

ОТЗЫВ

официального оппонента Емельянова Владислава Николаевича на диссертацию Поповцева Владислава Викторовича на тему «Синтез математических моделей дуги отключения при коммутации элегазовых выключателей высокого напряжения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

На отзыв представлены:

- Диссертация «Синтез математических моделей дуги отключения при коммутации элегазовых выключателей высокого напряжения», содержащая введение, четыре главы, заключение, перечень сокращений и условных обозначений, список литературы из 237 наименований, общим объемом 118 страниц, включая 38 рисунков и 12 таблиц.
- Автореферат диссертации.

Актуальность темы диссертации

Использование современных средств численного моделирования гидрогазодинамических и тепломассообменных процессов, происходящих в дугогасительном устройстве элегазового выключателя при отключении токов короткого замыкания, является чрезвычайно актуальным. Причиной этого является тот факт, что проектирование новых элегазовых выключателей высокого напряжения или модернизация существующих под возрастающие требования к их коммутационной способности являются дорогостоящими мероприятиями и уклон делается в сокращение времени и затрат на натурные испытания.

Цель диссертации состоит в разработке математической модели взаимодействия потока элегаза с дугой отключения на основе ALE-подхода в программном комплексе численного моделирования Comsol Multiphysics 6.0.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе ставятся и решаются следующие **задачи**: 1) проанализированы существующие модели и подходы, описывающие физические процессы при гашении дуги в автокомпрессионных дугогасительных устройствах при отключении токов короткого замыкания элегазовыми выключателями высокого напряжения; 2) разработана математическая модель дуги отключения в программном комплексе численного моделирования с учетом турбулентных потоков по модели $k-\varepsilon$ с

использованием Arbitrary Lagrangian – Eulerian (ALE)-подхода (подвижной сетки); 3) произведено сравнение полученных расчетных газодинамических параметров (изменение давления в подпоршневой области) с экспериментальными данными из исследования по отключению тока короткого замыкания реальным автокомпрессионным дугогасительным устройством элегазового выключателя 110 кВ.

Оценка содержания и оформления диссертации

Диссертация написана четко, используемая терминология и стиль соответствуют общепринятым стандартам. Структура работы традиционная, согласованная, сделаны выводы по каждой главе и всей диссертации, отражающие результаты исследования. При цитировании результатов других авторов приведены соответствующие ссылки.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы и описана проблема, которая будет исследоваться. Сформулированы цели и задачи диссертации.

Во второй главе разработана математическая модель взаимодействия дуги и потока элегаза в автокомпрессионном дугогасительном устройстве элегазового выключателя 110 кВ двустороннего дутья при отключении токов короткого замыкания. Модель основана на экспериментальных данных и описывает процессы температурного нагрева при горении дуги в межконтактном промежутке. Также представлены методы численного решения уравнений газодинамики в программном комплексе Comsol Multiphysics 6.0 с использованием ALE-подхода.

Третья глава посвящена описанию и анализу результатов численного моделирования процессов отключения токов короткого замыкания элегазового выключателя 110 кВ с двусторонним дутьем при учете и без учета взаимодействия дуги и потока элегаза, обдувающим ее. Результаты представлены в виде полей скоростей, давлений и температуры при движении контактной системы дугогасительного устройства.

Четвертая глава содержит результаты использования математической модели для расчета остаточного коммутационного ресурса при отключении элегазового выключателя 110 кВ на основе данных осциллограмм тока и сигнала с электромагнитна отключения с помощью программного обеспечения ЭКРА Waves.

В заключении представлены основные результаты и перспективные направления исследований в области математического моделирования процессов дуги отключения при коммутации элегазовых выключателей высокого напряжения.

Научная новизна

Заключается в инновационном методе моделирования взаимодействия дуги отключения и потока элегаза в элегазовом выключателе, основанным на ALE-подходе, что позволяет учитывать изменения физических процессов по ходу движения контактной системы выключателя.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в разработке численной модели, которая отражает взаимодействие элегазового потока с дугой отключения в элегазовом выключателе 110 кВ. Разработанная математическая модель может быть использована для оптимизации конструкции дугогасительного устройства элегазового выключателя высокого напряжения на основе учета кривой хода контактной системы.

