



СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

SOLAR ENERGY

СОЛНЕЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ

SOLAR COLLECTORS

Статья поступила в редакцию 15.10.20 Ред. Рег. №11-01

The article has entered in publishing office 15.10.20 Ed. Reg. No. 11-01

УДК 697.329:004.942

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИНСОЛЯЦИИ И ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ НА
ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CFD-МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Д. Н. Литвинов¹, В. С. Костарев¹, В. А. Климова¹, В. И. Велькин¹

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина ул. Мира, 19, Екатеринбург 620002, Россия. тел.: +79024494468, e-mail: dan11.litvinov@ya.ru

doi: 10.15518/isjaee.2020.11.003

Заключение совета рецензентов: 25.10.20

Заключение совета экспертов: 25.10.20

Принято к публикации: 29.10.20

В данной работе описан теплогидравлический анализ плоского солнечного коллектора при помощи CFD-моделирования с целью изучения влияния погодных условий (скорость ветра) на эффективность работы коллектора. Моделирование проводится в CFD Solidworks Flow Simulation с использованием штатных средств моделирования солнечного излучения и с учетом влияния ветра. Итогом работы являются зависимости перепада температур теплоносителя на входе и выходе из коллектора от времени работы при разных значениях скорости ветра.

Моделирование работы плоского солнечного коллектора проводилось под воздействием солнечного облучения в диапазоне от 149 Вт/м² до 1019 Вт/м², что соответствует минимальному и максимальному солнечному лучевому тепловому потоку в городе Москва. Рассматривалось воздействие ветра в диапазоне скоростей от 0 до 4 м/с, также наиболее характерных для Москвы. При увеличении скорости ветра до 4 метров в секунду зафиксировано падение перепада температуры на 26,46% относительно безветренной погоды. Под воздействием ветра средний по внешней поверхности солнечного коллектора коэффициент теплоотдачи менялся в диапазоне от 5,172 Вт/м²·К до 11,571 Вт/м²·К.

Полученные результаты показывают, что наличие ветра существенно влияет на эффективность преобразования солнечной энергии в тепловую, поэтому при выборе места установки солнечного коллектора нужно учитывать не только угол падения солнечного излучения, но и розу ветров.

Стохастичность ветрового потенциала и солнечной инсоляции могут быть учтены при проектировании конструкции и монтаже СК на конкретном объекте. Приведенные результаты исследований позволяют утверждать о повышении КПД на 8-12% при выполнении дополнительных мероприятий по ветровой защите плоских коллекторов.

Ключевые слова: вычислительная гидродинамика, плоский солнечный коллектор, солнечное излучение, потери тепла, конвективный теплообмен.

**THE ANALYSIS OF INSOLATION AND WIND LOAD INFLUENCE ON THE
EFFICIENCY OF SOLAR COLLECTORS USING CFD-SIMULATION**

D. N. Litvinov¹, V. S. Kostarev¹, V. A. Klimova¹, V. I. Velkin¹

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin 19 Mira St., Yekaterinburg 620002, Russia tel.: +79024494468, e-mail: dan11.litvinov@ya.ru



The paper presents thermal and hydraulic analysis of a flat solar collector using CFD-simulation in order to study the influence of the weather conditions (wind velocity) on the collector operation efficiency. Simulation was made with CFD Solidworks Flow Simulation using standard tools of solar radiation simulation and considering the effect of wind. The result obtained is the dependence of the heat carrier temperature difference at the collector inlet and outlet on the operating time for the different values of wind velocity.

Modeling the operation of a flat solar collector was carried out under the influence of solar irradiation in the range from 149 W / m² to 1019 W / m², which corresponds to the minimum and maximum solar radiant heat flux in the city of Moscow. The impact of the wind in the speed range from 0 to 4 m / s, also most typical for Moscow, was considered. With an increase in the wind speed to 4 meters per second, a drop in temperature drop by 26.46% was recorded relative to calm weather. Under the influence of wind, the heat transfer coefficient averaged over the outer surface of the solar collector varied in the range from 5.172 W / m² K to 11.571 W / m² K.

