Эпюры могут быть построены для любых уже существующих поверхностей или для дополнительных произвольно расположенных поверхностей.

Предложенная методика расчёта теплового состояния фотоприёмника солнечного модуля позволяет определять оптимальные геометрические параметры компонентов модуля, используя результаты, полученные в ходе моделирования различных трёхмерных моделей.

1. Панченко В.А. Теплофотоэлектрический модуль с концентраторами солнечного излучения параболоидного типа. Строительство и техногенная безопасность. 2020. № 18 (70). С. 107-121.
2. Панченко В.А. Исследование теплофотоэлектрического модуля с концентратором параболоидного типа. Оригинальные исследования. 2020. Т. 10. № 4. С. 47-53.
3. Панченко В.А. Солнечные теплофотоэлектрические модули стационарной и мобильной конструкции. Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2020. № 31-33 (353-355). С. 20-33.
4. Сеницын С.А. Задача синтеза геометрической информации при оптимальном моделировании гладких дифференциальных поверхностей. Инновации и инвестиции. 2018. № 10. С. 211-214.
5. Сеницын С.А. Задача паркетирования сферической защитной оболочки плоскими элементами с требуемой точностью. Современные проблемы железнодорожного транспорта. Сборник трудов по результатам международной интернет-конференции. 2019. С. 265-270.
6. Сеницын С.А. Метод статистической аппроксимации линейных геометрических обводов различной гладкости. Оригинальные исследования. 2020. Т. 10. № 1. С. 34-38.
7. Ansys, сайт. – URL: <https://www.ansys.com/> (дата обращения: 19.09.2021). – Текст: электронный.

Панченко В.А.¹, Чирский С.П.²

**Моделирование теплового состояния двустороннего фотоприёмника
теплофотоэлектрического концентраторного модуля**

¹Российский университет транспорта

²МГТУ им. Н.Э. Баумана
(Россия, Москва)

doi: 10.18411/trnio-10-2021-51

Аннотация

В статье рассмотрено моделирование теплового состояния фотоприёмника теплофотоэлектрического модуля в системе конечно-элементного анализа Ansys. Представлены тепловые поля различных компонентов фотоприёмника при различных размерах теплоизолятора и мощности падающего концентрированного солнечного излучения.

Ключевые слова: солнечная энергетика, фотоприёмник, система конечно-элементного анализа, теплофотоэлектрический модуль, тепловое состояние.

Abstract

The article discusses the modeling of the thermal state of the photoreceiver of the photovoltaic thermal module in the Ansys finite element analysis system. The thermal fields of various components of the photoreceiver are presented for different sizes of the heat insulator and the power of the incident concentrated solar radiation.

Keywords: solar energy, photoreceiver, finite element analysis system, photovoltaic thermal module, thermal state.

В современном мире ведущие державы всё больше делают упор на создание станций на основе преобразователей солнечной энергии. Этому способствует заметное совершенствование технологий изготовления, увеличение эффективности и уменьшения стоимости установленной мощности. Планарные фотоэлектрические модули [1] наиболее популярны в фотоэлектрических системах, однако использование теплофотоэлектрических модулей несёт ряд определённых преимуществ [2]. Большой интерес наряду с планарными теплофотоэлектрическими модулями представляют и концентраторные теплофотоэлектрические модули, хотя и проектирование профилей концентраторов представляет собой дополнительную задачу [3 - 5]. В подобного рода

теплофотоэлектрических модулях другой важной задачей является расчёт, моделирование и визуализация теплового состояния фотоприёмника, от которого зависят общая эффективность модуля и срок его окупаемости.

Рассмотрим пример моделирования в Ansys [6] фотоприёмника складного концентраторного теплофотоэлектрического модуля с двусторонними фотоэлектрическими преобразователями (матричными высоковольтными фотопреобразователями) (рис. 1).

Рисунок 1. Складной концентраторный теплофотоэлектрический модуль с двусторонними фотоэлектрическими преобразователями

В качестве предварительного расчета рассмотрена часть высоковольтного модуля: полоса шириной 10 мм, условно расположенная в средней части полного модуля, при этом длина части модуля равна длине полного модуля. Так как модуль симметричен относительно средней горизонтальной плоскости, то рассматривается только верхняя его половина. Течение охлаждающего агента считается равномерным по всему сечению полости охлаждения.

Рассмотрены три варианта конструкции, отличающиеся высотой теплоизолирующего слоя (толщиной слоя воздуха) – 3 мм, 5 мм и 7 мм (рис. 2).

