

Модернизация резонаторного блока мощного импульсного клистрона с целью повышения его эксплуатационных характеристик

В.И. Оконенко¹, Г.М. Матиенко¹, И.С. Кузнецов¹, В.М. Саблин¹, Р.А. Осип^{1,2}

¹АО «НПП «Торий»

²Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ

Аннотация: в работе рассмотрена модернизация резонаторного блока мощного однолучевого клистрона. Проведен тепловой анализ блока при интенсивном токоперехвате электронного потока в области выходного резонатора. Предложены конструктивные изменения, направленные на снижение температуры узла.

Ключевые слова: клистрон, система охлаждения, тепловое моделирование.

1. Введение

В 2022 году на предприятии АО «НПП «Торий» была завершена разработка мощного однолучевого клистрона S-диапазона. Несмотря на полученные в соответствии с техническим заданием параметры изделия, в процессе испытаний были обнаружены недостатки конструкции клистрона, снижающие его надежность. Одним из них является перегрев выходной части резонаторного блока (предколлекторной области), что приводит к значительным изменениям в его геометрии и снижению выходных параметров клистрона. Наличие значительного температурного градиента снижает общий ресурс прибора и ограничивает работу изделия в динамическом режиме.

2. Постановка задачи

Целью настоящей работы является исследование теплового режима работы клистрона в предколлекторной области и доработка системы охлаждения, обеспечивающей снижение максимальной температуры и уменьшение температурного градиента.

Источником нагрева предколлекторной области является электронный поток, оседающий в динамическом режиме. При этом увеличение средней температуры токовоспринимающих поверхностей приводит к снижению устойчивости металла к импульсному разогреву. Все это приводит к процессам разрушения деталей резонаторного блока, эрозии их поверхностей электронным пучком, а также общим снижением электропрочности изделия вследствие процессов газоотделения. Усугубляет ситуацию циклические механические деформации узла, которые приводят к усталости металла при каждом включения и выключения входной мощности [1].

На основе полученных экспериментальных данных, а также результатах вскрытия изделия были сформулированы основные задачи исследования:

1. построить расчетную модель резонаторного блока;
2. на основе полученных в ходе испытаний и расчетов электронного потока в динамическом режиме данных провести тепловой расчет резонаторного блока;
3. скорректировать геометрию предколлекторной области так, чтобы снизить температурный градиент.

3. Результаты моделирования

Моделирование проводилось с использованием пакета прикладных программ, основанном на методе конечных элементов. В качестве граничных условий были взяты следующие параметры: средняя мощность токооседания пучка – 4 кВт; коэффициент теплопередачи вода-металл – 1500-2500 Вт/м²·К. В качестве дополнительных условий были заданы естественная конвекция на внешних деталях блока, а также потери на излучение.

На рисунке 1 представлена модель с распределением температурного поля в исходной конструкции. Максимальная температура наблюдается на втулке выходного резонатора и составляет 412 °С. Для оценки работы узла при разных тепловых нагрузках (вследствие изменения токопрохождения или скважности) также была проведена серия расчетов при разной средней мощности, результаты которой представлены в таблице 1.

