

УДК621.3

О.М.Суржик (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ)

Експериментальне дослідження на довговічність композиційних матеріалів колекторів сонячної енергії

Проведено експериментальні дослідження на довговічність композиційних матеріалів колекторів сонячної енергії на основі вуглецю та наповнювачів. Бібл. 1, табл. 1.

Ключові слова: сонячний колектор, композиційний матеріал, довговічність.

ORCID 0000 – 0002 – 7403 – 8584

Вступ. З часом виникають незворотні зміни властивостей композиційних матеріалів (КМ) сонячних колекторів (СК) внаслідок хімічних та фізичних перетворень, які відбуваються при їх переробці, збереженні та експлуатації, що впливає на їх придатність до використання. Оскільки КМ знаходяться в контакт з оточуючим середовищем, яке характеризується змінними значеннями відносної вологості, тиску, температури та інтенсивності сонячної радіації, необхідно враховувати вплив і цих факторів.

Експериментальні дослідження на довговічність проводилися з метою визначення терміну служби композиційного матеріалу абсорбера сонячного колектора (СК) у природних кліматичних умовах і здатності конструкції зберігати до кінця експлуатаційного періоду в заданих умовах запас міцності, необхідний для збереження їх функціональних властивостей.

Методика експериментальних досліджень. Для визначення впливу сонячного випромінювання (зокрема, його короткохвильового складу), підвищеної температури оточуючого середовища, а також гідростатичного тиску рідкого середовища на довговічність абсорбера СК у процесі випробувань вимірювалися наступні параметри: температура в термокамері штучної погоди; кількість енергії випромінювання, що надходить від джерела випромінювання на одиницю поверхні зразка; температура і тиск внутрішнього рідкого середовища експериментального зразка; час випробувань (у т.ч. і до руйнування зразка).

У зв'язку з довготривалістю випробувань експериментальних зразків у природних умовах використовувалися прискорені методи досліджень, де 1000 годин старіння зразка в штучних умовах відповідали 10 рокам у природних умовах. Відповідно до існуючої методики прискорення випробування імітувались умови помірного клімату. Умови експериментальних досліджень, їх послідовність, конструкція експериментальної установки та характеристики контрольно-вимірювальних приладів наведені в [1].

Результати експериментальних досліджень. Експериментально досліджувались абсорбери СК із композиційних матеріалів для колекторів сонячної енергії, які включали базову складову, наповнювачі та зв'язуючі: Б – базова складова: матово-чорний графіт (алотропна модифікація вуглецю), $\lambda = 119$ Вт/м·К; Н – наповнювачі: алюмінієвий дріб (діаметр 1,5 мм), гумова крихта (діаметр 1-1,5 мм); З – зв'язуючі: смола поліефірна ПН-21, нафтенат кобальту в стиролі, гіперіз. Алюмінієвий дріб сприяє збільшенню жорсткості матеріалу, а гумова крихта забезпечує його еластичність та гнучкість. При складанні рецептури строго дотримувались порядку введення компонент: у 100 м.ч. (масових частин) смоли ПН-21 та базової складової (співвідношення 1/1) треба ввести наповнювачі, а потім додати розчин нафтенату кобальту в стиролі (5 м.ч.). Все швидко перемішати, після чого ввести гіперіз (4 м.ч.), не допускаючи змішування нафтенату кобальту з гіперізом за межами композиції. Умови затвер-

діння матеріалу: холодне затвердіння протягом 24 годин. Експериментально досліджувалась довговічність наступних зразків композиційних матеріалів:

Зразок №1. Б – базова складова: матово-чорний графіт; Н – наповнювач: алюмінієвий дріб (діаметр 1,5 мм), концентрація m , %; З – зв’язуючі: поліефірна смола ПН-21 + 5 м.ч. нафтенату кобальту + 4 м.ч. гіперізу;

Зразок №2. Б – базова складова: матово-чорний графіт; Н – наповнювач: гумова крихта (діаметр 1-1,5 мм), концентрація m , %; З – зв’язуючі: поліефірна смола ПН-21 + 5 м.ч. нафтенату кобальту + 4 м.ч. гіперізу.

Також експериментально досліджувалась довговічність матеріалу із цементно-піскової суміші у співвідношенні 1:3 із наповнювачем – металевий дріб діаметром 1,8 мм (концентрація 40%) та світлостійким залізоокисним пігментом для бетону (концентрація 10%). У процесі експериментальних досліджень прискореним методом було визначено, що ці експериментальні зразки матеріалів різної товщини (від 7 мм до 300 мм) були без ознак руйнування протягом 20 років експлуатації.

У процесі експериментальних досліджень композиційних матеріалів на основі вуглецю (зразки №1 та №2) встановлено, що досліджувані зразки абсорбера СК в результаті дії на них світла стають більш крихкими. Виникнення крихкості може бути наслідком розриву основного ланцюга, фотоініційованої кристалізації або утворення поперечних хімічних зв’язків. У процесі дослідження впливу концентрації наповнювача матеріалу на температуру крихкості встановлено, що температура крихкості мало змінюється при наповненні композиту, якщо вміст наповнювача не перевищує 50%. Збільшення кількості наповнювача, що вводиться, до 55-60% супроводжується зниженням температури крихкості і відповідно зменшенням терміну експлуатації (таблиця 1).

