двухкомпонентного полисилоксанового компаунда в процессе герметизации фотоэлектрических преобразователей [6].

В результате сборки складного концентраторного теплофотоэлектрического солнечного модуля с двусторонним фотоприёмником получен прототип модуля, готовый к натурным испытаниям (рисунок 6).

Рисунок 6. Прототип складного концентраторного теплофотоэлектрического солнечного модуля с двусторонним фотоприёмником

Разработанный складной концентраторный теплофотоэлектрический солнечный модуль с двусторонним фотоприёмником позволит потребителям получать наряду с электрической энергией ещё и тепловую энергию в виде нагретого теплоносителя.

1. Panchenko V. The development and testing of folding, sectional and flexible solar modules. Research in Agricultural Electric Engineering. 2015. № 3. С. 90-97.
2. Стребков Д.С., Поляков В.И., Панченко В.А. Высоковольтные кремниевые модули для преобразования концентрированного солнечного излучения. Малая энергетика. 2014. № 1-2. С. 116-122.
3. 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.
4. Сеницын С.А. Метод статистической аппроксимации линейных геометрических обводов различной гладкости. Оригинальные исследования. 2020. Т. 10. № 1. С. 34-38.
5. Сеницын С.А. Информационная методика управления качеством поверхности солнечного концентратора, заданной дискретным множеством точек. E-Scio. 2020. № 1 (40). С. 421-427.
6. Стребков Д.С., Персиц И.С., Панченко В.А. Солнечные модули с увеличенным сроком службы. Инновации в сельском хозяйстве. 2014. № 3 (8). С. 154-158.

Панченко В.А.¹, Чирский С.П.²

Моделирование теплового состояния фотоприёмника с полостным металлическим радиатором с волновой поверхностью теплофотоэлектрического концентраторного солнечного модуля

¹Российский университет транспорта

²МГТУ им. Н.Э. Баумана

(Россия, Москва)

doi: 10.18411/trnio-11-2021-62

Аннотация

В статье рассмотрено трёхмерное моделирование в системе конечно-элементного анализа фотоприёмника с полостным металлическим радиатором с волновой поверхностью, который входит в состав концентраторного теплофотоэлектрического модуля. Рассмотрены различные конструкции радиаторов фотоприёмника и получены значения тепловых полей и

скоростей теплоносителя, на основании которых можно проводить оптимизацию конструкции фотоприёмника.

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

Abstract

The article deals with three-dimensional modeling in the system of finite element analysis of a photoreceiver with a cavity metal radiator with a wave surface, which is part of the concentrator photovoltaic thermal module. Various designs of photoreceiver radiators are considered and the values of thermal fields and coolant velocities are obtained, on the basis of which it is possible to optimize the design of the photoreceiver.

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

Согласно недавним заявлениям глав мировых держав о глобальном энергопереходе, следующие десятилетия развитие и без того быстро развивающейся отрасли солнечной энергетики будет происходить опережающими темпами. Таким образом появится потребность в ещё большем количестве солнечных электростанций высокой эффективности. Существуют несколько способов повышения эффективности солнечных станций, одна из которых – использование солнечного излучения не только на выработку электрической энергии, но и на одновременную выработку тепловой энергии, что повышает общую эффективность системы (теплофотовоэлектрические системы) [1]. Также важным путём повышения эффективности солнечных станций является использование концентраторов солнечного излучения [2] совместно со специально разработанными фотоэлектрическими преобразователями. При таком подходе стоимость установленной мощности также снижается. Однако возникают новые задачи по проектированию профилей концентраторов солнечного излучения [3 - 5] и расчёту теплового состояния фотоприёмника концентраторного теплофотовоэлектрического солнечного модуля.

Ниже предложен пример трёхмерного моделирования в системе конечно-элементного анализа Ansys [6] фотоприёмника с полостным металлическим радиатором с волновой поверхностью, находящегося в фокусе параболоцилиндрического концентратора солнечного излучения, теплофотозлектрического солнечного модуля.

