническом комплексе с ограничителем тока на основе ЖСП с одноступенчатым принципом токоограничения, отличающаяся от известных меньшим количеством допущений;
- впервые разработана математическая модель процесса короткого замыкания в электротехническом комплексе с ограничителем тока с двухступенчатым принципом токоограничения;
- впервые проведен параметрический синтез ограничителей тока с одно и двухступенчатым принципом токоограничения;
- получены новые результаты экспериментальных исследований, которые могут быть использованы для дальнейшего совершенствования конструкций ограничителей тока на основе ЖСП.

Результаты диссертационной работы Юренкова Ю.П. обладают практической ценностью и могут быть использованы для создания промышленных образцов ограничителей тока на основе ЖСП. Особый интерес представляет разработанная автором структурная схема нового токоограничивающего устройства на основе двух ЖСП с двухступенчатым принципом токоограничения, обеспечивающая повышение коммутационного ресурса ограничителя тока. Практическая ценность технических решений подтверждена актом внедрения в учебный процесс кафедры «Электроснабжения» ФГБОУ ВО «УлГТУ» и актом внедрения в АО «Прометей» разработанной программы (Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ 2021616865

РФ) для уменьшения времени расчета уставок релейной защиты, повышения точности расчета и надежности системы электроснабжения.

ОБОСНОВАННОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ

Достоверность полученных в работе научных результатов обеспечивается применением корректных математических методов исследования и сравнением результатов компьютерного моделирования с результатами натурных экспериментов.

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационная работа Юренкова Ю.П. четко структурирована и состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и четырех приложений.

Во введении обосновывается актуальность работы, оценивается разработанность проблемы, ставятся цель и задачи исследования, отмечается научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе рассмотрена проблема увеличения токов короткого замыкания в системах электроснабжения до 1 кВ. Проведен обзор известных принципов ограничения токов короткого замыкания в системах электроснабжения переменного тока. Проведена классификация токоограничивающих устройств, среди которых выделены: многофункциональные токоограничивающие устройства и узкофункциональные токоограничивающие устройства. Выявлены достоинства и недостатки каждого типа токоограничивающих устройств. В особую группу выделены энергосберегающие токоограничивающие устройства. К ним относятся: токоограничивающие устройства резонансного типа, сверхпроводящие ограничители тока, бесконтактные углеродные ограничители тока и ограничители тока на основе жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей. Выяснено, что для сетей низкого напряжения ограничители тока на основе жидкометаллических са-

мовосстанавливающих предохранителей в виду необходимости массового использования и низкой стоимости являются наиболее предпочтительными.

Во второй главе рассмотрены известные на сегодняшний день варианты конструкций ЖСП. Выявлен недостаток таких конструкций – низкий коммутационный ресурс, связанный с дуговой эрозией канала диэлектрической втулки. Проанализированы конструктивные решения, направленные на повышение коммутационного ресурса (применение материалов стойких к воздействию электрической дуги, применение тугоплавкого электрода), и схемные решения (применение низкоомного резистора). Синтезировано новое схемное решение, реализующее двухступенчатый принцип токоограничения, позволяющее повысить коммутационный ресурс и защищённое патентом РФ. Разработаны рекомендации по применению ЖСП в токоограничающих устройствах, использование ЖСП в комплексе с шунтирующим сопротивлением и дополнительным коммутационным аппаратом (автоматическим выключателем).

В третьей главе представлена уточненная математическая модель процесса короткого замыкания в электротехническом комплексе «источник питания – ограничитель тока – защищаемые элементы электрической сети» напряжением до 1 кВ и результаты ее исследования. Представлены новые математические модели процесса короткого замыкания в рассматриваемом электротехническом комплексе для ЖСП с тугоплавким электродом и для нового схемного решения, реализующего двухступенчатый принцип токоограничения, приведены результаты их исследования.

В четвертой главе рассмотрена перегрузочная способность элементов системы электроснабжения (проводников и кабелей, автоматических выключателей). Представлена методика параметрического синтеза ограничителя тока на основе ЖСП в электротехническом комплексе «источник питания – ограничитель тока – защищаемые элементы электрической сети» напряжением до 1 кВ. Представлен пример параметрического синтеза всех типов ограничителей тока на основе ЖСП.

В заключении отражены основные выводы по результатам исследований, полученные в ходе выполнения диссертационной работы. Приведены рекомендации по использованию результатов проведенного исследования и перспективы дальнейшей разработки ЖСП.

В приложении 1 представлена конструкция макетного образца ЖСП, конструкция блока создания начального давления, технология заправки ЖСП жидким металлом и технология подготовки ЖСП к лабораторным испытаниям.

В приложении 2 представлена программная модель электротехнического комплекса с ограничителем тока на основе ЖСП с шунтирующим сопротивлением, программная модель электротехнического комплекса с ограничителем тока на основе ЖСП с шунтирующим сопротивлением и повышенным коммутационным ресурсом и результаты исследования модели электротехнического комплекса с ограничителем тока на основе ЖСП с шунтирующим сопротивлением. Приведены результаты отладки и тестирования.

В приложении 3 представлены результаты тепловых и коммутационных экспериментальных исследований физической модели ЖСП.

В приложении 4 представлены акты использования результатов работы на АО «Прометей» и учебном процессе кафедры «Электроснабжения ФГБОУ ВО «УлГТУ».

В целом диссертация представляет собой последовательное и аргументированное изложение решений поставленных автором задач.

ОПУБЛИКОВАННОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

По теме диссертации имеется 15 публикаций, из них 3 статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 4 статьи в журналах, индексируемых Scopus и Web of Science. Новизна технических решений, предложенных автором, подтверждена 1 патентом на изобретение и 1 свидетельством на регистрацию программы для ЭВМ.

СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ АВТОРЕФЕРАТА ОСНОВНЫМ ЦЕЛЯМ И ВЫВОДАМ ДИССЕРТАЦИИ

Автореферат отражает основное содержание диссертации. Автореферат и диссертация оформлены в соответствии с требованиями ВАК РФ. Апробация диссертационной работы подтверждается участием ее автора в 7 международных научно-технических конференциях.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1. В главе 1 на странице 21 выбрано действующее значение тока 100 кА, однако не пояснено, почему сделано такое предположение.

2. В главе 2 отмечено, что коммутационный ресурс ЖСПИ может быть повышен за счет применения карбидов металлов с температурой плавления от 3000 до 4000 °С. Однако при проведении натурных экспериментов использовалась керамика на основе оксида бериллия. С чем это связано?

3. В главе 3 электрическая дуга представлена способом, описанным на странице 72. Почему был взят такой способ, а не использована, например, модель электрической дуги О. Майра?

4. Почему для построения некоторых зависимостей, например, на рисунках 3.8, 3.9, 3.10 и др., использовались соотношения сопротивлений $\frac{R}{\omega \cdot L} = 0,001$ и $\frac{R}{\omega \cdot L} = 100$?

5. На некоторых рисунках, например, 1.4, 2.5, 2.7, 3.7 и др., плохо читаются надписи.

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и научной ценности диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационное исследование Юренкова Юрия Петровича на тему «Совершенствование ограничителей тока на основе жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей в системах электроснабжения