The results obtained show that the presence of wind significantly affects the efficiency of converting solar energy into thermal energy, therefore, when choosing a place for installing a solar collector, it is necessary to take into account not only the angle of incidence of solar radiation, but also the wind rose.

The stochasticity of the wind potential and solar insolation can be taken into account when designing the structure and installing the SC at a specific object. The above research results allow us to assert an increase in efficiency by 8-12% when performing additional wind protection measures for flat collectors.

Key words: computational fluid dynamics, flat solar collector, solar radiation, heat loss, convective heat exchange.



Litvinov Danil
Nikolaevich
Литвинов Данил
Николаевич

Сведения об авторе: студент 5 курса кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Образование: Уральский федеральный университет им первого Президента России Б. Н. Ельцина (2016-н.в.)

Область научных интересов: теплогидравлическое моделирование, CAD

Награды и научные премии: Диплом Министерства промышленности и науки Свердловской области за актуальную для Свердловской области научную разработку (2019 г.), стипендиат концерна Правительств Российской Федерации (2020 г.)

Публикации: более 5.

Information about the author: 5th year student at Ural Federal University, Department of Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources

Education: Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin (2015-present)

Research area: thermohydraulic modeling, CAD

Awards and scientific awards: Diploma of the Ministry of Industry and Science of the Sverdlovsk Region for scientific research relevant to the Sverdlovsk Region (2019), scholarship holder of the Government of the Russian Federation (2020).

Publications: more than 5.



Kostarev Vyacheslav
Sergeevich
Костарев Вячеслав
Сергеевич

Сведения об авторе: студент 6 курса кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Образование: Уральский федеральный университет им первого Президента России Б. Н. Ельцина (2015-н.в.)

Область научных интересов: теплогидравлическое моделирование, оптимизация термодинамического цикла АЭС.

Награды и научные премии: Диплом Министерства промышленности и науки Свердловской области за актуальную для Свердловской области научную разработку (2019 г.), стипендиат концерна «Росэнергоатом», Президента и Правительства Российской Федерации (2019-н.в.)

Публикации: более 15, в том числе 3 в реферируемых изданиях.

Information about the author: 5th year student at Ural Federal University, Department of Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources

Education: Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin (2015-present)

Research interests: thermohydraulic modeling, optimization of the thermodynamic cycle of NPP

Awards and scientific awards: Diploma of the Ministry of Industry and Science of the Sverdlovsk Region for scientific research relevant to the Sverdlovsk Region (2019), scholarship holder of Rosenergoatom Concern and the President and the Government of the Russian Federation (2019-present).

Publications: more than 10, including 3 in refereed journals.



*Klimova Viktoria
Andreevna
Климова Виктория
Андреевна*

Сведения об авторе: старший преподаватель кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Образование: УГТУ-УПИ по специальности «Атомные электрические станции и установки» (2007 г.).

Область научных интересов: ядерная энергетика и технологии, компьютерное моделирование теплогидравлических процессов

Награды и научные премии: Почетная грамота министерства энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Свердловской области за активную работу со студентами по повышению энергоэффективности и развитию новых источников энергии (2011).

Публикации: более 60, в том числе 11 в реферируемых журналах.

Information about the author: Senior lecturer at Ural Federal University, Department of Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources

Education: Ural State Technical University, now UrFU (2007)

Research area: nuclear energy and technologies, hydrodynamics, computational

Awards and scientific awards: Diploma of the Ministry of Energy of the Sverdlovsk Region for the active work with students aimed at energy efficiency increase and new energy sources development (2011).

Publications: more than 60, including 11 in refereed journals.



*Velkin Vladimir
Ivanovich
Велькин Владимир
Иванович*

Сведения об авторе: профессор Уральского Федерального Университета, кафедра атомных станций и возобновляемых источников энергии, Россия; профессор кафедры, зам руководителя научной лаборатории «Евразийский центр возобновляемой энергетики и энергосбережения»

Образование: высшее, Уральский политехнический институт имени С.М. Кирова (ныне-УрфУ).

