

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ ТОКА В ОБЛАСТИ КОНВОЛЮЦИИ УСТАНОВКИ «АНГАРА-5-1»

Е. В. Грабовский, А. Н. Грибов, Я. Н. Лаухин, А. О. Шишлов

ФГУП «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», Москва, Россия

Одним из ограничений при передаче электромагнитного импульса к нагрузке в мощных электрофизических установках, являются утечки в вакуумной транспортирующей линии (ВТЛ) [1,2]. Потери тока в ВТЛ приводят к уменьшению мощности электрического импульса вкладываемой в лайнер, что уменьшает эффективность работы установки. Рассматривается многомодульная установка «Ангара-5-1» с выходной электрической мощностью до 6 ТВт. В качестве нагрузки используется многопроволочный цилиндрический лайнер, параметры которого определяют ток в ВТЛ. Схема измерений областей нагрева электродов показана на рис. 1. Вследствие сложной конфигурации магнитного поля при конволюции нескольких ВТЛ возникает проблема определения мест потерь тока в области конволюции.

Утечки тока свободных электронов приводят к нагреву поверхности электродов ВТЛ в тех местах, где они произошли [3]. Нагретая до темпера-

тур в диапазоне от 50 до 200 градусов Цельсия поверхность нержавеющей стали, в соответствии с законом об излучении абсолютно чёрного тела, излучает электромагнитные волны в области средневолнового инфракрасного излучения. Таким образом, локализовать места утечек тока свободных электронов можно при помощи определения мест нагрева электродов ВТЛ. Для этого, при помощи специальной методики, были получены термограммы электродов в области конволюции при пусках установки.

Регистрация проводилась как во время выстрела вместе с фоновым излучением от лайнера, так и непосредственно после выстрела, когда излучение лайнера уже закончилось, а нагретые поверхности продолжают излучать. Фоновое излучение от лайнера ухудшает контрастность съёмки, следовательно, усложняет получение изображений зон нагрева токами утечки, но позволяет построить картину видимой области для привязки зон

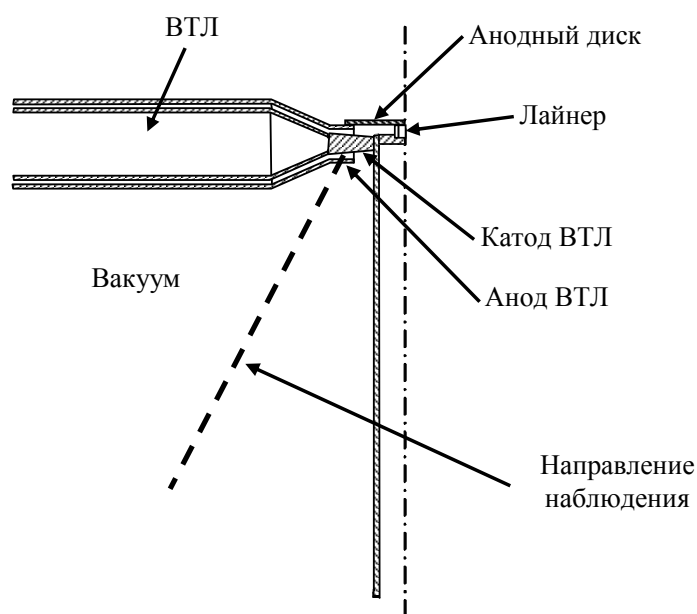


Рис. 1. Схема измерений областей нагрева электродов

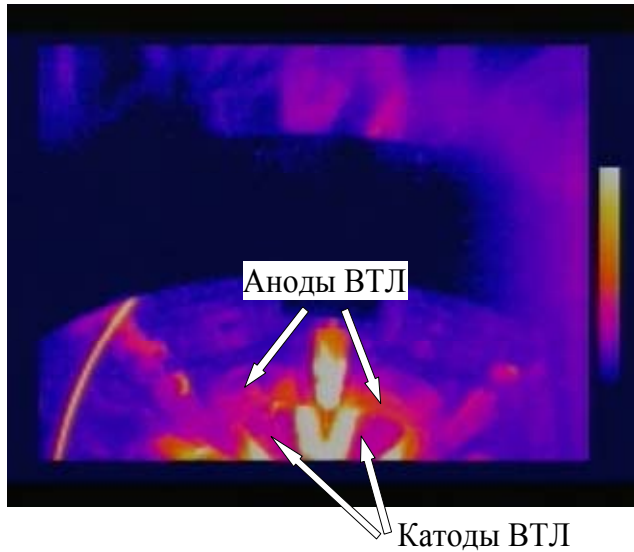


Рис. 2. Изображение области конволюции установки Ангара-5-1, полученное в инфракрасных лучах

нагрева к частям конволюции ВТЛ в вакуумной камере установки. На рис. 2 представлена термограмма области конволюции в момент пуска установки, на которой видны электроды области конволюции ВТЛ.

