

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО Новосибирский
государственный технический университет

доктор технических наук, профессор

А.А. Батаев

22 ноября 2016 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Шнайдера Антона Витальевича «Процессы при переходе тока сильноточной вакуумной дуги через ноль», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.02 – вакуумная и плазменная электроника.

Диссертация Шнайдера А.В. посвящена исследованию процессов сильноточной вакуумной дуги при переходе тока через ноль. Исследованием процессов в вакуумных выключателях занимаются достаточно активно уже много лет. Однако до сих пор существует ряд спорных моментов, требующих той или иной проверки. К одному из таких моментов можно отнести скорость расширения катодного слоя, формирующегося после обрыва дуги в условиях быстронарастающего напряжения на промежутке. Немаловажную роль в процессе восстановления электроизоляционных свойств промежутка играют длительность горения дуги, как источник плазмы, и температура поверхности анода, как источник паров к концу полупериода тока. Кроме того, рассматривается вопрос вторичного дугообразования в промежутке, заполненного плазмой первичного разряда, при относительно малых напряжениях на промежутке и при наличии дефектов сплошности покрытия электродов. Данная проблема достаточно остро стоит в бортовой аппаратуре космических аппаратов при их эксплуатации в условия орбитального пространства. Поэтому тематика диссертационной работы А.В. Шнайдера актуальна и направлена на изучение этих вопросов.

Диссертация, объемом 166 страниц, состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 115 наименований. Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы, определена основная цель, изложена научная новизна, поставлены задачи и представлены научные положения, выносимые на защиту. В **первой главе** приводится обзор литературы по тематике диссертации. Здесь описаны основные свойства вакуумного дугового разряда, анализируются способы инициирования дугового разряда, режимы горения вакуумной дуги, процессы в прианодной области и температура поверхности анода. Также рассматриваются процессы после обрыва дуги, такие как формирование катодного слоя и восстановление электрической прочности после перехода тока через ноль.

Вторая глава посвящена исследованию динамики катодного слоя после обрыва сильноточной вакуумной дуги в условиях роста напряжения на промежутке. Эксперименты проводились на синтетической схеме, имитирующей режим короткого замыкания в вакуумном выключателе. Для исследования расширяющегося катодного слоя использовались одиночные цилиндрические зонды Ленгмюра, работающие в режиме электронного тока насыщения. На основе экспериментальных данных строилась двумерная картина расширения катодного слоя. Также представлены результаты по измерению температуры электронов и концентрации плазмы как при горении сильноточной вакуумной дуги, так и в окрестностях нуля тока.

Третья глава посвящена исследованию анодного факела, формирующегося при горении вакуумной дуги. Для объяснения процессов, протекающих при формировании факела, использовался метод скоростной регистрации спектрально-дифференцированных изображений. Кроме того, представлен метод, позволяющий измерять температуру поверхности анода после перехода тока через ноль. Данный метод основан на скоростной регистрации изображений с возможностью оценки температуры по интенсивности свечения.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния длительности горения сильноточной вакуумной дуги на отключающую способность вакуумной дугогасительной камеры. Рассматриваются два пути ограничения длительности горения: изменение времени размыкания контактов относительно начала полупериода тока и шунтирование промежутка полупроводниковым ключом. Показана перспективность метода шунтирования разрядного промежутка.

В пятой главе представлены результаты инициирования вторичного дугового разряда при напряжении на промежутке порядка 100 В как в вакууме, так и в газе низкого давления. Также представлены результаты по критическому размеру дефекта сплошности диэлектрического покрытия электродов, который способен привести к инициированию вторичного дугового разряда в промежутке, заполненного плазмой. Экспериментальные данные сравниваются с результатами теоретического моделирования.

Основные результаты диссертационной работы Шнайдера А.В. опубликованы в ведущих рецензируемых отечественных и зарубежных научных журналах: таких публикаций – семь, а также в материалах российских и международных конференций. Полученные результаты достоверны и имеют научную новизну. Текст автореферата соответствует содержанию диссертации.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что:

- 1) показана возможность улучшения отключающей способности вакуумного выключателя путем параллельного подключения полупроводникового ключа;
- 2) экспериментально установлен критический размер дефекта сплошности диэлектрического покрытия на электродах, который приводит к инициированию вторичного дугового разряда в условиях окружения промежутка плазмой.

Результаты диссертационной работы представляют интерес для специалистов, занимающихся разработкой и исследованием вакуумных дугогасительных камер, а также специалистов, занимающихся разработкой радиоэлектронной аппаратуры, эксплуатируемой в вакууме или газе низкого давления. Также результаты работы представляют интерес для специалистов по вакуумно-дуговым разрядам и могут быть использованы в исследованиях, проводимых в данной области.

Однако диссертация не лишена недостатков:

1. На мой взгляд, неверно сформулированы пункты научной новизны и защищаемые положения. Пункты научной новизны, в особенности 2,4 и 5, сформулированы абстрактно, тогда как защищаемые положения – конкретно. Следовало бы их поменять местами.
2. В работе приведен очень объемный и прекрасный обзор. Однако в обзоре явно не представлены нерешенные предшественниками проблемы. Поэтому постановка задач получилась несколько оторванной от обзора. Непрояснен выбор материала электродов. Почему Cu, CuCr?
3. Осталось неясным, почему при зондовых исследованиях не учитывалась диффузия, по крайней мере, следовало бы оценить её роль. Как доказывалось, что «наличие собирающего электроны зонда не оказывает заметного влияния на процессы...» (стр. 64)?
4. Как определялось, что при понижении напряжения дуга горит именно вплоть до напряжения второго ионизационного потенциала?
5. Как получено выражение (2.18) для оценки напряженности поля?
6. Обозначения сокращений должны быть после первого упоминания в тексте. По тексту встречаются опечатки, в частности употребление слова «величина» вместо «значение», описание рис. 3.3 противоречит обозначению по оси y , обозначения на рис. 3.15, 3.16 невозможно прочитать и т.п.

Несмотря на указанные замечания, работа Шнайдера А.В. заслуживает высокой оценки.

Диссертационная работа «Процессы при переходе тока силовоточной вакуумной дуги через ноль» представляет собой законченный научный труд и соответствует требованиям ВАК, а ее автор Шнайдер Антон Витальевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.02 – вакуумная и плазменная электроника.

Работа заслушана на совместном научном семинаре кафедр «Техника и электрофизика высоких напряжений» и «Безопасность труда» Новосибирского государственного технического университета (протокол N 11 от 22.11.2016 г.).

Заведующий кафедрой безопасности труда
д.ф.-м.н., профессор



С.М. Коробейников

Коробейников Сергей Миронович почтовый адрес: г. Новосибирск, 630073, пр-т К. Маркса, 20, корпус 2, телефон: +7-(383)-346-43-11, адрес электронной почты: korobeynikov@corp.nstu.ru, наименование организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Новосибирский государственный технический университет, должность – заведующий кафедрой безопасности труда, факультет энергетики, доктор физико-математических наук, профессор.

Подпись: _____
Имя, отчество, фамилия



С.М. Коробейников