Таблиця 1. Вплив концентрації наповнювача та товщини матеріалу на термін його експлуатації

Композиційний матеріал №1			
Концентрація наповнювача m , %	Товщина експериментального зразка 2 мм	Товщина експериментального зразка 5 мм	Товщина експериментального зразка 10 мм
	Термін експлуатації, років		
30%	6	15	18
50%	5	14	18
60%	2	7	15
70%	1	4	10
Композиційний матеріал №2			
Концентрація наповнювача m , %	Товщина експериментального зразка 2 мм	Товщина експериментального зразка 5 мм	Товщина експериментального зразка 10 мм
	Термін експлуатації, років		
30%	6	15	15
50%	5	14	15
60%	2	7	11
70%	1	4	6

Оскільки ультрафіолетове випромінювання в першу чергу викликає зміну хімічної структури у поверхневих шарах наповненого композиційного матеріалу, то ступінь впливу цього процесу на властивості матеріалу при старінні буде залежати і від товщини матеріалу. Старіння досліджуваного композиційного матеріалу товщиною 2 мм і 10 мм якісно відрізняється. Оскільки при фотоокисленні основні зміни відбуваються в тонкому поверхневому шарі, у внутрішніх шарах утворюється дуже незначна кількість продуктів окислення, а їх концентрація зменшується з віддаленням від поверхні у глибину досліджуваного зразка (таблиця 1).

Висновки. В результаті експериментального дослідження довговічності композиційних матеріалів на основі вуглецю методом прискорених випробувань встановлено, що на довговічність матеріалу значно впливає концентрація введеного наповнювача і товщина матеріалу. Збільшення кількості введеного металевого наповнювача до 55-60%, а також зменшення товщини матеріалу до 2 мм призводять до значного зменшення терміну його експлуатації.

1. Суржик Т.В. Экспериментальные исследования абсорбера полимерных солнечных коллекторов на долговечность // *Відновлювана енергетика*. – № 1. – 2008. – С. 25–29.

REFERENCES

1. Surzhuk T.V. Experimental study absorber polymer solar collectors durability // *Renewable energy*. – №1 – 2008. – Pp. 25–29 (Ukr).

А.Н.Суржик (Институт возобновляемой энергетики НАН Украины, Киев)

Экспериментальное исследование на долговечность композиционных материалов коллекторов солнечной энергии

Проведены экспериментальные исследования на долговечность композиционных материалов коллекторов солнечной энергии на основе углерода и наполнителей. Библ. 1, табл. 1.

Ключевые слова: солнечный коллектор, композиционный материал, долговечность.

О.М.Surzhuk (Renewable Energy Institute of NAS of Ukraine, Kyiv)

Experimental study on the durability of composite materials collectors of solar energy

Experimental studies have been conducted on the durability of composite materials Solar energy and carbon-based fillers. Reference 1, table 1.

Keywords: solar collector, composite, durability.

SYNOPSIS

Experimental research on durability conducted to determine the life of the composite material absorber solar collector (SC) under natural climatic conditions; the ability of the design to keep operating until the end of the period specified in the terms of the margin needed to preserve functional properties. SK investigated absorbers made of composite materials for solar collectors, which included basic component, fillers and binders. During the tests measured: temperature in a heat chamber of artificial weather; energy radiation coming from the radiation source unit sample surface; temperature and pressure of the internal liquid medium experimental design; including the test and the destruction of the sample.

Стаття надійшла до редакції 07.06.16

Остаточна версія 14.06.16

УДК 621.472

Л.И.Кныш, докт.техн.наук (Днепропетровский национальный университет им. О.Гончара, Днепропетровск)

Программный модуль для комплексного исследования энергопереноса в теплоприёмниках солнечных параболоцилиндрических станций

Предлагается алгоритм расчета геометрических, динамических и энергетических параметров системы приёма параболоцилиндрических солнечных станций. Алгоритм базируется на фрагментарном мультифизическом подходе, основанном на взаимодействии нескольких методик, различных по своей математической сути. Предлагаемый программный продукт может заменить достаточно громоздкие и дорогостоящие вычисления на основе стандартных пакетов, обеспечить максимально быстрое взаимодействие между основными расчётными блоками и проведение множества численных экспериментов по нахождению параметров системы, близких к проектным. Библ. 9, рис. 1.

Ключевые слова: солнечная параболоцилиндрическая станция, система приёма солнечного излучения, концентратор, трубчатый теплоприёмник, мультифизический подход.

ORCID 0000-0003-3525-4804

Введение. Поступательное развитие солнечной энергетики на данном этапе уже практически не зависит от конъюнктуры цен на энергоносители, политических и социальных изменений и других факторов, далёких от науки и технического прогресса. Следует отметить, что в мировой возобновляемой энергетике в большей или

меньшей мере востребованы все типы преобразования солнечной энергии, базирующиеся на кардинально разных методах и подходах. "Солнечные" проекты, как правило, инвестируются частными компаниями, поэтому, зачастую, выбор типа предлагаемых систем зависит от апробированности данной технологии в проектной компании.

© Л.И.Кныш, 2016

На территории Украины реализовано или планируется к реализации множество проектов солнечных фотоэлектрических энергосистем, которые показали свою высокую энергетическую эффективность и экологическую чистоту [1]. Относительно короткий срок эксплуатации фотоэлектрических станций ещё не позволяет накопить достаточный материал по некоторым негативным моментам, которые связаны с естественной деградацией солнечных элементов и существующими при этом потерями мощности. Учёт этих факторов приведёт, в конечном счёте, к повышению сроков окупаемости таких станций и стоимости вырабатываемой на них электрической энергии.

Менее уязвимы в этом смысле термодинамические солнечные станции, проектированию которых отдают предпочтение в США (Solana Generating Station Project, Ivanpah Solar Electric Generating system), Испании (Solaben Solar Power Station), Южной Африке (Khi Solar One, Vokroort), во многих арабских странах (Miraah, Noor, Shams Solar Power Station). Эти системы имеют значительные преимущества в эффективности и долговечности по сравнению с фотоэлектрическими станциями. Причём эффективность термодинамических станций существенно возрастает с увеличением мощности. Классический паротурбинный цикл в этих станциях может быть дополнен фотоэлектрическим контуром. Эффективность таких комбинированных систем возрастает и представляет собой сумму КПД двух независимых циклов [2, 3].