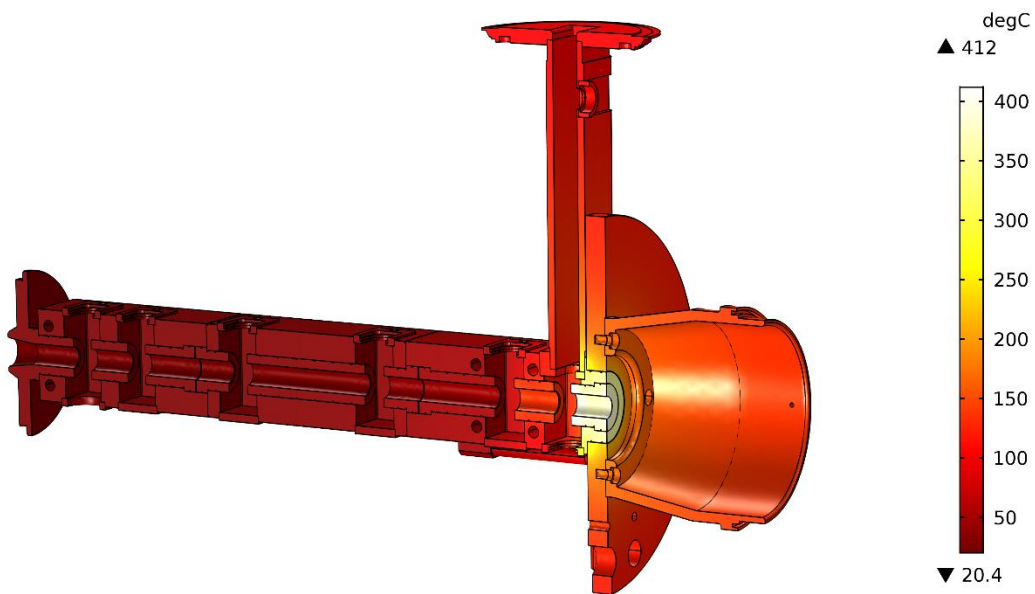


Рисунок 1. Распределение температуры в резонаторном блоке

Таблица 1. Основные параметры исследуемого клистрона

$P_{\text{ср}}$	4	3	2	1
$T_{\text{макс}}$	412	324	223	122

Полученная в ходе расчета температура токовоспринимающих поверхностей свидетельствует о значительном снижении устойчивости металла к импульсному нагреву, а высокий градиент температур приводит к возникновению больших механических напряжений, следствием чего является накопление пластических деформаций и постепенное разрушение узла. В связи с этим была предложена конструкция выходной части резонаторного блока, представленная на рисунке 2. Главные ее особенности заключаются во введении дополнительного контура охлаждения непосредственно в область токовоспринимающих поверхностей, а также конусообразного отверстия в предколлекторной области. Такая геометрия позволяет не только снизить температуру узла за счет водяного охлаждения, но уменьшить вероятность оседания электронного потока, и, как следствие, тепловую нагрузку. Однако для более строгой оценки эффективности новой системы охлаждения при

расчете мощность оседающего электронного потока не изменялась. Результаты расчета представлены на рисунке 3.

