

УДК 621.6.03

DOI: 10.25206/2310-4597-2023-1-46-50

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ

PROSPECTS FOR THE USE OF MODIFIED COOLANT IN SOLAR COLLECTORS

О. В. Вдовин, Е. Н. Слободина, А. Г. Михайлов

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

O. V. Vdovin, E. N. Slobodina, A. G. Mikhailov

Omsk State Technical University, Omsk, Russia

Аннотация. В статье представлен обзор работ, по изучению влияния использования наножидкостей в концентрирующих параболических солнечных коллекторах, за последние годы. Описано устройство солнечного коллектора, его особенности и принцип работы. Представлены основные уравнения для нахождения тепловых характеристик параболического солнечного коллектора, модели для нахождения основных теплофизических свойств наножидкости таких как: плотность, теплоемкость, вязкость и теплопроводность. Проведен анализ исследований в области использования различных наножидкостей в концентрирующих параболических солнечных коллекторах.

Ключевые слова: концентрирующий, параболический, солнечный коллектор, наножидкости, эффективность, теплопередача, теплофизические свойства

Abstract. The article presents an overview of the work on the study of the influence of the use of nanofluids in concentrating parabolic solar collectors in recent years. The device of a solar collector of this type, its features and principle of operation are described. The basic equations for finding the thermal characteristics of a parabolic solar collector are presented, as well as models for finding the main thermophysical properties of a nanofluid such as density, heat capacity, viscosity and thermal conductivity. The analysis of research in the field of the use of various nanofluids in concentrating parabolic solar collectors is carried out.

Keyword: concentrating, parabolic, solar collector, nanofluids, efficiency, heat transfer, thermophysical properties.

I. ВВЕДЕНИЕ

Непрерывный рост спроса на энергию приводит к неизбежному истощению ресурсов ископаемого топлива, увеличению загрязнения окружающей среды и повышению затрат на производственные нужды. Поэтому, за последние два десятилетия, непрерывно растет и спрос на возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Возобновляемые источники энергии включают в себя солнечную энергию, геотермальную энергию, энергию биотоплива, энергию морских волн и т.д.

Солнечная энергия является одной из самых чистых форм возобновляемых источников энергии и наиболее актуальной темой, когда речь заходит о ВИЭ, из-за ее простоты, доступности и незначительного технического обслуживания. В отличие от других возобновляемых источников энергии, она может быть использована напрямую.

Методы преобразования солнечной энергии, в основном, можно разделить на фотоэлектрические и тепловые. Тепловые системы преобразуют солнечную энергию в тепловую, а фотоэлектрические в электрическую. Тепловые системы могут поглощать более 95% поступающего солнечного излучения.

Солнечный коллектор – это особый тип теплообменника, в котором происходит теплообмен между лучистой энергией от удаленного источника и рабочей жидкостью, протекающей в коллекторе. Солнечные кол-

лекторы подразделяются на концентрирующие и не концентрирующие. Параболический солнечный коллектор является одним из видов концентрирующих солнечных коллекторов и преобразует лучистую энергию солнца в тепловую посредством концентрации солнечных лучей на трубе с рабочей жидкостью.

Обычно в качестве теплоносителей используют такие жидкости как: вода, моторное масло, этилен/пропиленгликоль, высокотемпературные органические и синтетические теплоносители. Однако эти «обычные» рабочие жидкости имеют очень низкие тепловые свойства по сравнению с твердыми телами (низкий коэффициент теплопроводности), поэтому скорость теплопередачи в тепловых процессах сравнительно невелика. Решением данной проблемы может послужить применение наножидкости в качестве теплоносителя.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Наножидкость представляет собой жидкость, в которой содержатся частицы нанометрового размера, называемые наночастицами. Наночастицы, используемые в наножидкостях, обычно изготавливаются из металлов, оксидов, карбидов или углеродных нанотрубок. Это относительно новый вид жидкостей, теплофизические свойства которых активно изучаются многими исследователями всего мира. Эффективность и компактность теплового оборудования повышается за счет улучшения теплопередающих свойств рабочих жидкостей, что также приводит к снижению капитальных и эксплуатационных затрат [1].

В данной работе представлено обобщение исследований, проведенных в области концентрирующих параболических солнечных коллекторов с использованием различных наножидкостей, отличающихся концентрацией, формой и материалом наночастиц. Выполнен анализ полученных результатов относительно производительности, теплообмена и тепловой эффективности концентрирующих параболических солнечных коллекторов, при использовании наножидкостей в качестве теплоносителя.