При построении термограмм было обнаружено несоответствие реальной температуры нагретой поверхности нержавеющей стали и отображаемой температуры. Данное несоответствие возникает вследствие особенностей выбранной методики измерений. Для устранения данного расхождения была проведена калибровка прибора по известной температуре. При калибровке объект из нержа-

вующей стали устанавливался в область конволюции, нагревался током, затем проводились измерения температуры нержавеющей стали. Показания прибора были скорректированы при помощи проведённой калибровки (см. рис. 3).

На рис. 4 представлено распределение областей утечек на термограмме электродов ВТЛ, полученное непосредственно после пуска установки на лайнер, состоящий из вольфрамовых проволок. На данном рисунке видно пятно тепла на катоде ВТЛ в области конволюции. Его температура, с учётом калибровочного коэффициента, соответствует 130 ± 20 градусам Цельсия.

При обработке результатов выяснилось, что возникает значительное излучение с поверхности анодного диска, которое в данной задаче является паразитным, вследствие того, что нагрев возникает в процессе сжатия лайнера. Яркие области, которые видны между катодом и анодом, а также между модулями, представляют собой фоновое тепловое излучение от разогретого анодного диска.

Излучение анодного диска, в данной работе, является паразитным, поэтому для увеличения контрастности изображения необходимо его уменьшить. Установка непрозрачного диэлектрика между модулями позволила отсечь часть излучения, идущего от анодного диска.

Проводились пуски установки на другой тип нагрузки, которая представляет собой лайнер из капроновых проволок с металлическим напылением. Нагрев анодного диска, при пуске на такую нагрузку оказался значительно меньшим, чем при