Область научных интересов: Возобновляемые источники энергии, атомная энергетика, энергосбережение

Награды и научные премии: Лауреат Национальной экологической премии Фонда им. В.И. Вернадского, (номинация «Энергетика будущего», 2009 г.)

Публикации: более 150 публикаций, три монографии, 11 патентов РФ.

Information about the author: Professor of the Ural Federal University, Department of nuclear power plants and renewable energy sources, Russia; Professor of the Department, Deputy head of the scientific laboratory "Euro-Asian center for renewable energy and energy saving"

Education: higher, graduated from the Ural Polytechnic Institute named after S. M. Kirov (now Urfu).

Research interests: Renewable energy sources, nuclear power, energy saving.

Awards and scientific awards: Winner Of the national environmental award of the V. I. Vernadsky Foundation, (nomination "Energy of the future", 2009)

Publications: more than 150 publications, three monographs, 11 patents of the Russian Federation.

Введение

В настоящее время системы солнечного теплоснабжения обслуживают миллионы потребителей в коммунально-бытовом и промышленном секторе. К концу 2019 года суммарная мощность этих систем оценивалась в 479 ГВт (тепл.) [1]. В настоящей работе рассмотрен один из трех типов солнечных коллекторов, которые используются для удовлетворения потребности жилых домов в горячей воде – плоский солнечный коллектор. Устройство состоит из системы труб с теплоносителем, абсорбера, который поглощает солнечное излучение и теплоизоляции, размещенных в корпусе, верхняя часть которого представляет собой прозрачное покрытие – обычно стекло. Такие коллекторы достаточно просто изготовить и смонтировать, они неприхотливы в обслуживании, что позволяет значительно снизить удельную стоимость нагретой воды и обеспечивает широкое применение таких систем [2]. Преобразование солнечной энергии в тепловую в плоском солнечном коллекторе произ-

водится следующим образом: солнечное излучение проходит через прозрачное покрытие и попадает на абсорбер, который, нагреваясь, начинает излучать тепловую энергию к теплоносителю (воде), протекающему через трубки коллектора. Под трубками располагают слой теплоизоляции [3]. Термический коэффициент полезного действия коллектора определяют как отношение теплоты, полезно использованной в коллекторе, к теплоте, пришедшей с солнечным излучением. Потери обусловлены отражением части излучения покрытием и абсорбером коллектора, а также тепловым излучением в окружающую среду и конвективным теплообменом с окружающей средой [4].

Авторы данной работы исследуют потери солнечного коллектора за счет конвективного теплообмена с окружающей средой, интенсивность которого во многом зависит от влажности воздуха, скорости ветра и других погодных факторов. Для исследования было проведено моделирование в среде Solidworks Flow Simulation.



Список обозначений	
Буквы греческого алфавита	
Δ	Изменение температуры
τ	Время, ч
Буквы латинского алфавита	
E	Эффективность
T_0	Температура воды при штиле, °C
T_v	Температура воды при скорости ветра v, °C
$T_{абс}$	Температура воды на поверхности коллектора, °C
$T_{вых}$	Температура воды на выходе из коллектора, °C
t	Время
Единицы измерения	
°C	Градусы Цельсия

Вт/м ²	Ватт на квадратный метр
ГВт	Гигаватт
м ²	Квадратный метр
м/с	Метр в секунду
мм	Миллиметр
ч	Час
Индексы нижние	
0	Штиль
v	Скорость ветра
абс	На поверхности абсорбера
вых	На выходе
Аббревиатуры	
CFD	Computational fluid dynamics
САПР	Система автоматизированного проектирования



1. Объект исследования

Для исследования была создана модель солнечного коллектора с произвольно выбранными размерами (рисунок 1). Ранее авторами проводилась верификация и подробное описание данной модели солнечного коллектора (статья готовится к публикации в журнале «Альтернативная энергетика и экология»).

Так как в этом исследовании внимание уделяется влиянию погодных условий на эффективность работы коллектора, модель была дополнена железным листом толщиной 4 мм, изображающим крышу, на которой установлен солнечный коллектор, и ограничивающим расчетную область.

