Следующий этап включает в себя инженерное конструирование состоящий из решения широкого круга вопросов, где могут быть использованы даже различные подходы и методы. К ним относятся конструирование по прототипам, использование стандартной и унифицированной номенклатуры элементов конструкции и в целом составляющих изделия, обратный инжиниринг и моделирование с использованием 3D – прототипинга.

Перечень задач, которые приходится решать (он в значительной степени связан с геометрией, как отдельных деталей, так и всей конструкции) может быть расширен или уточнён.

Возможно, ряд из них может оказаться за пределами области знаний конкретных обучаемых, но это не значит, что эти вопросы не следует ставить или их обговаривать.

Более того, при решении значительной части этих вопросов, имеет смысл использовать CAD/CAE/CAM технологии.

В принципе, по мнению авторов, за проектным обучением, будущее и весь процесс обучения должен складываться из нескольких проектов (в зависимости от направления обучения и будущей специальности), идущих параллельно, начинающихся на первом курсе и защищаемых в конце обучения.

1. Абросимов С.Н., Тихонов-Бугров Д.Е. Графическая подготовка в вузах в свете трендов Д.В. Мантурова. Современное образование: содержание, технологии, качество. 2017. Т. 2. С. 61-63.
2. Тихонов-Бугров Д.Е., Абросимов С.Н., Дюмин В.А. Базовые принципы преподавания инженерной и компьютерной графики будущим специалистам. Труды Международной конференции по компьютерной графике и зрению "Графикон". 2018. № 28. С. 389-392.
3. Абросимов С.Н., Шереметьева М.И. О роли «ручного» выполнения графических работ при подготовке технических специалистов В сборнике: Инновационные технологии и технические средства специального назначения Труды XII общероссийской научно-практической конференции. В 3-х томах. Сер. "Библиотека журнала "Военмех. Вестник БГТУ"" 2020. С. 216-219.
4. Вехтер Е.В., Сафьянникова В.И. Реализация проектного обучения при изучении дисциплины «Инженерная графика» // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №1-1.;URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=17414> (дата обращения: 26.10.2017).
5. Дюмин В.А., Тихонов-Бугров Д.Е. Хорошо не забытое старое или проектно – конструкторское обучение инженерной графике. // Сборник материалов 5-ой Международной научно-практической интернет-конференции «Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: традиции и инновации». Пермь-2015, С. 563-580.
6. Ярошевич О.В. Организация проектной деятельности при обучении инженерной компьютерной графике. Белорусский государственный аграрный университет, Минск, 10.2008г. URL: <http://elibrary.by/handle/123456789/36732>

Панченко В.А.¹, Чирский С.П.²

Методика моделирования планарной солнечной теплофотоэлектрической кровельной панели в системе конечно-элементного анализа Ansys

¹Российский университет транспорта

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

doi: 10.18411/trnio-10-2021-50

Аннотация

В статье предложена методика моделирования теплофотоэлектрического модуля в виде кровельной панели в системе конечно-элементного анализа Ansys. Представлен алгоритм расчёта теплового состояния с целью последующего получения тепловых полей, скоростей теплоносителя, линий течения теплоносителя и т.п.

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

Abstract

The article proposes a technique for modeling a photovoltaic thermal module in the form of a roofing panel in the Ansys finite element analysis system. An algorithm for calculating the thermal state is presented with the aim of subsequently obtaining thermal fields, coolant velocities, coolant flow lines, etc.

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

Преобразователи солнечной энергии совершенствуются быстрыми темпами и возникает необходимость моделирования и расчёта тепловых состояний солнечных модулей, которые предполагают нагрев теплоносителя [1 - 3]. Подобного рода солнечные модули могут быть как планарной конструкции, так и концентраторной, однако при использовании концентраторов солнечного излучения расчёт и проектирование их профиля является непростой задачей [4 - 6].

В качестве примера реализации методики расчёта теплового состояния в Ansys [7] планарного солнечного теплофотоэлектрического модуля представлена солнечная теплофотоэлектрическая кровельная панель, которая позволяет получать потребителю электрическую и тепловую энергию (рис.1).

Рисунок 1. Солнечная теплофотоэлектрическая кровельная панель

С целью визуализации тепловых режимов работы прототипа и движения теплоносителя приняты следующие размеры модели – габаритный размер модуля вдоль линии между отверстиями – 400 мм, перпендикулярно линии между отверстиями – 272 мм. Предварительный расчет выполняется для части модуля: моделируется полоса шириной 40 мм и длиной, равной длине модуля. Течение охлаждающего агента в полости охлаждения считается однородным, с одинаковым расходом через всё сечение полости охлаждения.

Размеры исследуемой области показаны на рисунке 2.

«Mesh». В настройках сетки выбирается тип решаемой задачи – CFD и используемый решатель – CFX (рис. 3).

Рисунок 3. Экспорт твердотельной трёхмерной модели в SolidWorks; структура расчета модели в ANSYS Workbench; пункт верхнего меню «Import External Geometry File...»; настройка построения сетки

Размер элементов задается числом разбиений различных сторон компонентов. Компоненты из твердых веществ разбиваются на 5 частей, компоненты из газа или жидкости – на 10 частей. По ширине модуль разбивается на 10 частей, по длине – на 50 частей. Процесс настройки показан на рис. 4.