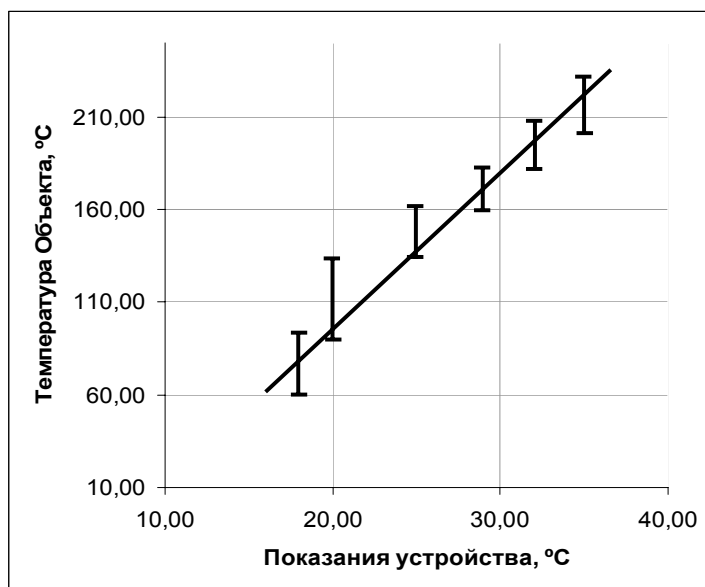


Рис. 3. Калибровочный график для определения температуры объекта

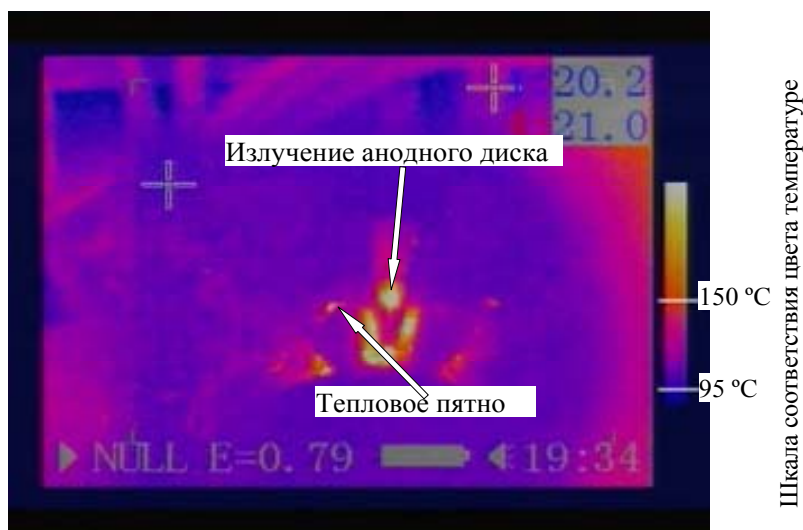


Рис. 4. Распределение областей утечек на термограмме электродов ВТЛ при пуске на вольфрамовый лайнер

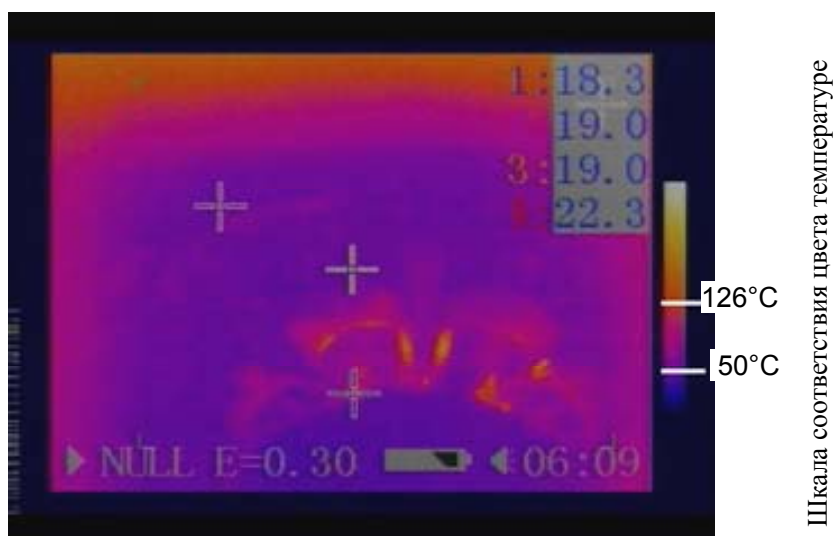


Рис. 5. Распределение областей утечек на термограмме электродов ВТЛ при пуске на капроновый лайнер с напылением индия

пуске на вольфрамовый лайнер, а с электротехнической точки зрения такая нагрузка эквивалентной вольфрамовому лайнеру.

Полученные термограммы представлены на рис. 5. Видно, что полученные изображения имеют большую контрастность и позволяют провести оценку площади нагрева токами утечки.

Была проведена оценка затраченной на нагрев поверхности электродов энергии E .

$$E = \rho \cdot C_p \cdot \Delta T \cdot S \cdot d \quad (1)$$

$$d = \sqrt{\chi_T \cdot t} \quad (2)$$

где χ_T – температуропроводность, ρ – плотность, d – глубина прогревания, S – площадь теплового

пятна, C_p – удельная теплоёмкость, ΔT – изменение температуры

Таким образом, потери в области конволюции составили ~ 8 кДж на 8 модулей. Общий энерговклад составляет ~ 100 кДж. Следовательно, потери энергии в области конволюции составляют ~ 8 %.

Заключение

Обнаружены места нагрева электродов, возникшие вследствие токов утечек в области конволюции ВТЛ установки АНГАРА-5-1.

Методика позволяет оценить потери вкладышаемой в нагрузку мощности.

Дальнейшие исследования будут направлены на получение более контрастного изображения в инфракрасном диапазоне и уточнение величины токов утечек в конволюции ВТЛ.

Список литературы

1. Гордеев А. В. Магнитная самоизоляция вакуумных коаксиальных линий. Препринт ИАЭ_3076. М. 1978.

2. Рудаков Л. И., Бабыкин М. В., Гордеев А. В. и др. Генерация и фокусировка ультрарелятивистских электронных пучков. М.: Энергоатомиздат, 1990.

3. Грабовский Е. В., Грибов А. Н., Олейник Г. М., Самохин А. А. «Эффективность передачи электрической мощности по вакуумным транспортирующим линиям многомодульной установки “Ангара-5-1”». XXXV Международная (Звенигородская) конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу.