

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра электроники, колебаний и волн

**Расчёт многоступенчатого коллектора с охлаждением излучением для
космической лампы бегущей волны**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 4031 группы
направления 03.03.03 «Радиофизика»
Института Физики
Багаутдинова Марата Ильдаровича

Научный руководитель
доцент кафедры основ
проектирования приборов
СВЧ, к.ф.-м.н.


дата, подпись 03.06.24

В.И. Роговин

Заведующий кафедрой
электроники, колебаний и волн.
к.ф.-м.н., доцент


дата, подпись 03.06.2024г.

С.В. Гришин

Саратов 2024 год

Введение

- **Актуальность работы.** ЛБВ является основным потребителем энергии на спутниковых системах связи. Их число варьируется от 10 до 100, в связи с этим из-за ограничения мощности солнечных батарей необходимо уменьшить потребляемую мощность ЛБВ, то есть повысить технический КПД. В связи с этим расчёт многоступенчатого коллектора и системы охлаждения за счёт излучения в космическое пространство, позволяющая уменьшить потребляемую мощность, габариты и общий вес системы энергопитания спутника являются актуальными.
- **Цель работы.** Обзор литературы по конструкциям многоступенчатых коллекторных систем с охлаждением излучением в космическое пространство, выбор наиболее оптимальной и расчёт её для ЛБВ О-типа Ка-диапазона с различной выходной мощностью.
- **Были поставлены следующие задачи:**
 1. Ознакомиться с литературой о коллекторных системах
 2. Выбрать наиболее эффективную систему охлаждения
 3. Провести электронно-оптический и теплофизический расчёт
- **Работа состоит из следующих основных разделов:**
 1. Обзор многоступенчатых коллекторов ЛБВ космической связи с охлаждением излучением в космическое пространство
 - Графитокерамическая паяная конструкция без дополнительной вакуумной оболочки
 - Конструкция с прозрачной для теплового излучения вакуумной оболочкой
 - Конструкция с вакуумной оболочкой из металла
 - Конструкция с вакуумной оболочкой из металла и радиаторами охлаждения
 2. Электронно-оптический расчёт коллектора
 - Метод расчёта и описание алгоритма

3. Теплофизический расчет коллектора с радиаторами охлаждения
- Метод расчета и описание алгоритма
 - Расчёт характеристики четырёхступенчатого коллектора
 - Расчёт теплового режима коллектора
 - Расчёт температурного режима коллектора для ЛБВ с повышенной выходной мощностью

Основное содержание работы

В первом разделе В литературе описано использование различных способов и конструкций МК с охлаждением их внутренних электродов, на которые оседают электроны после их взаимодействия с электромагнитной волной в спиральной замедляющей системе (СЗС). Тепловая энергия, выделяемая на этих электродах, составляет около 15-20% от полной энергии пучка, а у ЛБВ с выходной СВЧ мощностью 100-400Вт равна примерно 50-250Вт. Эта мощность распределяется на 3-4 электродах МК. Эти электроды имеют различные потенциалы относительно СЗС и поддерживаются керамическими электродами для механической прочности, изоляции и передачи выделяющегося на них тепла на систему охлаждения. При охлаждении излучением МК выведен в открытое космическое пространство, а остальная часть прибора находится внутри спутника. Способ охлаждения за счет излучения тем эффективен, чем больше разницы между температурой излучающего тела и температурой окружающей среды:

$$P = \varepsilon \sigma_0 S (T_1^4 - T_2^4)$$

где P-тепловая нагрузка; ε -коэффициент излучения; σ_0 - постоянная Стефана-Больцмана.; S-излучающая поверхность; T_1 -температура излучающей поверхности; T_2 - температура окружающей среды.

Другим способом повышения эффективности, но уже не самой ЛБВ, а ретранслятора в целом является отвод тепла от самого теплонагруженного элемента ЛБВ – коллектора – излучением в окружающее пространство, что

позволяет упростить, уменьшить массу и габариты системы термостабилизации спутника. Из всех предлагавшихся ранее конструкций отвода тепла излучением от коллектора в современных ЛБВ используется самая технологичная – передача тепла от электродов коллектора на внешний радиатор осуществляется за счет теплопроводности и далее с радиатора излучением в космическое пространство.

Рассматриваются три основных типа конструкции: графитокерамическая паяная конструкция без дополнительной вакуумной оболочки; с прозрачной для теплового излучения вакуумной оболочкой; с вакуумной оболочкой из металла. В графитокерамическая конструкции коллектора (рис.1) тепло от массивных графитовых электродов, которые являются вакуумной оболочкой, излучается непосредственно в окружающие пространство. Эта конструкция коллектора не имеет специальной вакуумной оболочки. Герметичность конструкции обеспечивается за счет вакуумно-плотных графита и его спаев с керамическими изоляторами. Практическая реализация таких спаев достаточно сложна и требует специального оборудования и специальной технологии.

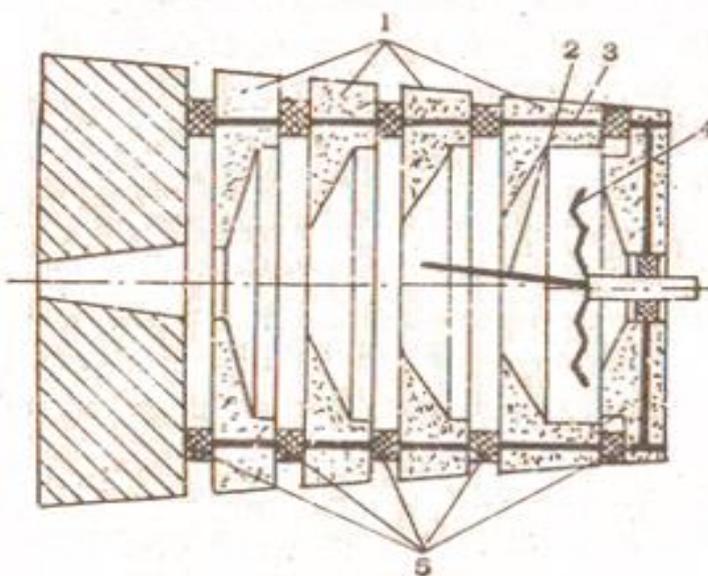


Рис. 1 Конструкция многоступенчатого коллектора: 1 – графитовые электроды; 2 - стержень; 3 – вакуумное уплотнение; 4 – сетка; 5 – керамические изоляторы.

В других конструкциях тепло передается от электродов МК излучением, либо теплопередачей через керамические изоляторы различной формы на прозрачную для теплового излучения оболочку, выполненную из сверхчистого оксида алюминия, обладающую высокой прозрачностью в видимой и инфракрасной частотах спектра или на металлическую вакуумную оболочку. Для увеличения, излучательной способности оболочки коллектора её внешняя поверхность покрыта тонким слоем оксидированного алюминия.

В последнее время, наиболее широкое распространение получили МК с металлической вакуумной оболочкой и металлическими радиаторами увеличивающими поверхность излучения.

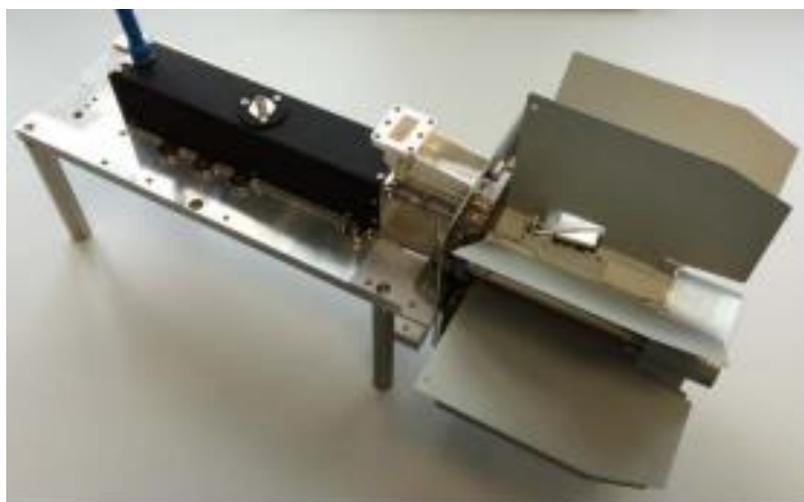


Рис. 2: ЛБВ с радиационным охлаждением.

Во втором разделе для расчёта коллекторной системы нужно произведён электронно-оптический расчёт. Была использована существующая программа анализа осесимметричных многоступенчатых коллекторов с

рекуперацией. Для расчета многоступенчатого коллектора (МК) в программе используется метод интегральных уравнений, позволяющий рассчитывать потенциал внутри заданной области, определяемой границей МК. Суть метода интегральных уравнений в том, что граница коллектора заменяется эквивалентными поверхностными зарядами и дипольными моментами. Затем, с помощью функций Грина выводятся интегральные уравнения, которые сводятся к системе линейных алгебраических уравнений. После определения поверхностной плотности, потенциал и поле в любой точке могут быть найдены интегрированием только по границе области.

В третьем разделе производился теплофизический расчёт коллектора с радиаторами охлаждения. Для расчёта температурного распределения была использована программа SOLIDWORKS Flow Simulation.

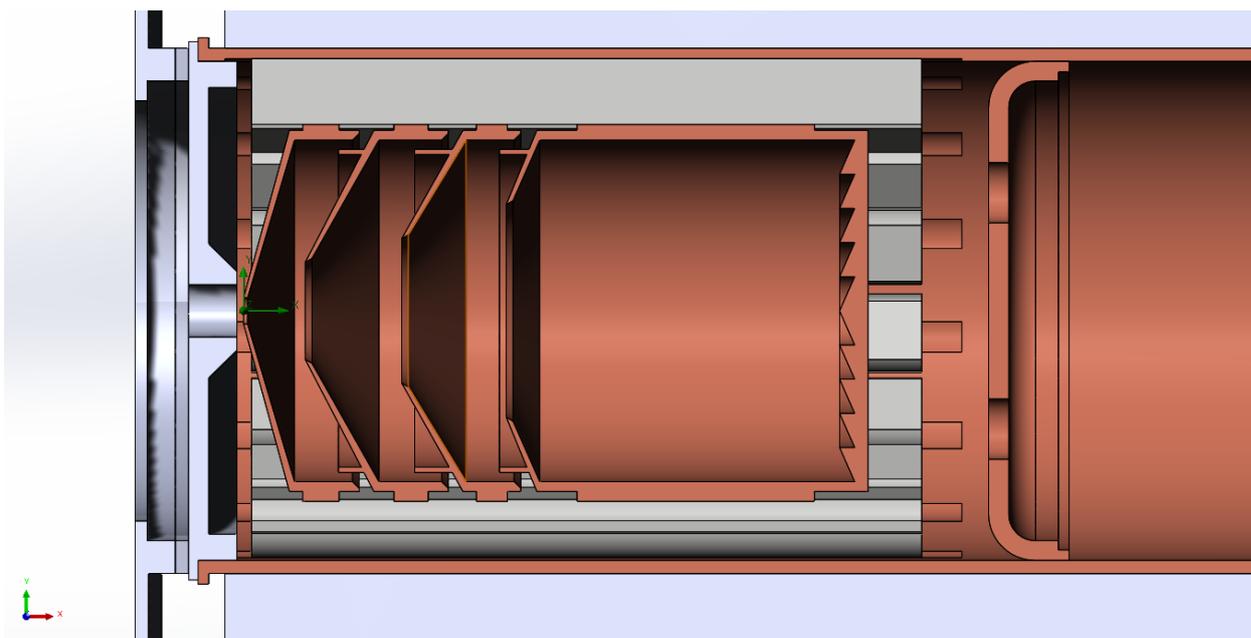


Рис 3. Четырёхступенчатый коллектор.

Три ступени коллектора имеют практически одинаковую коническо-цилиндрическую форму. Последняя ступень имеет дно в форме конических окружностей для уменьшения влияния коэффициента вторичной эмиссии. В статическом режиме без входного сигнала практически все электроны оседают на четвёртую ступень рис 4. Очень малая часть оседает на внешней части

четвёртой ступени и образующаяся вторичная электронная эмиссия оседает на третью ступень.

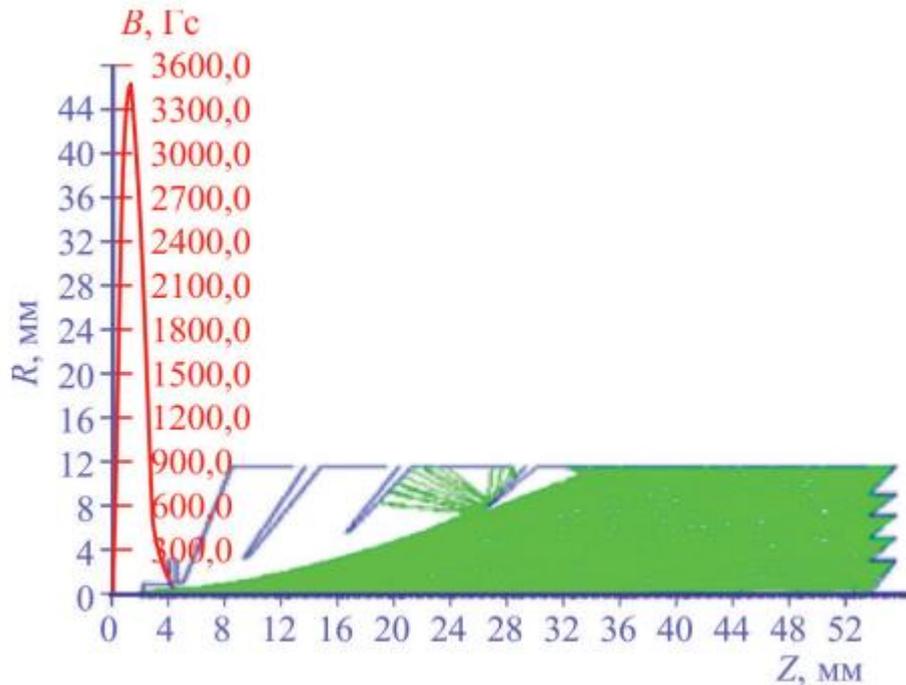


Рис. 4. Конфигурация, четырехступенчатого коллектора, распределение магнитного поля и траектории первичных и вторичных частиц. В режиме без входного сигнала

Поскольку Солнце может освещать коллектор под разными углами, был проведен расчет температурного режима коллектора в случае максимальной падающей мощности – лучи Солнца направлены по нормали к плоскости $Y0X$, причем ось X совпадает с осью коллектора (рис. 5). Поглощательная способность соответствовала степени черноты поверхности радиатора – 0,8, т. е. дополнительная тепловая нагрузка на поперечное сечение радиатора коллектора не превысила 23 Вт. Максимальная температура радиатора возросла с 140,8 до 164,5 °С, а минимальная температура ребер, расположенных в плоскости $Y0X$, составила 155,3 °С, в плоскости $Z0X$ – 149,2 °С, т. е. несимметрия в распределении температуры по ребрам радиатора оказалась небольшой.

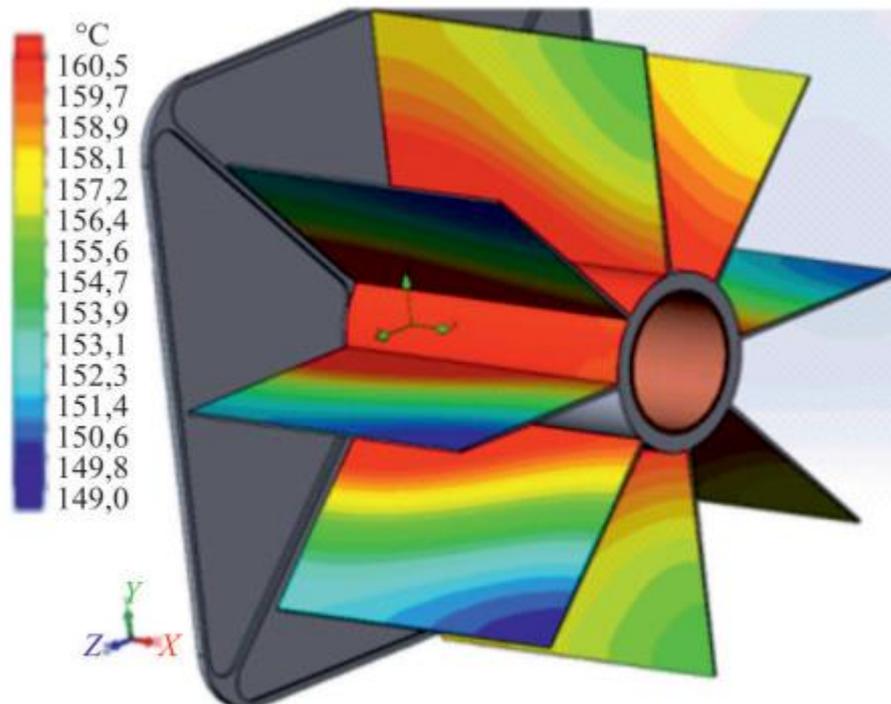


Рис. 5. Температура радиатора при боковом солнечном освещении в режиме насыщения выходной мощности.

Расчёт теплового режима коллектора проводился в условиях аналогичных реальным, когда на коллектор воздействует тепловой поток солнечного излучения. Температура окружающей среды $+130^{\circ}\text{C}$, а в тени температура окружающей среды принимается -180°C . В этом случае при солнечном потоке температура радиатора равна 175°C и ступеней 177°C , 180°C , 186°C , 193°C соответственно.

Рисунок 6 демонстрирует распределение температуры радиатора и МК системы на солнце при увеличении выходной мощности на 20%

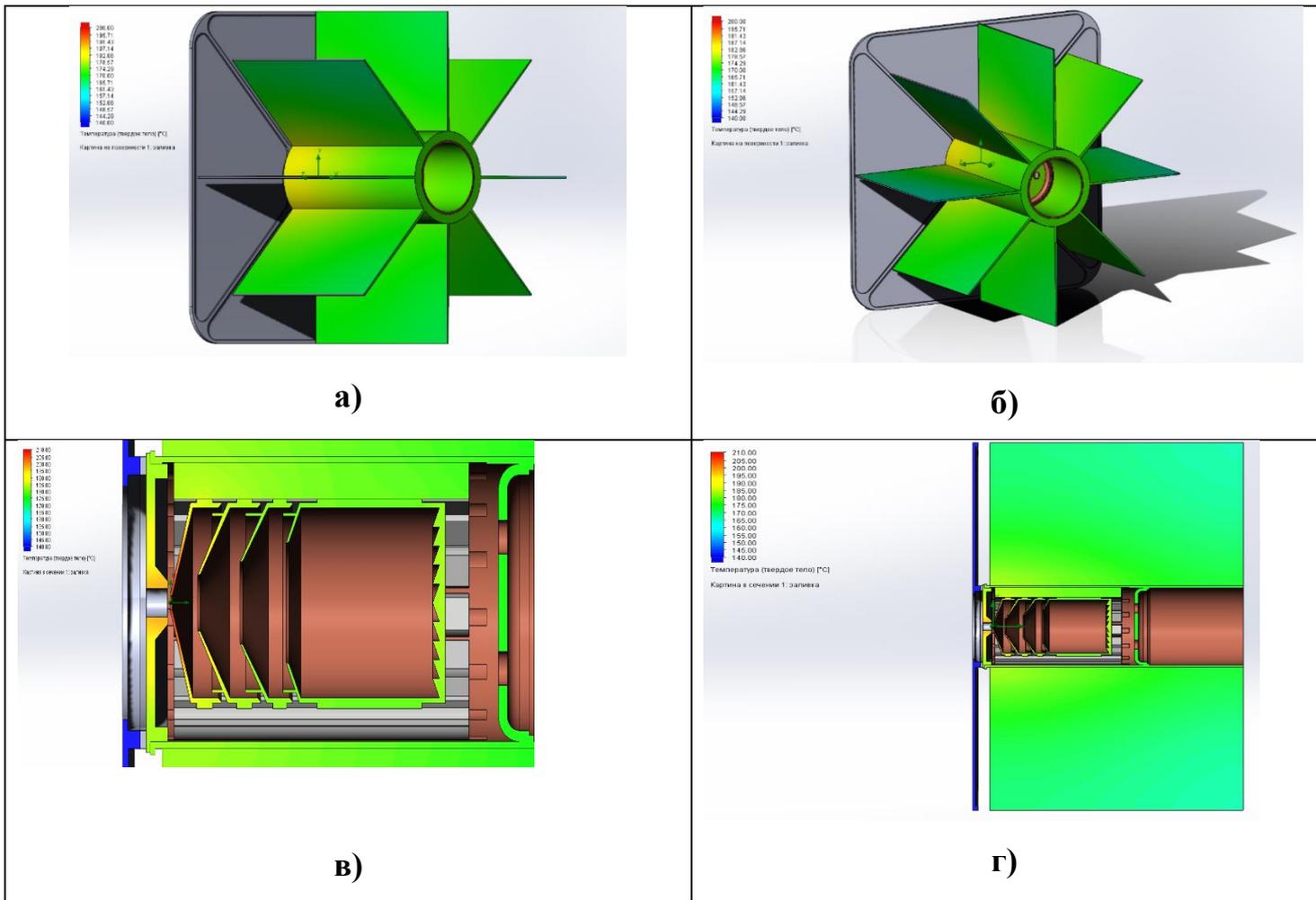
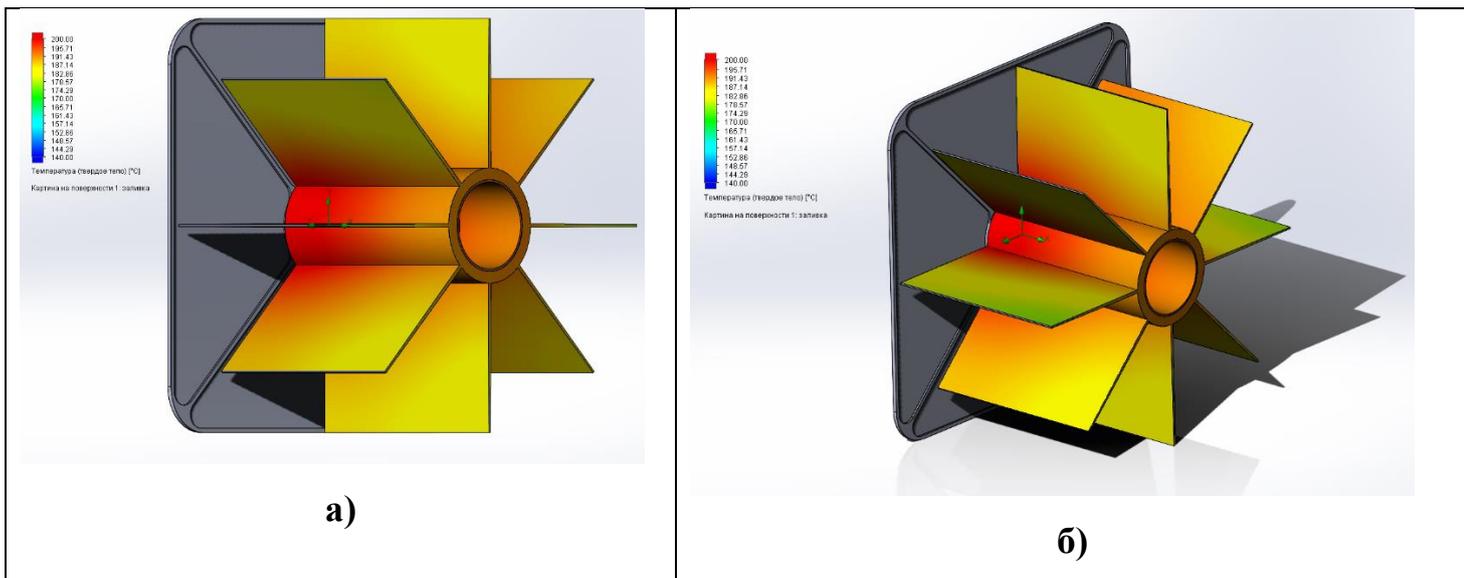


Рис 6. Температурное распределение МК с радиационным охлаждением, при увеличении мощности на 20%, на поверхности (а, б) и в сечении (в, г).