Функционирование опытной солнечной термодинамической станции СЭС-5 показало возможность использования термодинамической солнечной технологии в местах высокой инсоляции (побережье Черного и Азовского морей, Закарпатье, Центральные и Восточные районы Украины). СЭС-5 была выполнена в виде башни. Зеркала таких станций чётко ориентированы на Солнце, что обеспечивается двухосевой системой слежения. На привод данной системы затрачивается значительный энергетический потенциал станции. В этой связи более экономичными явля-

ются термодинамические параболоцилиндрические станции с одноосевой системой слежения за Солнцем.

Реализуемый в таких станциях классический паротурбинный цикл практически не требует дополнительных доводок и базируется на элементной базе, характерной для традиционной энергетики. Цена отпускаемой электрической энергии, срок окупаемости параболоцилиндрических станций и другие важные экономические параметры в данном случае во многом определяются проектными характеристиками систем приёма солнечного излучения. Поэтому создание математических моделей энергопереноса в приёмных системах термодинамических станций и реализация на их основе быстродействующих алгоритмов расчёта – важнейшая задача, стоящая перед проектировщиками таких станций. Один из этапов решения этой задачи представлен в данной работе.

Постановка задачи и метод её решения.

Система приёма параболоцилиндрической станции включает в себя три основных объекта – Солнце, как первичный источник тепла, концентратор, как вторичный источник и трубчатый теплоприёмник с движущимся внутри теплоносителем. Множество факторов различной физической природы, которые влияют на энергоперенос в этой системе, существенно усложняют математическое моделирование и разработку алгоритмов расчёта. Кроме того, использование разных подходов к расчёту (детерминированных и недетерминированных) делает проблематичным сопряжение основных расчётных моментов. Эту проблему предлагается решать на основе подходов, характерных для мультифизического моделирования, важной концепцией которого является использование результатов одной модели в качестве начальных или граничных условий для другой модели. Такой метод позволяет получать результаты, подробно отражающие суть физических явлений, используя различный математический аппарат. При этом алгоритмизацию созданной математической модели предполагается реализовывать в едином информационном пространстве, что приводит к повышению

точности результатов, минимизации временных затрат на подготовку модели и трансляцию промежуточных результатов.

Конечно, понятие мультифизичности чаще воспринимается в широком смысле, под которым понимается использование суперкомпьютерных технологий, обеспечивающих имитационное моделирование сложных инженерных систем. Это моделирование проводится с использованием специальных пакетов, которые часто разрабатываются или адаптируются под конкретное наукоемкое производство. Однако такой подход можно использовать и в более узком, фрагментальном смысле, в частности, при моделировании взаимосвязанных процессов энергомассопереноса в системе "Солнце – концентратор – теплоприёмник". Некоторые этапы, на которых базируется разработка такого алгоритма, представлены ниже.

Этапы расчёта. На первом этапе исследования необходимо провести расчёт плотности лучистого теплового потока, который, отражаясь от поверхности концентратора, поступает на поверхность теплоприёмника. Существует множество подходов к решению этой задачи, каждый из которых имеет свои преимущества [4]. Однако в данной постановке наиболее рациональным методом для расчёта лучистого теплообмена в системе "Солнце – концентратор – теплоприёмник" видится статистический метод Монте-Карло. При таком вероятностном подходе становится возможным учесть специфические особенности отражения солнечных лучей от поверхности концентратора, которые связаны с технологическими и эксплуатационными неточностями поверхности зеркала, что, в конечном счёте, влияет на вероятность попадания отражённого от концентратора луча на поверхность трубчатого теплоприёмника, расположенного в фокусе зеркала [5]. Проведённые по этой методике численные исследования показали, что даже при относительно больших размерах зеркал размеры фокального пятна будут невелики (3-5 см), и максимальная интенсивность солнечного излучения будет падать лишь на относительно небольшой участок теплоприёмного канала. Это позволяет определить геометриче-

ские размеры и конструкцию канала, обосновать необходимость использования теплоизоляции при его проектировании. На основе расчётного алгоритма Монте-Карло определяются также граничные условия для следующего этапа исследований, связанных с течением и теплообменом теплоносителя в трубчатом канале.

Моделирование тепломассопереноса в теплоприёмнике с движущимся внутри теплоносителем проводилось на основе уравнений Навье-Стокса в приближении слоистого течения. Предполагалось, что течение теплоносителя стабилизированное, причём внутри канала возможны некоторые конструктивные решения – перегородки, турбулизаторы, стабилизаторы [6]. Малая зависимость теплофизических и динамических параметров от температуры позволяет решать динамические и энергетические уравнения независимо друг от друга, что структурирует задачу, делая её решение более прозрачным.

На рис. 1 представлена блок-схема созданного программного модуля, в которой указаны все этапы проводимого расчёта. Блок SUN создан для расчёта облученности теплоприёмника и базируется на реализации метода Монте-Карло. Блок SPEED – вычисление возможных профилей скорости. Выбор профиля скорости проводится в зависимости от типа течения в канале и его геометрии. Кроме классического ламинарного параболического профиля для круглого канала в модуль входит вычисление турбулентных профилей на основе индуктивной теории свободной турбулентности Рейхардта, на основе подходов Дайслера, Бай Ши-И, а также классического степенного закона. Кроме того, при наличии в канале дополнительных конструктивных элементов, например, перегородок, существует возможность введения в модуль SPEED профилей скорости для некруглых каналов. Например, для расчёта динамики течения теплоносителя в перспективных солнечных комбинированных PVT-станциях в модуль SPEED было введено выражение для профиля скорости в полукруглом канале, основанное на решении уравнения Пуассона [7].