III. ТЕОРИЯ

Концентрирующий параболический солнечный коллектор используется для нагрева теплоносителя. Устройство солнечного коллектора данного типа представлено на рис. 1. Коллектор состоит из параболического желоба и, закрепленной над ним, поглощающей трубки. Солнечные лучи падают на параболический желоб, отражаются и преломляются, концентрируясь на поглощающей трубке. Поглощающая трубка имеет очень важную роль в солнечном коллекторе, поскольку является основным теплообменным элементом. В основном эти трубки изготавливают из меди и нержавеющей стали. Производительность концентрирующего параболического солнечного коллектора может быть улучшена путем нанесения некоторых селективных материалов на поглощающую трубку. Одним из методов минимизации тепловых потерь от солнечного коллектора является создание вокруг поглощающей трубки вакуума. Такая трубка получила название – вакуумная трубка солнечного коллектора.

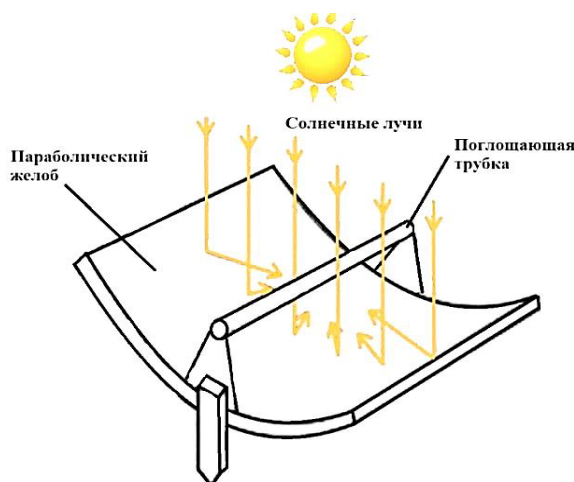


Рис. 1. Схематичное устройство концентрирующего параболического солнечного коллектора

В основе расчета характеристик солнечного коллектора таких, как теплопроизводительность и коэффициент полезного действия, лежит энергетический баланс. Располагаемая солнечная энергия (Q_c) для параболического солнечного коллектора определяется как произведение площади параболического желоба ($F_{п.ж}$) и интенсивности солнечного излучения (G_u) в соответствии с уравнением (1).

$$Q_c = F_{п.ж} \cdot G_u \quad (1)$$

Полезная энергия (Q_n), поглощенная солнечным коллектором, может быть рассчитана двумя способами – используя уравнение (2) для нахождения количества теплоты при нагревании теплоносителя и с помощью уравнения (3) описывающего теплоотдачу от поглощающей трубки к теплоносителю.

$$Q_n = m \cdot c_p \cdot (T_{вых} - T_{вх}) \quad (2)$$

$$Q_n = \alpha_{жс} \cdot F_{ст} \cdot (T_{ст} - T_{жс}) \quad (3)$$

В общем случае, коэффициентом полезного действия солнечного коллектора можно считать отношение полезной энергии, поглощенной солнечным коллектором, к располагаемой солнечной энергии, и выразить уравнением (4):

$$\eta = \frac{Q_n}{Q_c} \quad (4)$$

В уравнении (3) используется коэффициент теплоотдачи ($\alpha_{жс}$) между трубкой и теплоносителем. Этот параметр определяется характеристиками потока и свойствами теплоносителя. Расчет коэффициента теплоотдачи через число Нуссельта является наиболее привычным методом и выражен уравнением (5).

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda} \quad (5)$$

Традиционная критериальная зависимость для нахождения числа Нуссельта для турбулентного течения теплоносителя в трубе выражается уравнением (6), в котором используются числа Рейнольдса и Прандтля.

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (6)$$

Числа Рейнольдса и Прандтля находятся с помощью уравнения (7) и уравнения (8), которые включают в себя скорость теплоносителя (w), характерный размер (d), кинематическую вязкость (ν), динамическую вязкость (μ), теплоемкость (c_p) и теплопроводность (λ) теплоносителя.

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} \quad (7)$$

$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} \quad (8)$$

Как видно из выше представленных уравнений большую значимость на эффективность солнечного коллектора оказывает режим течения теплоносителя и его теплофизические свойства, входящие в состав этих уравнений.

Наножидкости получают путем диспергирования твердых частиц размером 1-100 нанометров в базовой жидкости. Базовыми жидкостями могут быть вода, этиленгликоль, пропиленгликоль, различные органические и синтетические масла и т.д. При использовании наножидкостей в качестве теплоносителя, большое влияние на теплообмен оказывают их теплофизические свойства. Важнейшими теплофизическими свойствами наножидкостей являются – плотность, удельная теплоемкость, удельная теплопроводность и динамическая вязкость, которые могут быть оценены с помощью существующих моделей или экспериментов.

Основные существующие модели определения основных теплофизических свойств наножидкости описаны в работе [2].

Как можно увидеть из представленных моделей, теплофизические свойства наножидкости зависят от концентрации и характеристик наночастиц (размер и форма) и от изначальных теплофизических свойств базовой жидкости и материала наночастиц.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Интерес к модифицированным теплоносителям с каждым годом растет, поэтому имеются многочисленные исследовательские работы по повышению эффективности солнечных коллекторов с использованием наножидкостей.