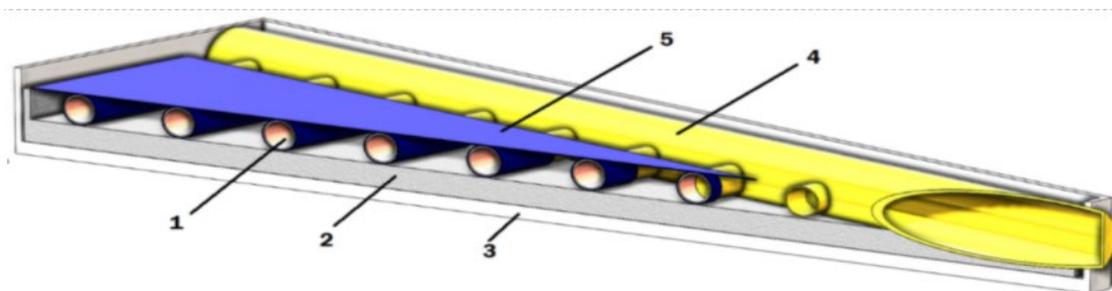


Рис. 1. Местный разрез плоского солнечного коллектора: 1 – медная трубка; 2 – изоляция; 3 – корпус; 4 – коллектор; 5 – абсорбер.

Fig. 1. The cross section of the solar collector: 1 – copper tubes; 2 – insulation; 3 – case; 4 – collector; 5 – absorber.

2. Моделирование с использованием пакетов вычислительной гидродинамики (CFD)

В настоящее время широкий спектр задач теплогидравлического анализа можно решить с использованием прикладных модулей вычислительной гидродинамики. На кафедре атомных станций и возобновляемых источников энергии Уральского федерального университета используется САПР Solidworks с модулем Flow Simulation для анализа процессов теплообмена и гидродинамики. Ряд работ, проведенных студентами и преподавателями кафедры, в том числе

авторами данного исследования, доказал эффективность применения упомянутого программного обеспечения для решения прикладных задач [6], [7]. В состав модуля Flow Simulation включены эффективные инструменты моделирования солнечного излучения, апробированные в работе [8].

В Solidworks Flow Simulation для моделирования ламинарных и турбулентных течений используется система уравнений Навье-Стокса, которые являются формулировками законов сохранения массы, импульса и энергии для потока жидкости или газа [9]. Система дополняется уравнениями состояния,



определяющими природу текучей среды, и эмпирическими зависимостями плотности, вязкости и теплопроводности от температуры. Одна и та же математическая модель используется для прогнозирования как ламинарных, так и турбулентных течений.

Для анализа работы коллектора создан следующий сценарий работы: подключение и запуск в 9 часов 15 июля в Москве при ясном небе с рассматриваемой длительностью работы 10 часов. На входе в коллектор поступает вода с объёмным расходом 30 литров в час с температурой 20 градусов Цельсия. Для моделирования ставилась внешняя задача с включением в расчет внутреннего пространства коллектора. В проекте использовалось три текучих среды – внешняя (воздух), внутри корпуса коллектора (разреженный воздух) и теплоноситель внутри труб (вода).

Так как солнечный коллектор используется на открытом воздухе, погодные условия влияют на теплообмен коллектора с окружающей средой. Но точное моделирование состояния окружающей среды в каждый конкретный момент времени (ветер, облачность) не представляется возможным, поэтому приняты допущения, а именно – постоянная температура воздуха, нулевая влажность, ясный день. Для моделирования ветра задавались скорость и направление движения для внешней текучей среды. Скорость изменялась в диапазоне от 0 до 4 м/с с шагом 1 м/с, что соответствует типичным для города Москвы значениям скорости ветра. Направление задавалось под углом 45° к поверхности коллектора и оставалось постоянным на протяжении всего расчёта.

Для конструктивных элементов коллектора были заданы материалы с соответствующими теплофизическими свойствами. Заданы свойства поверхностей, участвующих в теплообмене излучением: алюминий для корпуса коллектора, для абсорбера поглощающая стенка. Медные трубки не взаимодействуют с солнечным излучением, поэтому для них выбрана неизлучающая поверхность. Для железного листа, моделирующего крышу, также заданы теплофизические свойства материала.

