

Оптимизация конструкции радиатора коллектора ЛБВ непрерывного действия с радиационным охлаждением

И.А. Алмаев^{1,2}, А.Б. Данилов², А.Ю. Мирошниченко¹, А.А. Волосова^{1,2}

¹ Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.,

² АО «НПП «Алмаз»

Аннотация: в данной работе исследовалось влияние геометрических размеров радиатора коллектора ЛБВ с радиационным охлаждением на теплорассеивающую способность охлаждающей системы. Разработана модель охлаждающей системы высоконагруженных элементов ЛБВ непрерывного действия. Проведен расчет рассеивания тепловой энергии исследуемой модели. Определены оптимальные соотношения между длиной радиатора, шириной лопастей и размерами коллектора.

Ключевые слова: теплорассеивающая способность, ЛБВ, коллектор, радиационное охлаждение

1. Введение

Одним из важнейших вопросов стоящим перед разработчиками ЛБВ космического назначения является отведение тепловой энергии от высоконагруженных частей прибора, в частности коллектора. Отведению тепла от узлов ЛБВ посвящены множество работ как отечественных, так и зарубежных авторов [1-4]. Отсутствие возможности применения воздушных потоков создает еще большие сложности при разработке. В связи с этим основными направлениями исследования в этой области являются отведения тепла за счет теплопроводности и радиационное охлаждение. В пользу увеличения влияния на теплоотведение радиационного охлаждения является отсутствие влияния на полезную поверхность космического аппарата теплового потока от ЛБВ.

Радиационное (тепловое) излучение лежит в диапазоне от 800 нм до 800 мкм. Для реального тела плотность потока излучения на каждой частоте инфракрасного диапазона отличается и зависит от температуры тела.

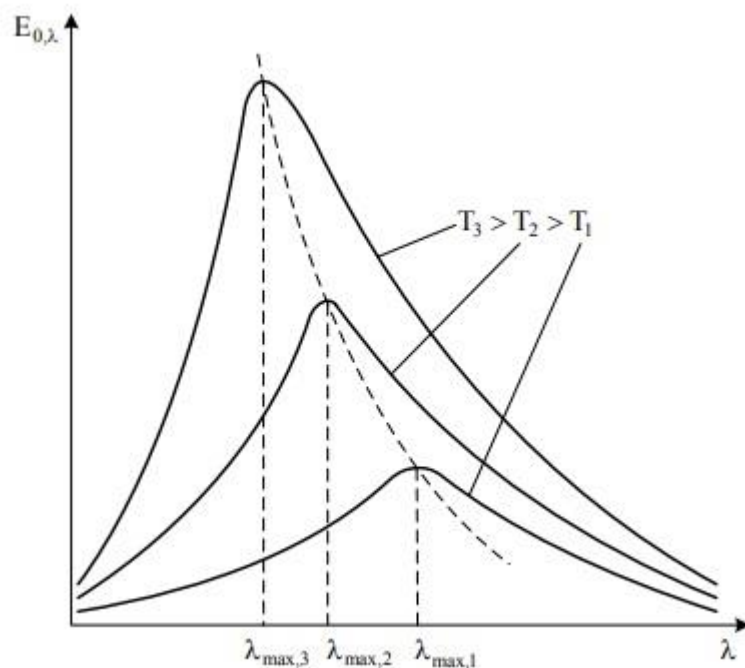


Рисунок 1. Спектральная плотность потока излучения

В условиях отсутствия атмосферы существенное влияние на установившееся термодинамическое состояние изделия с радиационным охлаждением оказывает степень поглощения теплоты. По закону Кирхгофа (1) спектральная плотность потока собственного излучения (E_λ) к его спектральной поглощательной способности ($E_{0,\lambda}$) есть величина постоянная и равна спектральной плотности потока абсолютно черного тела (ε_λ), имеющего ту же температуру [5]:

$$\varepsilon_\lambda = \frac{E_\lambda}{E_{0,\lambda}} \quad (1)$$

Из этого следует, что обычным увеличением площади поверхности радиатора с параллельными поверхностями при радиационном охлаждении не улучшить теплоотведение. Поэтому, в первую очередь, при конструировании радиатора необходимо минимизировать направление излучения на рабочие поверхности.

2. Исследуемая модель

В среде SolidWorks сконструирована и исследована система охлаждения радиатора ЛБВ непрерывного действия космического назначения [6]. Основной вклад в отведение тепловой энергии в космических ЛБВ является радиационное излучение. Конструкция системы охлаждения представлена на рисунке 2.

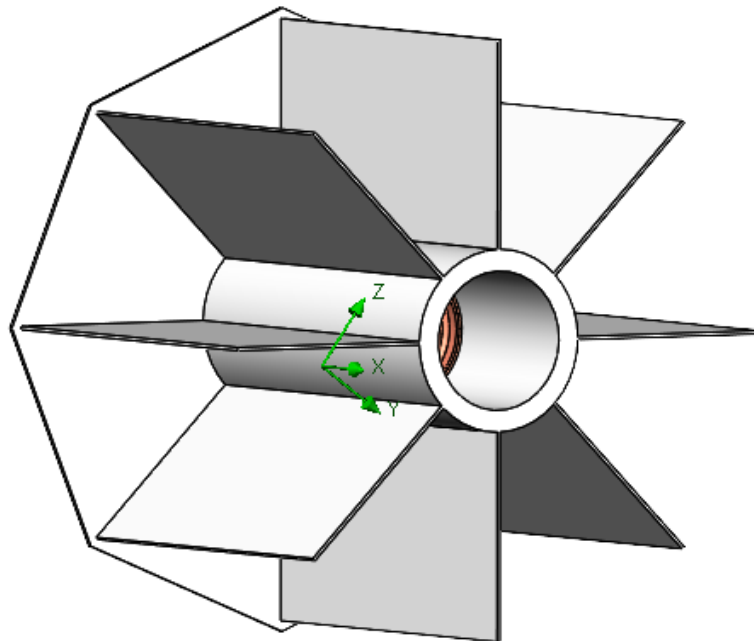


Рисунок 2. Рассматриваемая модель коллектора с радиатором

Конструкция выбрана таким образом, что отсутствуют параллельные поверхности, при этом максимально увеличена площадь поверхности радиатора. Материал радиатора – дюралюминий. Этот сплав имеет высокую теплопроводность и хорошо поддается обработке, что позволяет изготавливать детали любой сложности. Втулка коллектора выполнена из меди, воссоздает оболочку, используемую при изготовлении коллектора. Внутренние втулки и опорные стержни коллектора были исключены из конструкции для упрощения модели.

3. Результаты исследование

Расчеты проводились в среде SolidWorks Flow Simulation с использованием библиотек данной среды. Источником тепловыделения является внутренняя поверхность медной втулки. Контакт между радиатором и коллекторной оболочкой принят как идеальный. Рассмотрено улучшение теплоотведения в зависимости от длины радиатора и ширины лопастей радиатора. Длина радиатора рассматривалась как относительная величина к длине коллекторной оболочки. Максимальная плотность потока эффективного излучения показана на рисунке 3.

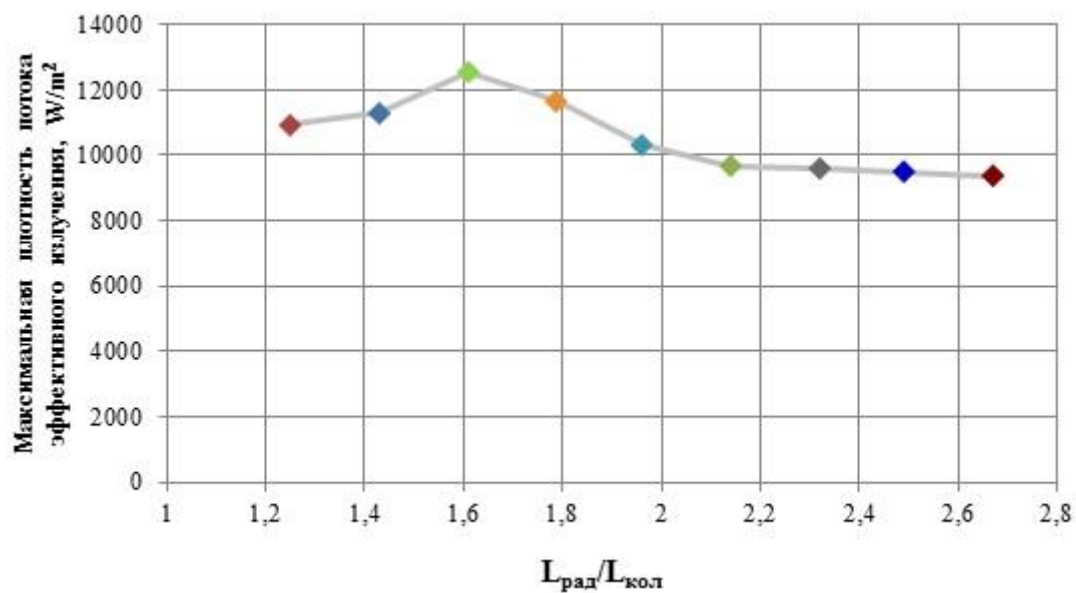


Рисунок 3. Максимальная плотность потока эффективного излучения при изменении длины радиатора

Максимальная плотность потока эффективного излучения наблюдается при $L_{\text{рад}}/L_{\text{кол}} = 1,6$. Максимальная температура модели при увеличении длины радиатора уменьшается согласно графику, представленному на рисунке 4.

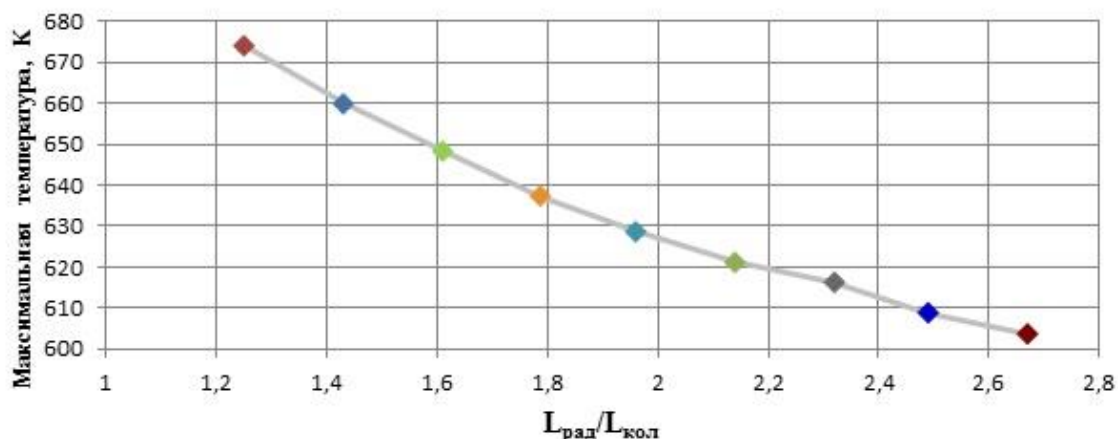


Рисунок 4. Максимальная температура модели в зависимости от длины радиатора

Увеличение длины радиатора более чем в 1,6 раза от длины корпуса коллектора становится нецелесообразным в связи с повышением массы модели. При этом не существенен вклад дополнительной поверхности в теплоотведение.

При изменении ширины лопастей радиатора зависимость потока результирующего эффективного излучения представлена на рисунке 5. Ширина лопастей рассмотрена как относительная величина к диаметру коллектора.

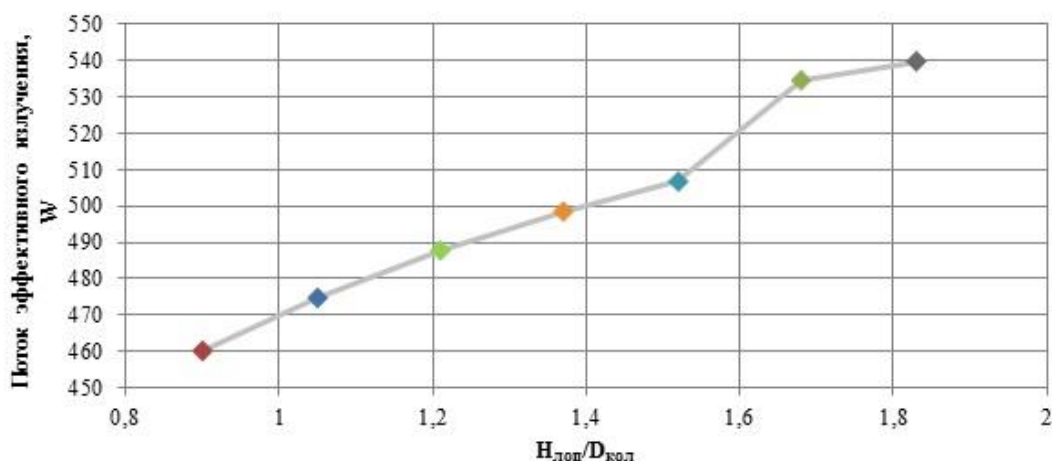


Рисунок 5. Поток эффективного излучения в зависимости от ширины лопастей

По графику видно, что при увеличении ширины лопастей в 1,7 раза происходит максимальная отдача тепловой энергии с помощью излучения. Дальнейшее увеличение ширины лопастей приводит к минимальному улучшению, при этом увеличивается масса изделия, что не является эффективным решением.

4. Заключение

Рассмотрено влияние изменения длины радиатора и ширины лопастей радиатора на эффективность излучения тепловой энергии в условиях отсутствия принудительного и кондуктивного охлаждения. В результате получено, что оптимальным выбором конструкции для рассматриваемого радиатора ЛБВ непрерывного действия является ширина лопастей равная 1,7 диаметрам источника тепловыделения и длина радиатора не более 1,6 длин коллектора.

Список литературы

1. Chirag Mistry. et al. A Study of Thermal Behavior of Travelling Wave Tube. // IVEC – 2018. P3-12
2. Yue Ou. et al. Thermal and Structural Analysis of Multi-stage Depressed Collector for G-band Traveling Wave Tube. // IVEC – 2018. P7-12
3. И.А. Алмаев, А.Б. Данилов, А.Ю. Мирошниченко. Тепловой анализ коллектора ЛБВ средней мощности сантиметрового диапазона. // IX Всероссийская научно-техническая конференция «Электроника и микроэлектроника СВЧ». – 2019.
4. Золотых Д.Н., Роговин В.И., Семенов С.О. Расчет теплового режима и термомеханического состояния коллекторных узлов с помощью программного комплекса ANSYS. Золотых Д.Н., Роговин В.И., Семенов С.О. // Электронные приборы и устройства СВЧ. Изд-во ООО «Научная книга». Саратов – 2017.
5. Гилмор А.С.-мл. Лампы с бегущей волной. Москва: Техносфера, 2013.
6. <https://www.solidworks.com/product/solidworks-flow-simulation>