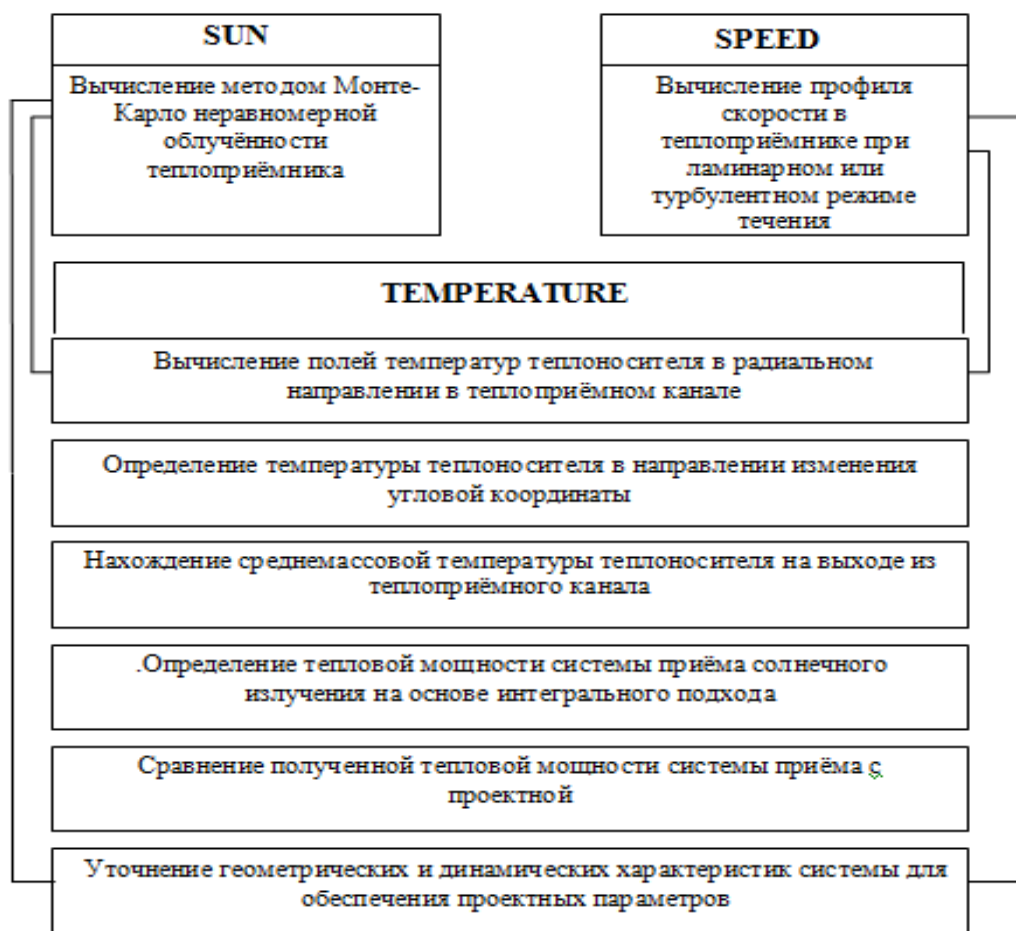


Рис. 1. Схема программного модуля для вычисления параметров системы приёма параболоцилиндрических солнечных станций.

Поле скоростей, вычисленное в модуле SPEED, передаётся в модуль для вычисления полей температур TEMPERATURE. В качестве граничных условий используются данные по облучённости приёмника, рассчитанные в модуле SUN. Используя эти граничные условия в качестве активных, рассчитывается поле температур теплоносителя в радиальном направлении. Это поле будет первым объектом метода расщепления двумерной параболической задачи. На следующем шаге вычисляется поле температур по угловой координате, причём в качестве значений на предыдущем шаге выбирается радиальное поле температур.

Такое расщепление по пространственным радиальным R и угловым Θ координатам позволяет проводить моделирование одномерных процессов с помощью неявных схем, а последовательное действие процессов учитывать явно. Решение двумерной задачи по переменным R и Θ

сводится к расчёту на каждом полуцелом шаге по пространственной продольной координате Z набора одномерных задач, решаемых методом прогонки. Применение неявной аппроксимации обеспечивает устойчивость схемы, а общее число арифметических действий оказывается пропорциональным числу узловых точек, поскольку алгоритм прогонки обладает этим свойством. Выбор шага расчётной сетки обусловлен устойчивостью решения. В качестве критерия устойчивости выбиралось сеточное число Пекле, характерное для схемы "против потока" [8].

Данный алгоритм заканчивается расчётом среднemasсовой температуры на выходе из теплообменного канала с последующим вычислением интегральной тепловой мощности системы приёма всего параболоцилиндрического модуля. После чего происходит сравнение полученной тепловой мощности с проектной. Если значения различаются выше заложенной погрешности, то

организуется итерационный процесс, в ходе которого уточняются геометрические (диаметр зеркала, диаметр теплоприёмника, точность изготовления концентратора, наличие, тип и толщина изоляции теплоприёмного канала), динамические (скорость и вязкость теплоносителя), теплофизические (теплоёмкость и теплопроводность теплоносителя) показатели системы приёма.

Кроме того, может быть промоделировано влияние некоторых внешних условий на энергетические параметры модуля, такие как средняя скорость ветра, средняя температура окружающей среды.