Рисунок 4. Настройка построения сетки: а – толщина слоев жидкостей/газа, б – толщина твердых слоев, в – ширина, г – длина

Настройка трёхмерной модели, свойств материалов, граничных условий выполняется в модуле «CFX» (рис. 3). Так как в разных полостях модели могут течь разные жидкости, то для их адекватного расчета необходимо отключить настройку «Constant Domain Physics», которая автоматически назначает для всех доменов жидкости одинаковый материал с одинаковыми свойствами. Данная настройка находится в панели «Options...», вызываемой из верхнего меню модуля препроцессора CFX-Pre. Изменение настройки проиллюстрировано рис. 5. Далее создаются и настраиваются все материалы, используемые в исследуемой конструкции. Для каждого материала необходимо задать его фазовое состояние – твердое вещество, жидкость или газ и свойства – плотность, теплоемкость, коэффициент теплопроводности, динамическую вязкость (для жидкостей и газов). Процесс настройки свойств материала показан на рис. 5.

Рисунок 5. Отключение настройки «Constant Domain Physics»; настройка свойств материала

Каждый объем, тем или иным способом взаимодействующий с другими объемами или окружающей средой, должен быть описан соответствующим доменом. Для каждого домена должен быть выбран материал, способ взаимодействия с другими доменами и окружающей средой, внутренние источники вещества и теплоты.

Процесс настройки домена показан на рис. 6. На вкладке «Basic Settings» необходимо указать геометрические тела, входящие в данный домен, определить фазовое состояние вещества домена и выбрать материал. Во вкладке «Solid Models» настраивается способ взаимодействия данного домена с другими доменами. В данном расчете из списка «Heat Transfer» → «Option» выбирается пункт «Thermal Energy», что позволяет домену обмениваться теплом с другими доменами. Во вкладке «Initialization» настраивается начальное состояние системы. В данном случае задается начальная температура, равная 293 К. Во вкладке «Solver Control» настраивается решатель. В данном случае никакие изменения в настройки по умолчанию не вносятся.

Поверхности, разделяющие домены, называются интерфейсами. Через интерфейсы может происходить обмен теплотой и веществом между доменами. Поверхности могут описывать изотермические или адиабатные границы. Кроме того, интерфейсы могут описывать симметрию в расчетной области.

Рисунок 6. Настройка домена модели

Для рассматриваемой модели симметрия задана для поверхностей, отмеченных на рис. 7 зеленым цветом. Верхняя поверхность верхнего слоя и нижняя поверхность нижнего слоя модуля обмениваются теплом с окружающей средой. Для них задан коэффициент теплоотдачи $5 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ и температура окружающей среды 293 К. Процесс настройки этих поверхностей показан на рис. 7. Торцевые поверхности всех слоев, кроме поверхностей слоя охлаждающего агента считаются адиабатными. На рис. 7 эти поверхности отмечены зеленым цветом.

Рисунок 7. Настройка интерфейса типа «Symmetry»; настройка внешних верхней и нижней поверхностей модуля; настройка торцевых адиабатных поверхностей модуля

Для передней торцевой поверхности слоя охлаждающего агента задается граничное условие типа «Inlet». Это граничное условие описывает вход охлаждающего агента с некоторой температурой и некоторым массовым расходом. Температура охлаждающего агента на входе равна 293 К. Моделирование выполнено для нескольких различных величин массового расхода охлаждающего агента.

Для задней торцевой поверхности слоя охлаждающего агента задано граничное условие типа «Opening», описывающее место свободного истечения в бесконечный объем с некоторой температурой. Температура на выходе равна 293 К, противодавление истечению

отсутствует. Процесс настройки граничных условий для этих поверхностей показан на рис. 8.

Рисунок 8. Настройка торцевых адиабатных поверхностей модуля: а – «Inlet», б – «Opening»

Интерфейсы, описывающие контакт слоев модуля, настроены так, чтобы между слоями была возможна передача теплоты. Для этого выбран тип интерфейса «Interface» и включен теплообмен через него. Процесс настройки показан на рис. 9. На верхней поверхности слоя электрогенерирующего компонента выделяется теплота. Мощность тепловыделения зависит от мощности солнечного излучения, доли солнечного излучения, преобразуемого в электрическую энергию и доли отражаемого солнечного излучения. Для данной модели поверхностная мощность тепловыделения принята равной 800 Вт/м^2 . При настройке модели для верхней поверхности электрогенерирующего компонента необходимо задать источник теплоты. Процесс настройки этого граничного условия показан на рис. 9.

Рисунок 9. Настройка интерфейсов между слоями; настройка источника теплоты

Для настроенной модели выполняется расчет и анализ полученных результатов. Достижение сходимости расчета для разных моделей происходит за разное число итераций. Максимальное количество итераций задается в пункте меню «Solver Control» в поле «Max. Iterations», как показано на рис. 10. Запуск расчета выполняется в разделе «Solution» модуля «CFX». Просмотр и сохранение результатов выполняется в разделе «Results» модуля «CFX» (рис. 10). Здесь можно настроить отображение эпюр скоростей, давлений, температур и тому подобное, а также построить линии течений жидкостей и газов.

Рисунок 10. Настройка максимального количества итераций; запуск расчета в модуле «CFX»; постпроцессор модуля «CFX»

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