Для сравнения тепловых режимов работы фотоприёмников в системе конечно-элементного анализа произведено трёхмерное моделирование фотоприёмника с полостным металлическим радиатором №1 с волновой поверхностью (рисунок 1).

Рисунок 1. Схема радиатора №1 с волновой поверхностью

При моделировании с удельным тепловыделением на внешней поверхности изолятора в $1,5 \text{ Вт/см}^2$, температуре охлаждающей жидкости на входе в 20°C , скорости жидкости на входе в $0,15 \text{ м/с}$, получены результаты, показанные на рисунке 2 сверху. Расход жидкости при моделировании: массовый $0,172 \text{ кг/с}$, объемный $0,163 \text{ л/с}$, противодавление на длине 250 мм составляет 50 Па . При моделировании с удельным тепловыделением на внешней поверхности изолятора в $2,0 \text{ Вт/см}^2$, скорости жидкости на входе в $0,22 \text{ м/с}$, получены результаты, показанные на рисунке 3 снизу. Расход жидкости при моделировании: массовый $0,253 \text{ кг/с}$, объемный $0,239 \text{ л/с}$, противодавление на длине 250 мм составляет 170 Па .

Рисунок 2. Температуры фотоэлектрических преобразователей (слева) и скорости жидкости (справа)

На рисунке 3 представлена схема изменённого фотоприёмника с полостным металлическим радиатором №2с волновой поверхностью.

Рисунок 3. Схема изменённого радиатора №2 с волновой поверхностью

При моделировании с удельным тепловыделением на внешней поверхности изолятора в $1,5 \text{ Вт/см}^2$, температуре охлаждающей жидкости на входе в 20°C , скорости жидкости на входе в $0,15 \text{ м/с}$, получены результаты, показанные на рисунке 4 сверху. Расход жидкости при моделировании: массовый $0,172 \text{ кг/с}$, объемный $0,163 \text{ л/с}$, противодавление на длине 250 мм составляет 530 Па . При моделировании с удельным тепловыделением на внешней поверхности изолятора в $2,5$, скорости жидкости на входе в $0,25 \text{ м/с}$, получены результаты, показанные на рисунке 5 посередине. Расход жидкости при моделировании: массовый $0,287 \text{ кг/с}$, объемный $0,272 \text{ л/с}$, противодавление на длине 250 мм составляет 530 Па . При моделировании с удельным тепловыделением на внешней поверхности изолятора в $3,5 \text{ Вт/см}^2$, скорости жидкости на входе в $0,35 \text{ м/с}$, получены результаты, показанные на рисунке 5 снизу. Расход жидкости при моделировании: массовый $0,402 \text{ кг/с}$, объемный $0,381 \text{ л/с}$, противодавление на длине 250 мм составляет 2600 Па .

Рисунок 4. Температуры фотоэлектрических преобразователей (слева) и скорости жидкости (справа)

На рисунке 5 представлена схема изменённого фотоприёмника с полостным металлическим радиатором №3с волновой поверхностью.

Рисунок 5. Схема изменённого радиатора №3 с волновой поверхностью

При моделировании с удельным тепловыделением на внешней поверхности изолятора в $1,5 \text{ Вт/см}^2$, температуре охлаждающей жидкости на входе в 20°C , скорости жидкости на входе в $0,15 \text{ м/с}$, получены результаты, показанные на рисунке 7 сверху. Расход жидкости при моделировании: массовый $0,116 \text{ кг/с}$, объемный $0,110 \text{ л/с}$, противодавление на длине 250 мм составляет 220 Па . При моделировании с удельным тепловыделением на внешней поверхности изолятора в $2,5 \text{ Вт/см}^2$, скорости жидкости на входе в $0,25 \text{ м/с}$, получены результаты, показанные на рисунке 6 посередине. Расход жидкости при моделировании: массовый $0,194 \text{ кг/с}$, объемный $0,184 \text{ л/с}$, противодавление на длине 250 мм составляет 550 Па . При моделировании с удельным тепловыделением на внешней поверхности изолятора в $3,5 \text{ Вт/см}^2$, скорости жидкости на входе в $0,35 \text{ м/с}$, получены результаты, показанные на рисунке 6 снизу. Расход жидкости при моделировании: массовый $0,272 \text{ кг/с}$, объемный $0,258 \text{ л/с}$, противодавление на длине 250 мм составляет 1060 Па .