Следует отметить, что при составлении алгоритма расчёта плотность теплового потока от Солнца принималась постоянной, не зависящей от географических и климатических параметров. Очевидно, что при проектировании реальных систем это делать недопустимо. В настоящее время существует множество прикладных программ по определению уровня радиации, которые могут быть состыкованы с работой созданного модуля. От значения радиации зависит также работа систем слежения, термоаккумулятора, блока перехода на традиционное топливо в случае солнечно-топливных станций [9]. Согласование работы всех систем станции – отдельная масштабная задача, решение которой не входит в рамки данной работы.

Выводы. В работе представлен алгоритм расчёта наиболее рациональных геометрических, динамических и энергетических параметров системы приёма солнечных параболоцилиндрических станций. Алгоритм лёг в основу программного модуля, который базируется на фрагментарном мультифизическом подходе – использование результатов одного расчётного блока в качестве начальных или граничных условий для следующего. Причём эти расчётные блоки могут быть построены на принципиально разных методологических подходах. Предложенный программный модуль, созданный для конкретной задачи, может заменить достаточно дорогостоящие и громоздкие пакеты прикладных программ, существенно минимизировать время расчёта и его стоимость. В модуле существует возможность варьирования основными характеристиками системы приёма

параболоцилиндрических станций для нахождения тех, которые полностью обеспечивают их проектные энергетические параметры.

1. *Резцов В.Ф., Суржик Т.В., Хилько В.А.* Создание солнечной электростанции в Международном детском центре "Артек" // *Альтернативная энергетика и экология.* – 2013. – №17. – С. 44–45.

2. *Андреев В.М.* Концентраторная солнечная фотоэнергетика // *Альтернативная энергетика и экология.* – 2012. – №5 – 6. – С. 40–44.

3. *Стребков Д.С., Майоров В.А., Панченко В.А.* Солнечный тепло-фотоэлектрический модуль с параболоторическим концентратором // *Альтернативная энергетика и экология.* – 2013. – №1–2. – С. 35–39.

4. *Гаевский А.Ю., Ушкаленко О.В.* Расчёт распределения мощности электромагнитного излучения в солнечных концентраторах // *Альтернативная энергетика и экология.* – 2014. – №23. – С. 39–44.

5. *Кныш Л.И.* Численное моделирование лучистого теплопереноса в системе концентрации солнечного излучения «параболоцилиндрический концентратор – трубчатый теплоприёмник // *Альтернативная энергетика и экология.* – 2013. – №2. – С. 17–21.

6. *Майоров В.А., Стребков Д.С., Трушевский С.Н.* Исследование конструктивных и энергетических параметров приёмников излучения солнечных модулей с концентраторами // *Альтернативная энергетика и экология.* – 2015. – №6. – С. 24–30.

7. *Кныш Л.И.* Сравнительный анализ методов расчёта распределения скорости течения теплоносителя в теплоприёмнике солнечной энергетической установки // *Альтернативная энергетика и экология.* – 2013. – №1-1. – С. 14–17.

8. *Патанкар С.* Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.

9. *Гамарко А.В., Резцов В.Ф., Суржик Т.В., Шевчук В.И.* Анализ устойчивости аккумуляторов энергии солнечного излучения // *Альтернативная энергетика и экология.* – 2012. – №7. – С. 37–40.

REFERENCES

1. *Reztsov V.F., Surzhik T.V., Khilko V.A.* Creating a solar power plant in the International "Artek" Children's Center // *Alternativnaya energetika i ekologiya.* – 2013. – №17. – Pp. 44–45. (Rus)

2. *Andreev V.M.* Concentrator solar photovoltaics // *Alternativnaya energetika i ekologiya.* – 2012. – №5-6. – Pp. 40–44. (Rus)

3. *Srebkov D.S., Mayorov V.A., Panchenko V.A.* Solar thermal photovoltaic module with a *parabolotorical* concentrator // *Alternativnaya energetika i ekologiya.* – 2013. – №1–2. – Pp. 35–39. (Rus)

4. *Gaevskiy A.Yu., Ushkalenko O.V.* Calculation of power distribution of electromagnetic radiation in solar concentrators // *Alternativnaya energetika i ekologiya.* – 2014. – №23. – Pp. 39–44. (Rus)

5. *Knysh L.I.* Numerical simulation of radiant heat transfer in the system of solar concentration "parabolic cylindrical concentrator – tubular heat receiver" // *Alternativnaya energetika i ekologiya*. – 2013. – №2. – Pp. 17–21. (Rus)

6. *Mayorov V.A., Strebkov D.S., Trushevskiy S.N.* The study of structural and power parameters of radiation receivers of solar modules with concentrators // *Alternativnaya energetika i ekologiya*. – 2015. – №6. – Pp. 24–30. (Rus)

7. *Knysh L.I.* Comparative analysis of the methods of calculating the velocity distribution of coolant flow in heat receiver solar power plant // *Alternativnaya energetika i ekologiya*. – 2013. – №1-1. – Pp. 14–17. (Rus)

8. *Patankar S.* Numerical methods for solving problems of heat transfer and fluid dynamics. – M.: Energoatomizdat, 1984. – 152 p. (Rus)

9. *Gamarko A.V., Reztsov V.F., Surzhik T.V., Shevchuk V.I.* Stability analysis of solar energy batteries // *Alternativnaya energetika i ekologiya*. – 2012. – №7. – Pp. 37–40. (Rus)

Л.І.Кныш, докт.техн.наук (Дніпропетровський національний університет ім. О.Гончара, Дніпропетровськ)

Програмний модуль для комплексного дослідження енергопереносу в теплоприймачах сонячних параболоциліндричних станцій

Пропонується алгоритм розрахунку геометричних, динамічних та енергетичних параметрів системи прийому параболоциліндричних сонячних станцій. Алгоритм базується на фрагментарному мультифізичному підході, що базується на взаємодії декількох методик, які різні за своєю математичною суттю. Запропонований програмний продукт може замінити досить громіздкі та дорогі обчислення на основі стандартних пакетів, забезпечити максимально швидко взаємодію між основними розрахунковими блоками та проведення багатьох чисельних експериментів по знаходженню параметрів системи, близьких до проектних. Бібл. 9, рис. 1.

