

Отзыв научного руководителя  
на выпускную квалификационную работу магистранта

Яковлева Виталия Викторовича

на тему

**«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ АНОДА  
ПОСЛЕ ПОГАСАНИЯ СИЛЬНОТОЧНОЙ ВАКУУМНОЙ ДУГИ»**

Работа Яковлева В.В. посвящена исследованию температурного поля анода после погасания дуги в вакуумных дугогасительных камерах, использующих контакты, создающие аксиальное магнитное поле при протекании через них коммутируемого тока. Эта работа актуальна как с научной, так и с практической точки зрения. Первое связано с тем, что вопрос о тепловом состоянии анода после погасания дуги исследован слабо. На сегодняшний день имеется небольшое число работ, посвященных данной тематике. В большинстве из них нет информации о пространственном распределении температуры, что, несомненно, интересно, т.к. после погасания дуги анод нагрет неравномерно.

Практический интерес данного исследования вызван следующим обстоятельством. Вакуумная дугогасительная камера должна быть способна при аварии в электросети отключить ток короткого замыкания, который может составлять многие десятки килоампер. Возможность отключения тока короткого замыкания определяется тепловым режимом анода, поскольку именно он определяет, успеет ли диэлектрическая прочность межэлектродного промежутка после прекращения тока достаточно быстро восстановиться до уровня, обеспечивающего невозможность пробоя при приложении восстанавливающегося переходного напряжения. При больших плотностях коммутируемого тока температура анода может быть настолько высокой, что испаряющийся с анода материал может привести к повторному пробоя промежутка. В настоящее время достоверных данных о том, какие температуры анода являются критическими с точки зрения возможности повторного пробоя не существуют.

Помимо теплового состояния анода интерес представляют также металлические капли в межэлектродном промежутке, их количество, причины появления и температуры.

Обозначенный круг вопросов и являлся предметом исследований, проводимых Яковлевым В.В. в рамках его магистерской диссертации. Методом исследования температуры являлся пирометрический метод. Результаты измерений имели хорошую повторяемость, активно использовалась компьютерная обработка экспериментальных данных. Экспериментальные исследования проводились в лаборатории Физики низкотемпературной плазмы ФТИ им. А.Ф. Иоффе. Яковлев В.В. овладел

необходимыми навыками работы с вакуумной техникой, высокоточными источниками питания, измерительными приборами, а также методиками скоростной видеосъемки разряда.

Помимо экспериментального исследования, был выполнен ряд численных расчетов в COMSOL Multiphysics. В частности, были решены задачи проникновения магнитного поля в межэлектродный промежуток при импульсном токовом воздействии, что является нетривиальной процедурой. В данном случае она была усложнена тем, что рассчитывались поля для реальных камер со сложной топологией.

В результате выполнения работы был накоплен большой объем экспериментальных данных по нагреву анода камер трех типов в широком диапазоне протекающих токов, а также получены результаты, касающиеся металлических капель. Результаты были тщательно проанализированы и систематизированы.

К основным результатам данной работы можно отнести следующие. Поверхность анода в нуле тока разогрета сильно неоднородно, распределение температуры существенно зависит от динамики расплава. В работе были проведены оценки, показывающие, что в предельных режимах, после погасания разряда, создаваемая анодом концентрация металлического пара в промежутке не достаточна для обеспечения пробоя.

Обнаружено, что в предельных режимах в момент погасания разряда в промежутке обнаруживаются сильно разогретые капли. В работе предполагается, что капли локально увеличивают концентрацию пара в промежутке и тем самым обеспечивают необходимые для пробоя условия.

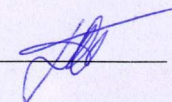
Установлено, что капли бывают двух сортов. Капли первого сорта имеют анодное происхождение и образуются в результате разрушения жидкого гребня, формирующегося на аноде в процессе горения дуги. В работе были измерены температуры таких капель. Источником капель второго сорта в промежутке является катод. Свойства обнаруженных катодных капель существенно отличаются от свойств капель, генерируемых катодным пятном, горящим на интегрально холодной поверхности электрода.

Результаты, полученные в ходе выполнения магистерской работы представлены в двух публикациях.

Яковлев В.В. проявил себя как квалифицированный исследователь, имеющий хорошую подготовку по физике и математике, владеющий современными компьютерными технологиями.

Работа соответствует требованиям к магистерской диссертации, и может быть представлена к защите.

Доцент кафедры Радиофизики



/Павлейно М.А./