Тепловой поток за счет солнечной радиации выбирался из встроенной базы данных по географиче-

ской широте места, дате и времени. Последнее определяет угол падения света.

В ходе расчета вычислялись средний падающий лучистый поток (солнечный) на поверхность абсорбера и температуры воды на входе и выходе из коллектора.

3. Результаты и обсуждение

Результаты моделирования в виде средней температуры поверхности абсорбера $T_{абс}$ и температуры воды на выходе из солнечного коллектора $T_{вых}$ в зависимости от скорости ветра по времени в период максимальной солнечной активности (с 10 часов утра до 17 часов дня), а также коэффициент теплоотдачи между коллектором и окружающей средой приведены в таблице 1. Время суток обозначено t .

Максимальная величина лучистого теплового потока на поверхности абсорбера приходится на третий час работы солнечного коллектора, что соответствует 12 часам дня реального времени. На рисунке 3 представлен перепад температур на входе и выходе из коллектора для разных скоростей ветра в зависимости от времени в период наибольшего нагрева – со второго по седьмой час работы, что соответствует 12 и 17 часам дня.

Так как целью данной работы является оценка потери эффективности за счет конвективного теплообмена с окружающей средой, характеристики материалов, в том числе поглощающие свойства поверхностей, а также характеристики падающего солнечного излучения в ходе исследования не варьировались. В качестве показателя эффективности работы солнечного коллектора был принят перепад температуры воды между входом и выходом из коллектора (нагрев воды). Наибольший нагрев воды в коллекторе (на 44,2°C) наблюдался при отсутствии ветра (при штиле). Это значение было принято за 100%. Эффективность при наличии ветра определялась как:

$$E = \frac{\Delta T_v}{\Delta T_0}; \quad (1)$$

где E – эффективность, ΔT_v – перепад температур при скорости ветра v , ΔT_0 – средний перепад при штиле.

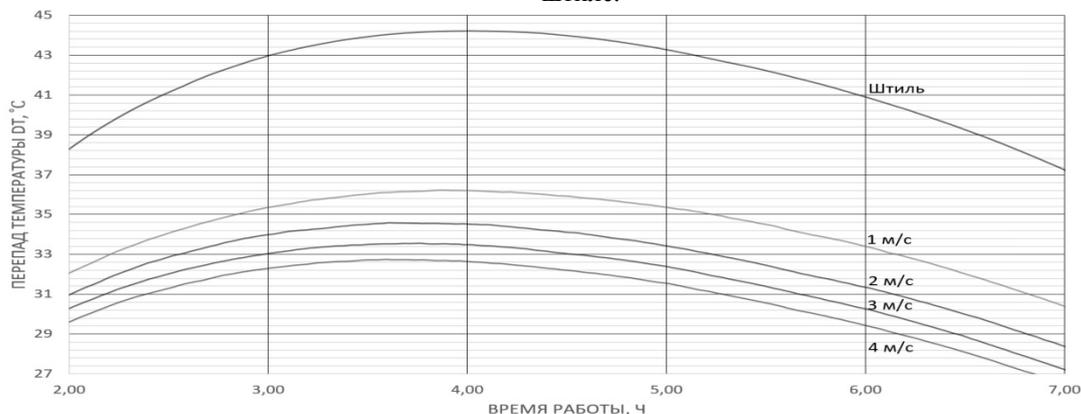


Рис. 2. График перепада температур теплоносителя между входом и выходом из коллектора по времени.
Fig. 2. The graph of the temperature difference of the coolant between the inlet and outlet from the collector over time.