Ключові слова: сонячна параболоциліндрична станція, система прийому сонячного випромінювання, концентратор, трубчатий теплоприймач, мультифізичний підхід.

Knysh L.I., (Dnipropetrovsk National University of Oles Honchar, Dnipropetrovsk)

A software package for analysis of energy transfer in the receiver of solar parabolic cylindrical station

An algorithm for analysis of geometric, dynamic and energy parameters of receiver in a parabolic cylindrical solar plant is

proposed. The algorithm is based on fragmentary multi-physical approach that is a result of an interaction between few techniques of a different mathematical nature. The proposed software package is able to replace cumbersome and expensive solutions, provides the highest speed of interaction between main computational blocks, and allows performing a number of numerical experiments to determine optimal parameters of a system. References 9, figure 1.

Keywords: solar parabolic cylindrical plant, receiver system of solar radiation, concentrator, tube receiver, multi-physical approach.

SYNOPSIS

Thermodynamic solar technologies are developed steadily all over the world. They are highly efficient, well-tested and have large element base. Different combined systems can be designed based on classic solar plants with parabolic cylindrical concentrators. These systems can be photovoltaic-thermal (PVT), solar-wind, solar-fuel etc. Economical efficiency of these projects depends on the choice of optimal parameters of the «Sun – concentrator – heat receiver» systems. This problem is solved using multi-physical approach, which combines few techniques of a different mathematical nature.

A software package includes three blocks. The block SUN models radiation heat transfer using Monte-Carlo method. This modeling determines heat flow density in the focus of concentrator, where the tube receiver is placed. The value of focus spot is determined and the design of heat receiver is optimized. At the same time velocity profile for coolant is calculated in the block SPEED. This profile depends on chosen geometry of a receiver and coolant flow regime.

Results obtained from block SUN define the boundary conditions in heat receiver. Temperature fields are calculated in block TEMPERATURE, which also receives velocity profile from block SPEED.

The temperature fields in heat receiver and the average temperature at the exit from heat receiver are calculated. After that heat power of a receiver module is determined and compared with a design value. If the obtained value differs significantly from design value, then iterative procedure is used in order to find optimal parameters.

Dynamic (coolant velocity and viscosity), geometrical (diameter of concentrator and receiver, quality of surface of concentrator, method of thermal insulation and its thickness), thermal-physical (heat capacity of coolant and its thermal conductivity) properties are adjusted during this procedure. Some additional conditions (average wind velocity, average temperature of the environment) also can be taken into account.

Стаття надійшла до редакції 27.05.16

Остаточна версія 07.06.16

УДК621.3

В.Ф. Рєзцов¹, чл.-кор. НАН України, О.М.Суржик² (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ),
О.О.Охота³ (НТУУ "КПІ", Київ)

Експериментальне дослідження теплопровідності композиційних матеріалів колекторів сонячної енергії

Виконано експериментальні дослідження теплопровідності композиційних матеріалів колекторів сонячної енергії на основі вуглецю та наповнювачів. Бібл. 1, рис. 2.

Ключові слова: сонячний колектор, композиційний матеріал, теплопровідність.

ORCID: ¹0000 – 0001-8431-3968; ²0000 – 0002 – 7403 – 8584; ³0000 – 0002 – 4147 – 2931

Вступ. На сьогодні рівень розвитку пасивних сонячних технологій в Україні дуже низький. Відсутні надійні та довговічні матеріали з відповідними теплотехнічними характеристиками, які б відповідали вимогам новітніх технологій сонячного пасивного теплопостачання.

В результаті виконання даної роботи будуть розроблені нові композиційні матеріали, які з успіхом можна буде застосовувати як для пасивної, так і для активної сонячної енергетики. Вони будуть задовольняти вимогам новітніх технологій у цій галузі, таким як довговічність, висока надійність і теплопровідність, низька матеріаломісткість, стійкість до впливу вологого середовища, ультрафіолетового випромінювання і циклів "заморожування – відтавання" та інших природних екстремальних умов експлуатації.

Метою роботи є вимірювання ефективної теплопровідності серії зразків для вибору оптимального складу композиції нових матеріалів для використання їх у виробництві колекторів сонячної енергії.

Готову композицію можна представити однією моделлю при теоретичному розв'язанні задачі теплопровідності з метою визначення коефіцієнта теплопровідності. Однак значення ефективної теплопровідності на основі розрахункових даних можуть суттєво відрізнятися від експериментальних даних. Це пояснюється наявністю в композиті повітряних бульбашок, які виникають у процесі формування, нерівномір-

ністю розподілу по об'єму наповнювача та іншими ненормованими відхиленнями від моделі структури композиції [1].

Детальний аналіз існуючих експериментальних методів визначення теплопровідності показав, що найбільш прийнятними для дослідження композиційних матеріалів є методи, розроблені для плоских зразків. Ці методи відрізняються простою робочою формулою, фізичною наочністю процесів, відносною простотою апаратурного оформлення і, відповідно, більш високою надійністю отриманих результатів. Важливою особливістю цих методів є проста технологія виготовлення зразків, що мають форму диска.

Установка для вимірювання теплопровідності (рис. 1). Ефективна теплопровідність вимірювалася з використанням приладу ПТ-4, який призначений для вимірювання теплопровідності плоских зразків неметалевих матеріалів у стаціонарному режимі методом пластини.