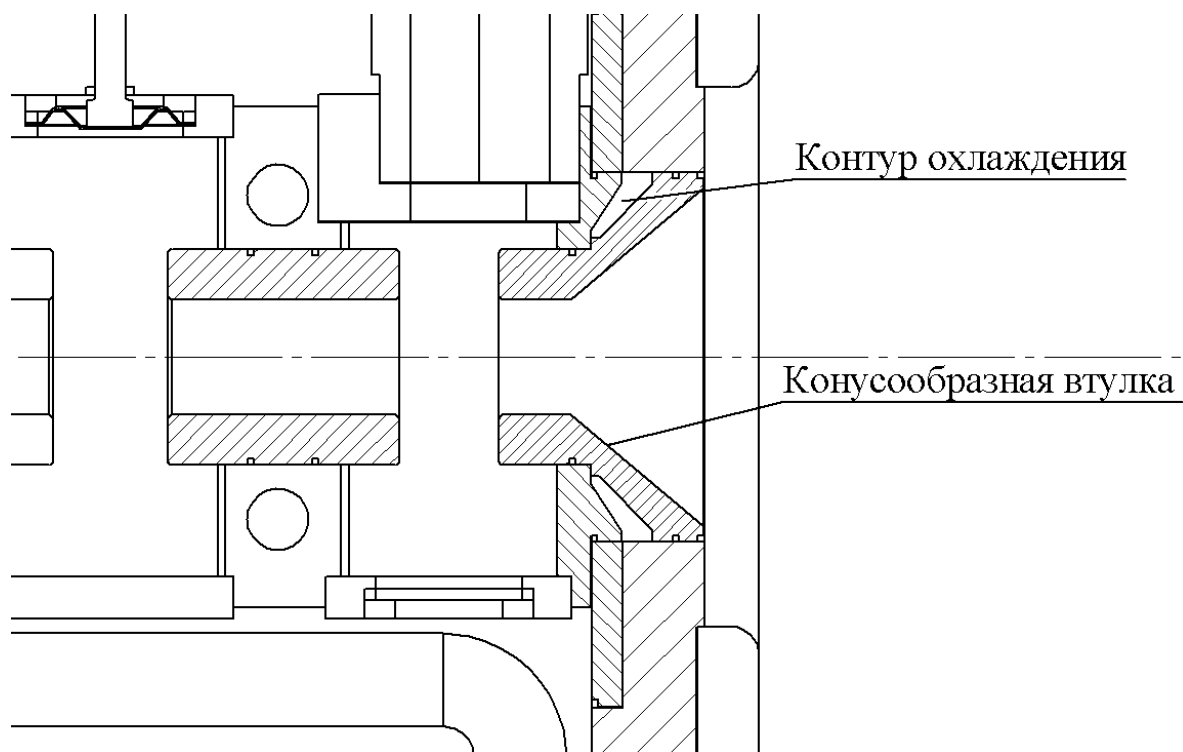


Рисунок 2. Эскиз предколлекторной области резонаторного блока

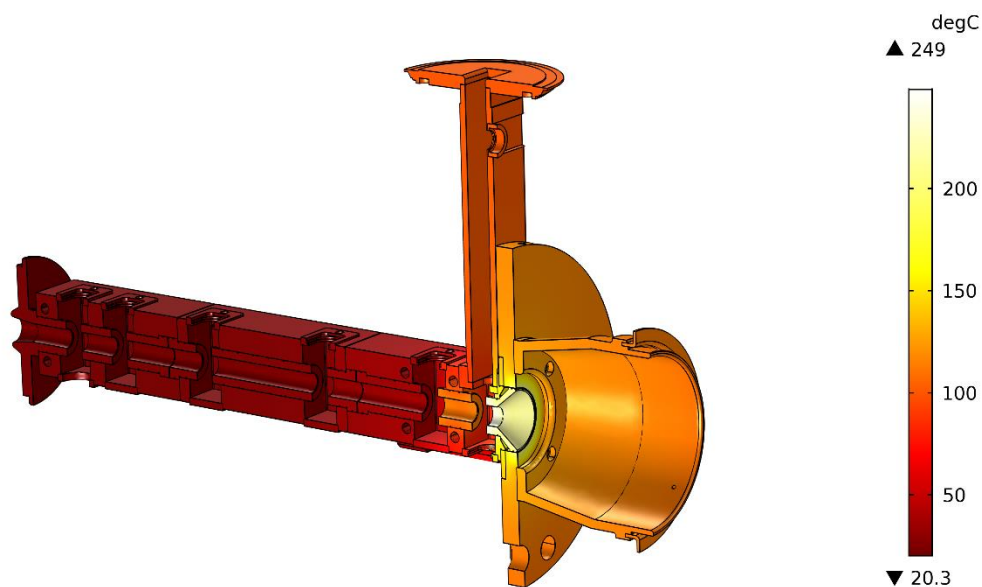


Рисунок 3. Распределение температуры в резонаторном блоке с новой конструкцией.

Исходя из результатов расчета видно, что максимальная температура снизилась до 249 °С или на 40 %. С учетом прогнозируемого снижения токоперехвата ожидается более чем двукратное снижение температуры резонаторного блока в предколлекторной области.

4. Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о повышении эффективности теплоотвода и снижении высоких термических нагрузок конструкции, позволяющие повысить надежность выпускаемого изделия и обеспечить стабильность его выходных характеристик.

Список литературы

1. Коваленко В. Ф. Теплофизические процессы и электровакуумные приборы. М., Сов.радио. 1975, 216с.