

**РЕЦЕНЗИЯ на выпускную квалификационную работу обучающегося СПбГУ  
Яковлева Виталия Викторовича  
по теме: Определение температуры анода после погасания сильноточной вакуумной дуги**

В выпускной квалификационной работе (ВКР) магистра Яковлева В.В. проведено экспериментальное исследование теплового состояния анода после погасания сильноточного вакуумного дугового разряда. Исследования проводились в трех различных промышленных электродных системах, генерирующих аксиальное магнитное поле (АМП) типа TEL с различной отключающей способностью и АМП характеристиками. Были получены распределения температуры по поверхности анода непосредственно после погасания разряда в широком диапазоне амплитуд воздействующих токов. Обнаружены режимы горения дуги с образованием капель. Исследованы причины появления капель, изучена динамика движения и определена их температура. Исследован процесс остывания электродов и капель.

Исследуемая тематика является актуальной ввиду широкого использования вакуумной коммутационной аппаратуры в энергосистемах. Несмотря на многолетний опыт применения выключателей с АМП контактами задача оптимизации их параметров остается злободневной. Данная работа нацелена на выявление факторов определяющих отключающую способность контактных систем. Работа вакуумного выключателя будет выполнена, если при переходе через ноль тока и погасании разряда восстанавливающееся напряжение не спровоцирует пробоя промежутка. Это возможно в том случае, если после погасания дуги быстро восстановится вакуум, нарушенный при её горении. Основная проблема здесь заключается в том, что при больших плотностях тока поверхность анода значительно разогревается, и в нуле тока его температура остаётся достаточно высокой. Высокая температура обеспечивает большую концентрацию металлического пара над электродом, что при приложении напряжения может вызвать пробой межэлектродного промежутка и отказ выключателя.

Научная новизна работы состоит в том, что было установлено, что в момент погасания разряда в промежутке при токах порядка предельных отключаемых обнаруживаются капли двух сортов. Капли первого сорта образуются в результате разрушения жидкого гребня, формирующегося на аноде в процессе горения дуги. В работе были измерены их температуры. Капли второго сорта в промежутке эмитируются катодом. Свойства капель с катода существенно отличаются от свойств капель, генерируемых катодным пятном, горящем на интегрально холодной поверхности электрода. В работе были приведены оценки, позволяющие сделать вывод о важной роли в пробое генерируемых электродами капель.

Результаты работы, несомненно, имеют как научную, так и прикладную значимость, поскольку улучшают понимание процессов в вакуумной дуге, механизмов неотключения, и позволяют уточнить критерии оптимального АМП для перспективных контактных систем.

Надежность результатов обусловлена систематичностью исследования (использование трех однотипных контактных систем, различающихся величиной и временем установления АМП), набором большого объема экспериментального материала, использованием пирометрического метода исследования, анализа полученных изображений поверхности электродов во время горения дуги и в нуле тока, анализа эрозионных поражений контактов.

Работа состоит из 4 разделов, введения, выводов, 2 приложений, списка литературы из 39 наименования, 57 рисунков. Объём работы — 94 страницы.

В первом разделе обосновывается актуальность задачи, формулируются конкретные цели и приведен весьма подробный обзор литературы по физике вакуумной дуги.

Во втором разделе описывается техника эксперимента. Основное внимание уделено методике определения температуры анода по яркости его теплового излучения. Описана методика использования результатов измерений АМП для контроля деградации КС.

В третьем разделе рассмотрены результаты эксперимента. Подробно описаны результаты исследований процессов на аноде во время горения дуги. Показаны причины появления анодных капель в промежутке. В работе была обнаружена корреляция между динамикой расплава и АМП характеристиками контактных систем. Подробно описаны результаты определения температуры анода непосредственно после нуля тока для всех трёх исследованных контактных систем. Приведены и проанализированы кривые остывания различных объектов на аноде. Проанализированы результаты съёмки катода во время горения дуги и обнаружены катодные капли.

В четвёртом разделе обобщены результаты экспериментов, проведено сравнение с литературными данными. Оценена возможность пробоя промежутка и предложена возможная физическая картина пробойных явлений. Даны рекомендации для возможного усовершенствования конструкции электродных систем.

Основным недостатком работы является некоторая перегруженность экспериментальными данными, поскольку большинство процессов в различных электродных системах схожи. Так же излишне подробно описаны результаты моделирования генерируемых контактными системами магнитных полей.

В целом, текст ВКР Яковлева В.В. производит хорошее впечатление, содержит существенный объём данных. У автора имеется доклад на международной конференции, одна статья принята к публикации. Считаю, что представленная работа отвечает всем требованиям, предъявляемым к ВКР магистра, и сильные стороны исследования полностью перевешивают выявленные недостатки. Работа заслуживает отличной оценки, а соискатель Яковлев Виталий Викторович — присуждения степени магистра прикладных математики и физики.

«25» *мск* 2017 г.

н. с. ФТИ им. А.Ф. Иоффе к.ф.м.н. *Забелло К.К.*