Розрахункова формула для визначення теплопровідності:

$$\lambda = \frac{q \cdot h}{\Delta T}, \quad (1)$$

де q – питомий тепловий потік, що пронизує зразок, Вт/м²; h – товщина зразка, м; ΔT – градієнт температур на зразку, К.

Вимірювання теплового потоку, що створюється електронагрівачем 4 і пронизує зразок 1, здійснюється за допомогою тепломіра 2.

Гradient температур на поверхнях зразка вимірюється термопарами 3, а товщина зразка – індикатором товщини 5. Холодильник 6 слугує для активного відводу теплоти від зразка рідиною з термостату 7. Реєстрація термо-ЕРС виконується за допомогою приладу Щ68000.

Електронагрівач 4 являє собою масивний мідний корпус із вмонтованою ніхромовою спіраллю, живлення якого відбувається від джерела регульованої напруги 9.

Холодильник 6 являє собою порожнинний проточний теплообмінник із тангенціальним входом рідини і відводом із центральної частини, що дозволяє уникнути застійних зон і повітряних бульбашок. Активне відведення теплоти відбувається за допомогою рідини, що циркулює через холодильник за рахунок насоса термостату 7.

Для вимірювання теплового потоку, що пронизує зразок, призначений тепломір 2, який вмонтований у плоску поверхню холодильника. Тепломір являє собою багатопарову диференційну гальванічну термобатарею зі щільно упакованими термопарами.

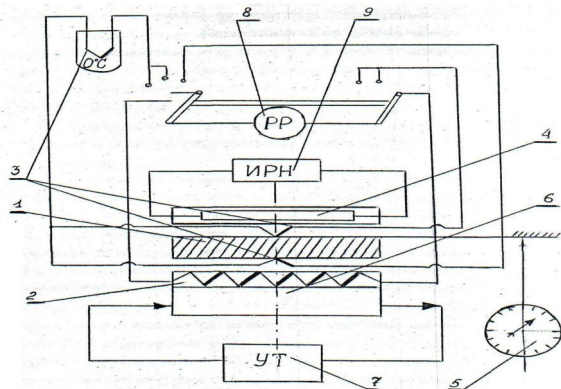


Рис. 1. Схема установки для вимірювання теплопровідності:

- 1 – зразок; 2 – тепломір; 3 – термопари; 4 – нагрівач;
- 5 – індикатор товщини; 6 – холодильник; 7 – термостат;
- 8 – показуючий прилад; 9 – джерело живлення.

Робоча зона тепломіра являє собою диск діаметром 25 мм. Решту площі плоскої поверхні холодильника займає охоронна зона з такого ж матеріалу, що дозволяє досягти рівномірного термічного опору по всій площині.

Для вимірювання gradientу температур на зразку використовуються стрічкові хромель-алюмінієві термопари, вмонтовані в гумові підк-

ладки, що дозволяє знизити вимоги до обробки поверхонь зразків.

Перемикач показуючого приладу 8 дозволяє почергово підключати до вольтметра тепломір та диференційовано включені термопари 3.

Датчиком температури слугує спай хромель-алюмінієвої термопари, розміщеної в посудині Дьюара з танучим льодом.

Метрологічне забезпечення установки. Для забезпечення отримання достовірних результатів вимірювання було проведено метрологічне засвідчення установки згідно діючої методики МІ 155-88 за допомогою мір теплопровідності зразків з поліметилметакрилату ($\lambda = 0,196$ Вт/м·К) і оптичного скла ФЕІ ($\lambda = 0,710$ Вт/м·К) при температурі $30 \pm 2^\circ\text{C}$. В результаті засвідчення отримано докази того, що сумарна відносна похибка вимірювань теплопровідності не перевищує $\pm 6\%$.

При вимірюванні термо-ЕРС використовувалася мілівольтметр класу не нижче 0,05. При вимірюванні товщини зразка використовувався індикатор товщини з похибкою вимірювання $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ м. Похибка атестації мір теплопровідності зразків складає $\pm 3\%$.

Прилад для вимірювання теплопровідності ПТ-4 пройшов державний приймальний контроль і внесений у Державний реєстр вимірювальних мір і приладів під №8440-88. Сумарна похибка вимірювання теплопровідності зразків у діапазоні від 0,035 до 150,0 Вт/м·К становить не більше $\pm 6\%$.

Підготовка зразків і методика вимірювань. Для отримання ефективної теплопровідності зразків композиційних матеріалів на основі вуглепластику були підготовлені зразки діаметром 100 мм і товщиною 5-7 мм.

Вимірювання підготовлених зразків проводилися за середньої температури $30 \pm 5^\circ\text{C}$ із п'ятикратним розміщенням зразка у приладі ПТ-4 і перегортанням. За результат вимірювання ефективної теплопровідності приймалося середнє арифметичне значення із 5 розміщень.

Після кожного розміщення зразка в робочій зоні приладу проводилася витримка протягом 30-40 хв. За цей час встановлювався гарантований стаціонарний тепловий режим. Після закінчення витримки зразка з інтервалом у 5 хв

не менше 5 разів знімалися показники тепломіру з термопар.