Рисунок 6. Температуры фотоэлектрических преобразователей (слева) и скорости жидкости (справа)

На рисунке 7 представлена схема изменённого фотоприёмника с полостным металлическим радиатором №4с волновой поверхностью.

Рисунок 7. Схема изменённого радиатора №4 с волновой поверхностью

При моделировании с удельным тепловыделением на внешней поверхности изолятора в $1,5 \text{ Вт/см}^2$, температуре охлаждающей жидкости на входе в 20°C , скорости жидкости на входе в $0,15 \text{ м/с}$, получены результаты, показанные на рисунке 9 сверху. Расход жидкости при моделировании: массовый $0,088 \text{ кг/с}$, объемный $0,084 \text{ л/с}$, противодавление на длине 250 мм составляет 2270 Па . При моделировании с удельным тепловыделением на внешней поверхности изолятора в $2,5 \text{ Вт/см}^2$, скорости жидкости на входе в $0,25 \text{ м/с}$, получены результаты, показанные на рисунке 8 снизу. Расход жидкости при моделировании: массовый $0,147 \text{ кг/с}$, объемный $0,140 \text{ л/с}$, противодавление на длине 250 мм составляет 7500 Па .

Рисунок 8. Температуры фотоэлектрических преобразователей (слева) и скорости жидкости (справа)

Таким образом, с помощью трёхмерного моделирования в системе конечно-элементного анализа появляется возможность оптимизации конструкции фотоприёмника с помощью визуализации тепловых полей фотоприёмника и скоростей теплоносителя, на основании которых можно проводить анализ о целесообразности использования той или иной конструкции фотоприёмника, с целью получения необходимых тепловых параметров и электрической и тепловой эффективности фотоприёмника.

1. Панченко В.А. Моделирование солнечных теплофотозлектрических модулей. Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 2 (35). С. 71-77.
2. Панченко В.А. Теплофотозлектрический модуль с концентраторами солнечного излучения параболического типа. Строительство и техногенная безопасность. 2020. № 18 (70). С. 107-121.
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. 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. Ansys, сайт. – URL: <https://www.ansys.com/> (дата обращения: 19.09.2021). – Текст: электронный.

Ращепкина С.А., Габалова Д.В., Князькина Е.В.

Открытые оросительные градирни, применяемые в энергетической промышленности

*Балаковский инженерно-технологический институт – филиал «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(Россия, Балаково)*

doi: 10.18411/trnio-11-2021-63

Аннотация

Рассмотрена классификация градирен по направлению движения воды и воздуха. Указаны особенности открытых оросительных градирен. Приведены основные характеристики башенной и вентиляторной градирен. Выявлены достоинства, недостатки и применение разных типов градирен на тепловых и атомных электростанциях.

Ключевые слова: оросительные градирни, типы, башенные, вентиляторные, особенности работы, назначение.

Abstract

The classification of cooling towers in the direction of movement of water and air is considered. The features of open irrigation cooling towers are indicated. The main characteristics of the tower and fan cooling towers are given. The advantages, disadvantages and application of different types of cooling towers at thermal and nuclear power plants have been identified.

Keywords: irrigation cooling towers, types, tower, fan, features of work, purpose.

Введение

Вопрос изучения промышленных объектов энергетики к ним примыкающим сооружениям является одним из важнейших вопросов настоящего времени. Так для охлаждения различного технологического оборудования, установленного на АЭС, ТЭС и других промышленных предприятиях, для их функционирования требуется большое количество оборотной воды. Наиболее распространенным типом охлаждающего оборудования являются различные конструктивные решения градирен. Выбор типа оросительных градирен