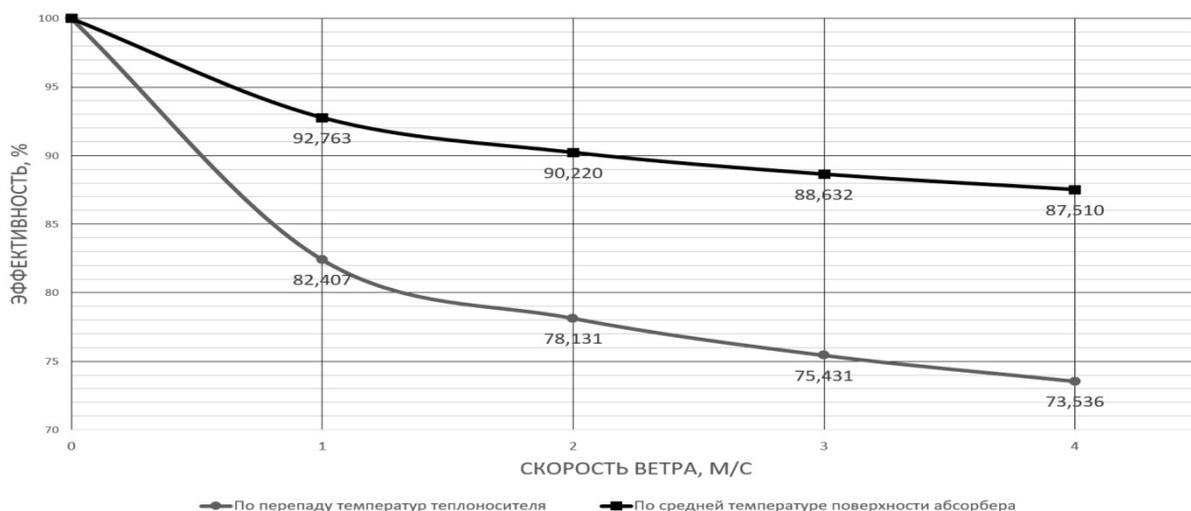


Рис. 3. График относительной эффективности по перепаду температур и средней температуре поверхности абсорбера в зависимости от скорости ветра.

Fig. 3. Relative efficiency plot of temperature difference and average absorber surface temperature in relation from wind speed outside of collector.

Анализ полученных данных показывает, что при увеличении скорости ветра до 4 метров в секунду эффективность солнечного коллектора падает до 74%. На рисунке 4 приведена зависимость относительной

эффективности солнечного коллектора от скорости ветра, по средней температуре поверхности абсорбера и среднему перепаду температур теплоносителя в коллекторе.

Значения перепада температур воды и средней на поверхности абсорбера

таблица 1

Values of temperature difference between water and average on the surface of the absorber

table 1

τ, ч	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
W _{солн} , Вт	923,03	994,24	1018,81	995,02	924,55	812,49	667,03	499,46	322,55
Штиль									
ΔT, °C	0,06	26,13	38,27	42,96	44,20	43,27	40,89	37,24	32,37
T _{абс} , °C	22,24	48,11	58,52	62,43	63,29	62,12	59,64	55,97	51,21
1 м/с									
ΔT, °C	0,06	22,85	32,05	35,36	36,20	35,36	33,41	30,39	26,35
T _{абс} , °C	22,16	46,23	54,55	57,49	58,05	56,97	54,77	51,54	47,32
α, Вт/м ² ·К	5,172	5,541	5,724	5,718	5,589	5,513	5,455	5,409	5,378
2 м/с									
ΔT, °C	0,06	22,38	30,96	33,99	34,52	33,43	31,35	28,38	24,47
T _{абс} , °C	22,16	45,76	53,56	56,19	56,47	55,18	52,87	49,65	45,55
α, Вт/м ² ·К	6,8	7,379	7,613	7,918	8,154	8,232	8,181	8,161	8,153
3 м/с									
ΔT, °C	0,06	21,81	30,27	33,03	33,48	32,38	30,26	27,22	22,30
T _{абс} , °C	22,16	45,24	52,89	55,31	55,49	54,19	51,86	48,61	44,51
α, Вт/м ² ·К	8,045	8,702	9,199	9,487	9,705	9,811	9,973	10,111	10,206
4 м/с									
ΔT, °C	0,05	21,19	29,61	32,3	32,65	31,56	29,44	26,49	22,74
T _{абс} , °C	22,15	44,64	52,28	54,66	54,75	53,43	51,11	47,92	43,94
α, Вт/м ² ·К	9,101	9,833	10,397	10,733	10,948	11,074	11,211	11,330	11,571



Зависимости перепада температур, средней температуры поверхности абсорбера в зависимости от ветра и падающего на поверхность абсорбера солнечного излучения по времени позволяют сказать о достоверности полученных результатов в соответствии с эмпирическими параметрами.