Результати вимірювань ефективної теплопровідності. Для вибору оптимального складу композиції зразків матеріалу для колекторів сонячної енергії досліджувались композиційні матеріали, які включали базову складову, наповнювачі та зв'язуючі: Б – базова складова: матово-чорний графіт (алотропна модифікація вуглецю), $\lambda = 119$ Вт/м·К; Н – наповнювачі: алюмінієвий дріб (діаметр 1,5 мм), гумова крихта (діаметр 1-1,5 мм); З – зв'язуючі: смола поліефірна ПН-21, нафтенат кобальту в стиролі, гіперіз. Алюмінієвий дріб сприяє збільшенню жорсткості матеріалу, а гумова крихта забезпечує його еластичність та гнучкість. При складанні рецептури строго дотримувались порядку введення компонент: у 100 м.ч. (масових частин) смоли ПН-21 та базової складової (співвідношення 1/1) ввести наповнювачі, а потім додати розчин нафтенату кобальту в стиролі (5 м.ч.). Все швидко перемішати, після чого ввести гіперіз – 4 м.ч. (не допускати змішування нафтенату кобальту з гіперізом за межами композиції). Умови затвердіння матеріалу: холодне затвердіння протягом 24 годин.

Результати вимірювання ефективної теплопровідності деяких зразків композиційних матеріалів наведено на рис. 2.

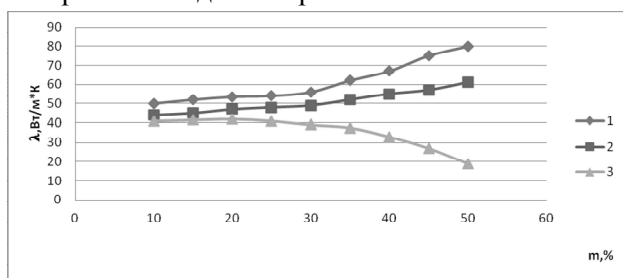


Рис. 2. Ефективна теплопровідність зразків композиційних матеріалів:

1. Б – базова складова: матово-чорний графіт; Н – наповнювачі: алюмінієвий дріб (діаметр 1,5 мм), концентрація m , %; З – зв'язуючі: поліефірна смола ПН-21 + 5 м.ч. нафтенату кобальту + 4 м.ч. гіперізу;

2. Б – базова складова: матово-чорний графіт; Н – наповнювачі: алюмінієвий дріб (діаметр 1,5 мм), концентрація m , %, гумова крихта (діаметр 1-1,5 мм), концентрація m , %; З – зв'язуючі: поліефірна смола ПН-21 + 5 м.ч. нафтенату кобальту + 4 м.ч. гіперізу;

3. Б – базова складова: матово-чорний графіт; Н – наповнювачі: гумова крихта (діаметр 1-1,5 мм), концентрація m , %; З – зв'язуючі: поліефірна смола ПН-21 + 5 м.ч. нафтенату кобальту + 4 м.ч. гіперізу.

Як можна побачити з рис. 2, на теплопровідність матеріалу суттєво впливає концентрація наповнювача. Збільшення кількості наповнювача з гумової крихти сприяє зменшенню коефіцієнта теплопровідності, тоді як збільшення кількості металевого наповнювача до 30-35% сприяє значному підвищенню коефіцієнта теплопровідності.

Висновки. В результаті експериментального дослідження ефективної теплопровідності композиційних матеріалів встановлено, що на теплопровідність матеріалу значно впливає концентрація введеного наповнювача. Збільшення кількості введеного металевого наповнювача до 30-35% сприяє значному підвищенню коефіцієнта теплопровідності.

1. Суржик Т.В. Технологія виготовлення полімерних сонячних колекторів // Відновлювана енергетика. – №2. – 2008. – С. 36–38.

REFERENCES

1. Surzhyk T.V. Manufacturing technology of polymer solar collectors // Renewable energy. – №2. – 2008. – Pp. 36–38 (Ukr).

В.Ф.Резцов, чл.-кор. НАН України, **А.Н.Суржик** (Інститут возобновляемой энергетики НАН України, Київ); **А.А.Охота** (НТУУ "КПИ", Київ)

Експериментальное исследование теплопроводности композиционных материалов коллекторов солнечной энергии

Выполнены экспериментальные исследования теплопроводности композиционных материалов коллекторов солнечной энергии на основе углерода и наполнителей. Бібл. 1, рис. 2.

Ключевые слова: солнечный коллектор, композиционный материал, теплопроводность.

V.F.Ryetzov, Corresponding Member of NAS of Ukraine, **O. M.Surzhyk** (Renewable Energy Institute of NAS of Ukraine, Kyiv); **O.O.Okhot**a (NTUU "KPI", Kyiv)

Experimental study of the thermal conductivity of composite materials collectors of solar energy

Experimental study of thermal conductivity of composite materials Solar energy and carbon-based fillers. Reference 1, figures 2.

Keywords: solar collector, composite material, thermal conductivity.

Summary

The aim is to measure the effective thermal conductivity of a series of designs to select optimal composition and its use in solar energy collectors. Detailed analysis of existing experimental methods for determining thermal conductivity

showed that the most suitable for the study of composite materials are techniques developed for flat samples. An important feature of these methods - simple manufacturing technology designs, the shape of the disk. Investigated composite materials, which included a base component, fillers and binders. For data were obtained graphs.

Стаття надійшла до редакції 04.06.16

Остаточна версія 14.06.16

МІЖНАРОДНИЙ ІНВЕСТИЦІЙНИЙ БІЗНЕС-ФОРУМ З ПИТАНЬ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

ІХ МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ. ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА - 2016

АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ

8-10
листопада

IEC

МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
Україна, Київ, Броварський пр-т, 15
М "Лівобережна"
☎ +38 044 201-11-66, 206-87-86
e-mail: energo@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua, www.tech-expo.com.ua

ОРГАНІЗАТОР:
Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України

СПІВОРГАНІЗАТОР:
Міжнародний виставковий центр

ГАЛУЗЕВИЙ ПАРТНЕР:
Українська Вітроенергетична Асоціація

Технічний партнер: *RandMedia*