Рисунок 2. Три варианта конструкции, отличающиеся высотой теплоизолирующего слоя

Изучено влияние величины концентрации солнечного излучения на тепловое состояние модуля – рассмотрены три варианта: концентрация солнечного излучения в 3, 6 и 9 раз для каждой стороны модуля. С учетом доли солнечного излучения, преобразуемого в электрическую энергию, величины теплового потока приняты равными 2400 Вт/м², 4800 Вт/м² и 7200 Вт/м².

Для варианта охлаждения водой с температурой 293 К выполнено моделирование теплового состояния для массовых расходов 0,05 кг/с, 0,005 кг/с и 0,0005 кг/с. Следует отметить, что при массовом расходе воды 0,05 кг/с слой воды не прогревается на всю толщину, поэтому расчет для этой величины расхода выполнен только для варианта конструкции с толщиной теплоизолятора, равной 3 мм.

Для варианта охлаждения воздухом с температурой 293 К при атмосферном давлении выполнено моделирование для величины массового расхода 0,01 кг/с. Так как даже в этом случае температура электрогенерирующего компонента превышает допустимое значение, расчеты для меньших массовых расходов воздуха не выполнялись.

На рис. 3 слева представлены температуры компонентов в плоскости симметрии в зоне входа и в зоне выхода охлаждающего агента воды с массовым расходом 0,05 кг/с при толщине теплоизоляционного слоя в 3 мм и концентрации солнечного излучения в 3 крат. На рис. 3 справа представлены температуры компонентов при концентрации 9 крат.

Рисунок 3. Температуры компонентов в плоскости симметрии в зоне входа и в зоне выхода охлаждающего агента; температуры компонентов при 0,05 кг/с, 3 мм и 9 крат

На рис. 4 слева представлены температуры компонентов при расходе 0,005 кг/с, толщине теплоизоляционного слоя 3 мм и концентрации 3 крат. На рис. 4 справа представлены температуры компонентов при концентрации 9 крат.

Рисунок 4. Температуры компонентов при 0,005 кг/с, 3 мм и 3 крат; при 0,005 кг/с, 3 мм и 9 крат

На рис. 5 слева представлены температуры компонентов при расходе 0,0005 кг/с, толщине теплоизоляционного слоя 3 мм и концентрации 3 крат. На рис. 5 справа представлены температуры компонентов при концентрации 9 крат.

Рисунок 5. Температуры компонентов при 0,0005 кг/с, 3 мм и 3 крат; при 0,0005 кг/с, 3 мм и 9 крат

На рис. 6 слева представлены температуры компонентов при расходе 0,005 кг/с, толщине теплоизоляционного слоя 5 мм и концентрации 3 крат. На рис. 6 справа представлены температуры компонентов при концентрации 9 крат.

Рисунок 6. Температуры компонентов при 0,005 кг/с, 5 мм и 3 крат; при 0,005 кг/с, 5 мм и 9 крат

На рис. 7 слева представлены температуры компонентов при расходе 0,0005 кг/с, толщине теплоизоляционного слоя 5 мм и концентрации 3 крат. На рис. 7 справа представлены температуры компонентов при концентрации 9 крат.

Рисунок 7. Температуры компонентов при 0,0005 кг/с, 5 мм и 3 крат; при 0,0005 кг/с, 5 мм и 9 крат

На рис. 8 слева представлены температуры компонентов при расходе 0,005 кг/с, толщине теплоизоляционного слоя 7 мм и концентрации 3 крат. На рис. 8 справа представлены температуры компонентов при концентрации 9 крат.

Рисунок 8. Температуры компонентов при 0,005 кг/с, 7 мм и 3 крат; при 0,005 кг/с, 7 мм и 9 крат

На рис. 9 слева представлены температуры компонентов при расходе 0,0005 кг/с, толщине теплоизоляционного слоя 7 мм и концентрации 3 крат. На рис. 9 справа представлены температуры компонентов при концентрации 9 крат.

Рисунок 9. Температуры компонентов при 0,0005 кг/с, 7 мм и 3 крат; при 0,0005 кг/с, 7 мм и 9 крат

На рис. 10 слева представлены температуры компонентов в плоскости симметрии в зоне входа и в зоне выхода охлаждающего агента воздуха с массовым расходом 0,01 кг/с при толщине теплоизоляционного слоя в 3 мм и концентрации солнечного излучения в 3 крат. На рис. 10 справа представлены температуры компонентов при концентрации 9 крат.