Достоверность основных выводов и результатов работы основана на сравнении газодинамических параметров (давление в подпоршневой области), полученных с помощью разработанной математической модели с экспериментом.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

2.4.2. Электротехнические комплексы и системы:

- п. 1 «Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, анализ системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем, включая электромеханические, электромагнитные преобразователи энергии и электрические аппараты, системы электропривода, электроснабжения и электрооборудования промышленного назначения»;
- п. 2 «Разработка научных основ проектирования, создания и эксплуатации электротехнических комплексов, систем и их компонентов»;
- п. 4 «Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов, систем и их компонентов в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях, диагностика электротехнических комплексов».

Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 7 научных работах, 4 из которых – в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, в том числе 3 статьи в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и WoS

Соответствие автореферата содержанию диссертации. Содержание диссертации в полной мере отражено в опубликованных статье и автореферате. Ключевыми достоинствами диссертационной работы является проведенный анализ факторов, которые необходимо учитывать при взаимодействии потока элегаза с дугой отключения. Небольшое расхождение между расчетными и экспериментальными значениями давления свидетельствует о высокой точности модели.

В качестве замечаний по работе можно отметить следующие:

1. В работе точность модели определялась в сравнении с экспериментом через определение коэффициента детерминации R^2 по изменению давления в подпоршневой области. Использовались ли другие методы?

2. Насколько серьезно допущение о неучете в расчетах процесса автогенерации при гашении дуги?

3. В расчетах процесса гашения дуги не учитывалась возможность автогенерации. В каких пределах это надежно и допустимо?

4. Как задавался коэффициент теплопроводности элегаза при расчетах?

5. В работе не учитывались процессы излучения. Делались ли оценки его реальной величины?

6. Модель не в полной мере учитывает переменность тока, и пульсационный характер введения тепла. В частности, не затронуты процессы перехода тока через нуль, а также процесс восстановления электрической прочности в межконтактном промежутке. На данном интервале времени, в реальных размерах и при околосвуковых скоростях обдувания электродов для гашения дуги временной фактор является определяющим. Т.е. динамика физических процессов зависит не только от движения подвижной части выключателя, но и от динамики тепловыделения, от теплопроводности и конвекции, и от множества других факторов, которые заслуживают пояснений.

7. Раздел «2.1.2. Численные методы» раскрыт неполностью. Чем обуславливается выбор метода конечных элементов в качестве расчетного?

Перечисленные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Заключение. Данная диссертационная работа является серьезным исследованием и заслуживает высокой оценки, причем не только положений, выносимых на защиту.

Подробно описаны конструкции разных коммутаторов-дугогасителей, движение газа в них, и – физика сопутствующих процессов, таких, как абляция стенок, возможности конденсации элегаза и т.п.

Для совершенствования методов расчета в данной области в дальнейшем следует обратить большее внимание на физические процессы в самой дуге, как в главном объекте всего процесса. Работы в этом направлении в последнее время не были в центре внимания, и имеющиеся подходы существенно отстают от необходимого уровня отражения и моделирования ситуации. При продолжении принципиально перспективного развития этой темы в дальнейшем, можно порекомендовать подход, описанный в малоизвестной работе [Горбунов А.А., Иголкин С.И. Инженерный расчет параметров плазмы дуги, горящей между графитовыми электродами в окружающей атмосфере гелия. – Электронная обработка материалов, 2002, №5, с.70-77]. Там показана возможность несложного изменения направления моделирования, при котором данные для расчета берутся не из эмпирических характеристик дуги, а наоборот, условия в окружающей среде определяют параметры устойчивого разряда.

В данной диссертационной работе учет кривой хода контактов на основе применения ALE-подхода позволяет рассмотреть процесс дугогашения в рамках модели, представленной автором. Она может служить отправной точкой для дальнейшего развития математических моделей процесса отключения, учитывающих более детальное протекание физических процессов в ДУ при коммутации элегазовых выключателей.


Рассматриваемая диссертационная работа «Синтез математических моделей дуги отключения при коммутации элегазовых выключателей высокого напряжения» соответствует паспорту научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям, установленным в пункте 9 Положения о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Поповцев Владислав Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент

доктор технических наук (докторская диссертация защищена по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы), профессор, профессор кафедры Плазмогазодинамики и теплотехники федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего образования «Балтийский государственный
технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»

 Емельянов Владислав Николаевич

Дата составления отзыва «20» марта 2024 г.

190005, Россия, Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1
Телефон: +7-812-495-77-08
e-mail: ve5303@mail.ru

Я, Емельянов Владислав Николаевич, даю согласие на включение своих
персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета,
и их дальнейшую обработку.

Подпись Емельянова В. Н. заверяю:

Ученый секретарь Ученого Совета
БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова



М.Н. Охочинский

«20» марта 2024 г.