Заключение

Моделирование работы плоского солнечного коллектора проводилось под воздействием солнечного облучения в диапазоне от 149 Вт/м² до 1019 Вт/м², что соответствует минимальному и максимальному солнечному лучевому тепловому потоку в городе Москва. Рассматривалось воздействие ветра в диапазоне скоростей от 0 до 4 м/с, также наиболее характерных для Москвы. При увеличении скорости ветра до 4 метров в секунду зафиксировано падение перепада температуры на 26,46% относительно безветренной погоды. Под воздействием ветра средний по внешней поверхности солнечного коллектора коэффициент теплоотдачи менялся в диапазоне от 5,172 Вт/м²·К до 11,571 Вт/м²·К.

Полученные результаты показывают, что наличие ветра существенно влияет на эффективность преобразования солнечной энергии в тепловую, поэтому при выборе места установки солнечного коллектора нужно учитывать не только угол падения солнечного излучения, но и розу ветров [10].

Благодарности

Работа поддерживалась и была профинансирована за счет средств программы повышения конкурентоспособности «5-100» через научную лабораторию «Евразийский центр возобновляемой энергетики и энергосбережения» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н.Ельцина

Выводы

Ветровая нагрузка оказывает существенное влияние на эффективность солнечного коллектора. Стохастичность ветрового потенциала и солнечной инсоляции могут быть учтены при проектировании конструкции и монтаже СК на конкретном объекте. Приведенные результаты исследований позволяют утверждать о повышении КПД на 8-12% при выполнении дополнительных мероприятий по ветровой защите плоских коллекторов.

Литература

1. Renewables 2020 Global Status Report. A Comprehensive Annual Overview of the State of Renewable Energy, 2020 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf . – (Дата обращения: 13.10.2020).
2. Hossain M. S. Review on Solar Water Heater Collector and Thermal Energy Performance of Circulating

Pipe / M. S. Hossain [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2011. – #8. – P. 3801-3812.

3. Харченко, Н. В. Индивидуальные солнечные установки / Н. В. Харченко. – М.: Изд-во Энергоиздат, 1991. – 27 с.

4. Thabet S. Computational Fluid Dynamics: Science of the Future / S. Thabet, T. H. Thabet // International Journal of Research and Engineering. – 2018. – № 5. – P. 430-433.

5. Шумков Д. Е. Моделирование теплогидравлических процессов в змеевиковом теплообменнике для определения эффективности теплообмена / Д. Е. Шумков [и др.] // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений (Екатеринбург, 11–15 декабря 2017 г.). — Екатеринбург: УрФУ, 2017. — С. 990-993.

6. Костарев В. С. Теплогидравлическое моделирование облучательных устройств для наработки изотопов / В. С. Костарев [и др.] // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений (Екатеринбург, 09–13 декабря 2019 г.). — Екатеринбург: УрФУ, 2019. — С. 737-740.

7. Kostarev V. S. Simulation of Passive Removal of Residual Heat from Radioactive Wastes Subject to Weather Conditions / V. S. Kostarev, V. A. Klimova, O. L. Tashlykov // AIP Conference Proceedings. – 2019. – V. 2174. – P. 1-7.

8. Technical Reference. Solidworks Flow Simulation 2020.

9. В.А.Бутузов, В.В.Бутузов. Использование солнечной энергии для производства тепловой энергии. Под общей редакцией д.т.н. П.П.Безруких// Москва, Теплоэнергетик, 2015 г., 292 с.