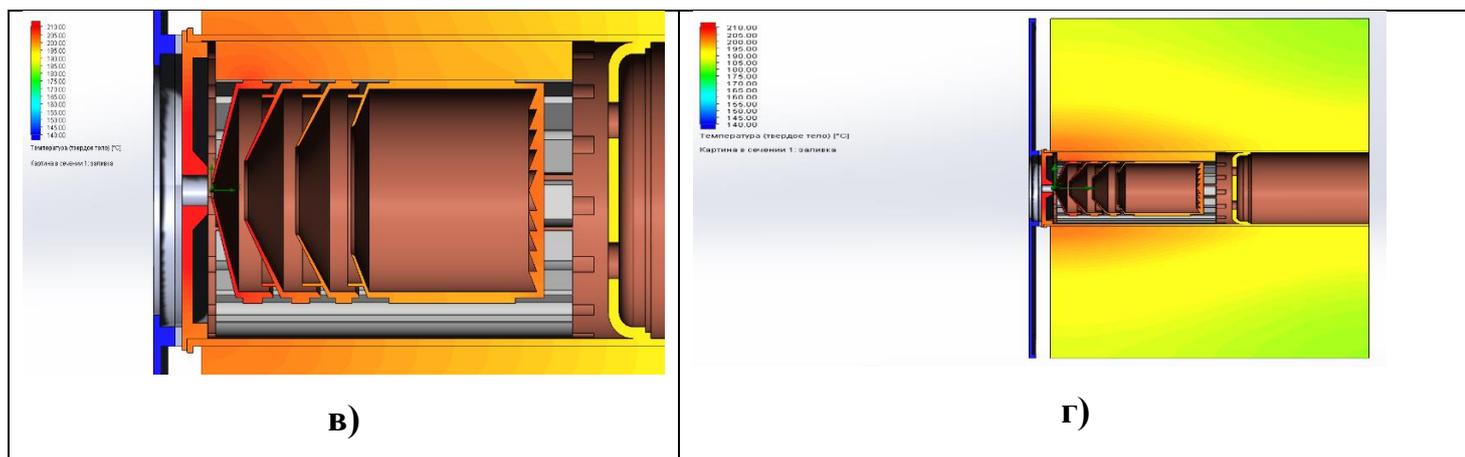


Рис 7. Температурное распределение МК с радиационным охлаждением, при увеличении мощности на 50%, на поверхности (а, б) и в сечении (в, г)

Заключение

В результате выполнения выпускной работы показано, что для рассчитанной ЛБВ Ка-диапазона с выходной мощностью 135 Вт и техническим КПД выше 60 % проведена разработка четырехступенчатого коллектора, охлаждаемого излучением в космическое пространство. Анализ теплового режима показал, что предложенная конструкция коллектора обеспечивает малый (не более 40 °С) перепад температур между электродами коллектора и радиатором, температура которого может корректироваться за счет числа и размеров ребер. В различных режимах работы ЛБВ максимальная температура ступеней коллектора не превышает 191, а радиатора – 166 °С. Рассчитан тепловой режим коллектора при изменении температуры окружающей среды до +130 °С. Влияние солнечного излучения увеличивает температуру радиатора примерно на 70 °С и не приводит к существенной азимутальной несимметрии в распределении температур по электродам и радиатору коллектора при изменении положения радиатора относительно Солнца. Проведены

электронно – оптические и тепловые расчёты разработанного 4-х ступенчатого коллектора с охлаждением излучением для двух ЛБВ с повышенной выходной ВЧ мощностью на 20% и на 50%. Показано, что максимальная температура коллектора и радиатора для ЛБВ-1 увеличилась на 10⁰С–15⁰С и 17⁰С–20⁰С соответственно, а для ЛБВ-2 увеличилась на 14⁰С–20⁰С и 13⁰С–14⁰С соответственно. Данный коллектор может быть использован для ЛБВ с повышенной мощностью на 50%.