Рисунок 10. Температуры компонентов в плоскости симметрии в зоне входа и в зоне выхода охлаждающего агента; температуры компонентов при 0,01 кг/с, 3 мм и 9 крат

В результате проведённого моделирования теплового состояния двустороннего фотоприёмника концентраторного теплофотозлектрического модуля в системе конечно-элементного анализа Ansys, появляется возможность оптимизации конструкции и геометрических параметров компонентов фотоприёмника с целью получения необходимой температуры фотозлектрических преобразователей, температуры теплоносителя на выходе и, соответственно, необходимой величины электрической и тепловой эффективности солнечного модуля.

1. Panchenko V.A., Kharchenko V.V. Solar modules for autonomous and mobile energy generation. European Journal of Renewable Energy. 2018. Т. 1. № 3. С. 9-20.
2. Панченко В.А. Солнечные теплофотозлектрические модули стационарной и мобильной конструкции. Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2020. № 31-33 (353-355). С. 20-33.
3. Сеницын С.А., Стребков Д.С., Панченко В.А. Паркетирование поверхности параболического концентратора солнечного теплофотозлектрического модуля по заданным дифференциально-геометрическим требованиям. Геометрия и графика. 2019. Т. 7. № 3. С. 15-27.

4. Синицын С.А. Метод статистической аппроксимации линейных геометрических обводов различной гладкости. Оригинальные исследования. 2020. Т. 10. № 1. С. 34-38.
5. Синицын С.А. Информационная методика управления качеством поверхности солнечного концентратора, заданной дискретным множеством точек. E-Scio. 2020. № 1 (40). С. 421-427.
6. Ansys, сайт. – URL: <https://www.ansys.com/> (дата обращения: 19.09.2021). – Текст: электронный.

Панченко В.А.¹, Чирский С.П.²

Трёхмерное моделирование фотоприёмника ω -образного вторичного концентратора солнечного теплофотоэлектрического модуля в системе конечно-элементного анализа

¹Российский университет транспорта

²МГТУ им. Н.Э. Баумана

(Россия, Москва)

doi: 10.18411/trnio-10-2021-52

Аннотация

В статье рассмотрено трёхмерное моделирование фотоприёмника концентраторного теплофотоэлектрического модуля с ω -образным вторичным концентратором с целью получения его теплового режима работы. Благодаря визуализации теплового режима работы фотоприёмника появляется возможность оптимизации конструкции фотоприёмника с целью получения высокой эффективности его работы.

Ключевые слова: солнечная энергетика, фотоприёмник, система конечно-элементного анализа, концентратор солнечного излучения, теплофотоэлектрический модуль, тепловое состояние.

Abstract

The article discusses three-dimensional modeling of a photoreceiver of a concentrator photovoltaic thermal module with an ω -shaped secondary concentrator in order to obtain its thermal mode of operation. Due to the visualization of the thermal mode of the photoreceiver operation, it becomes possible to optimize the design of the photoreceiver in order to obtain high efficiency of its operation.

Keywords: solar energy, photoreceiver, finite element analysis system, solar radiation concentrator, photovoltaic thermal module, thermal state.

Увеличение эффективности солнечных модулей является важной и актуальной задачей, которая может быть решена как на технологическом уровне, так и с помощью применения новых конструкций солнечных модулей [1 - 2]. Теплофотоэлектрическая конструкция солнечных модулей [3] позволяет увеличивать общую эффективность солнечного модуля благодаря когенерационному принципу работы – выработке одновременно электрической и тепловой энергии. Наряду с когенерацией перспективным способом увеличения эффективности является применение концентраторов солнечного излучения различных типов, которые наряду с возможностью увеличения электрической эффективности фотоэлектрических преобразователей позволяют также уменьшить стоимость установленной мощности, что в свою очередь ускорит срок окупаемости солнечной установки. Однако наряду с задачей расчёта профиля концентраторов солнечного излучения [4 - 6] другой немаловажной задачей является расчёт теплового режима работы фотоприёмников подобного рода солнечных модулей. Ниже предложен пример трёхмерного моделирования в системе конечно-элементного анализа Ansys двустороннего теплофотоэлектрического фотоприёмника ω -образного вторичного солнечного концентратора, находящегося в фокусе первичного параболоцилиндрического концентратора солнечного излучения (рисунок 1).