Bellos и Tzivanidis в своем исследовании [3] отметили увеличение эффективности солнечного коллектора на 0,34 % и 0,341 % при использовании двух наножидкостей на основе Syltherm 800 с наночастицами Al_2O_3 и TiO_2 . В работе [4] Kasaiean и соавторы использовали в параболическом солнечном коллекторе наножидкости на основе термального масла с наночастицами МУНТ, и обнаружили увеличение конвективной теплопередачи на 15% по сравнению с базовой жидкостью. Vijayan и соавторы в своей работе [5] исследовали применение наножидкости на основе деионизированной воды с наночастицами Al_2O_3 в параболическом солнечном коллекторе и наблюдали возрастание эффективности коллектора с увеличением массовой скорости потока, концентрации наночастиц в наножидкости. Эффекты температурного профиля, типа наночастиц и характеристик теплопередачи исследованы Fahim и соавторами [6] для трехразличных наножидкостей (все на основе термального масла с различными наночастицами – Cu , Al_2O_3 и TiO_2), в данной работе зафиксировано улучшение теплопередачи в солнечном коллекторе с увеличением концентрации наночастиц в термальном масле, а наножидкость с наночастицами Cu имеет наибольшее число Нуссельта. Экспериментальное исследование [7] по применению наножидкости на основе воды с углеродными нанотрубками и поверхностно активным веществом Triton X-100 провели Gautam и Chudasama и установили, что наножидкость, при определенном массовом расходе и концентрации наночастиц, обеспечивает максимальную тепловую эффективность коллектора, которая на 22% выше, чем у воды.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Во всех рассмотренных исследованиях наблюдается улучшение тепловых характеристик, концентрирующих параболических солнечных коллекторов, при использовании наножидкостей в качестве теплоносителя. В большинстве работ в качестве базовой жидкости использовали термические масла и воду, а в качестве наночастиц Al_2O_3 , CuO , Cu , TiO_2 и МУНТ. Увеличение эффективности солнечных коллекторов варьируется в широком диапазоне от 0,34 % до 22 %. Большой разбег в полученных результатах можно объяснить различными условиями исследований. В представленных трудах использовались наножидкости с различной концентрацией, формой и материалами наночастиц. Во многих работах исследователи выявляли зависимость интенсивности теплообмена от таких параметров, как температура наножидкости и скорость движения теплоносителя в солнечном коллекторе.

В большинстве работ исследователи придерживались небольшой концентрации наночастиц (до 1 %), что довольно хорошо повышает эффективность параболического солнечного коллектора, не создает излишней нагрузки на насос, перекачивающий теплоноситель.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ исследований применения наножидкостей в концентрирующих параболических солнечных коллекторах показал, что тепловые характеристики коллектора улучшаются в зависимости от свойств и характеристик наножидкости.

Рассмотренные работы показывают потенциал использования наножидкостей в качестве теплоносителя, как высокоэффективного и довольно простого средства повышения производительности и эффективности солнечных коллекторов и необходимость дальнейших исследований.

Эти результаты служат предпосылками к созданию высокоэффективного солнечного коллектора с модифицированным теплоносителем с улучшенными теплофизическими свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Efstathios E. (Stathis) Michaelides. *Nanofluidics. Thermodynamic and Transport Properties*. Springer International Publishing, 2014. 335 p. ISBN 978-3-319-05620-3.
2. Михайлов А. Г., Вдовин О. В., Слободина Е. Н. Теплообмен в элементах жаротрубного котла с изменением теплофизических свойств теплоносителя // Омский научный вестник. 2018. № 4 (160). С. 73–78. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-160-73-78.
3. Bellos E., Tzivanidis C. Thermal analysis of parabolic trough collector operating with mono and hybrid nanofluids. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2018. Vol. 26. Pp. 105–115. DOI: 10.1016/j.seta.2017.10.005.
4. Kasaiean A., Sameti M., Daneshazarian R., Noori Z., Adamian A., Ming T. Heat transfer network for a parabolic trough collector as a heat collecting element using nanofluid // *Renewable Energy*. 2018. Vol. 123. P. 439–449. DOI: 10.1016/j.renene.2018.02.062.
5. Vijayan G., Shantharaman P. P., Senthil R., Karunakaran R. Thermal performance analysis of a low volume fraction Al₂O₃ and deionized water nanofluid on solar parabolic trough collector // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2020. DOI: 10.1007/s10973-020-10313-w.
6. Fahim T., Laouedj S., Abderrahmane A., Alotaibi S., Younis O., Ali H.M. Heat Transfer Enhancement in Parabolic through Solar Receiver: A Three-Dimensional Numerical Investigation // *Nanomaterials*. 2022. Vol 12. P. 419. DOI: 10.3390/nano12030419.
7. Gautam P. M., Chudasama M. K. An Experimental Investigation of Parabolic Trough Collector using Industrial-grade Multiwall Carbon Nanotube-H₂O Based Nanofluid // *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*. 2022. Vol. 35. Pp. 112–120. DOI: 10.5829/ije.2022.35.01a.10.