10. Велькин В. И., Щелоков Я.М., Щеклеин С.Е.. Возобновляемая энергетика и энергосбережение. Под общей редакцией д.т.н. Велькина В. И. Учебник для ВУЗа. Екатеринбург, УрФУ, 2020 г. 318 с.

References

1. Renewables 2020 Global Status Report. A Comprehensive Annual Overview of the State of Renewable Energy, 2020 [EhlektronnyI resurs]. Rezhim dostupa: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf . – (Data obrashcheniya: 13.10.2020).
2. Hossain M. S. Review on Solar Water Heater Collector and Thermal Energy Performance of Circulating Pipe / M. S. Hossain [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2011. – #8. – P. 3801-3812.

3. Kharchenko, N. V. Individual'nye solnechnye ustanovki / N. V. Kharchenko. – M.: Izd-vo Ehnergoizdat, 1991. – 27 s.

4. Thabet S. Computational Fluid Dynamics: Science of the Future / S. Thabet, T. H. Thabet // International Journal of Research and Engineering. – 2018. – № 5. – P. 430-433.

5. Shumkov D. E. Modelirovaniye teplogidravlicheskikh protsessov v zmeevikovom teploobmennike dlya opredeleniya ehffektivnosti tep-loobmena / D. E. Shumkov [i dr.] // Ehnergo- i resurso-sberezhenie. Ehnergoobespechenie. Netraditsionnye i vozobnovlyayemye istochniki ehnergii: materia-IY Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, po-svyashchennoi pamyati professora Danilova N. I. (1945–2015) – Danilovskikh chtenii (Ekaterinburg, 11–15 dekabrya 2017 g.). — Ekaterinburg: URFU, 2017. — S. 990-993.

6. Kostarev V. S. Teplogidravlichesкое modelirovanie obluchatel'nykh ustroystv dlya narabotki izotopov / V. S. Kostarev [i dr.] // Ehnergo- i resursosberezhenie. Ehnergoobespechenie. Netraditsionnye i vozobnovlyayemye istochniki ehnergii: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, po-svyashchennoi pamyati profes-sora Danilova N. I. (1945–2015) – Danilovskikh chtenii (Ekaterinburg, 09–13 dekabrya 2019 g.). — Ekaterinburg: URFU, 2019. — S. 737-740.

7. Kostarev V. S. Simulation of Passive Removal of Residual Heat from Radioactive Wastes Subject to Weather Conditions / V. S. Kostarev, V. A. Klimova, O. L. Tashlykov // AIP Conference Proceedings. – 2019. – V. 2174. – P. 1-7.

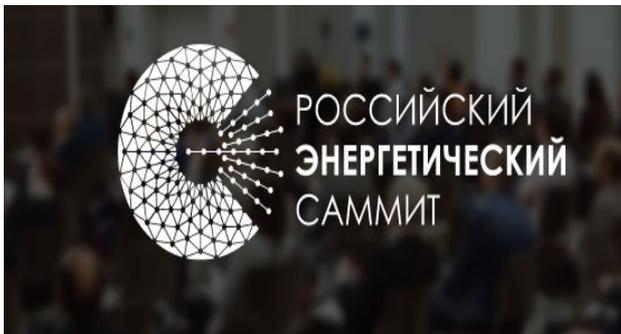
8. Technical Reference. Solidworks Flow Simulation 2020.

9. V.A.Butuzov, V.V.Butuzov. Ispol'zovanie sol-nechnoi ehnergii dlya proizvodstva teplovoi ehnergii. Pod obshchei redaktsiei d.t.n. P.P.Bezrukikh// Moskva, Tep-loehnergetik, 2015 g., 292 s.

10. Vel'kin V. I., Shchelokov YA.M., Shcheklein S.E.. Vozobnovlyayemaya ehnergetika i ehnergosberezhenie. Pod obshchei redaktsiei d.t.n. Vel'kina V. I. Uchebnik dlya VUZa. Ekaterin-burg, URFU, 2020 g. 318 s.



Транслитерация по BSI



IV РОССИЙСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ САММИТ

АПРЕЛЬ 2021 / МОСКВА

О саммите

Специализированная площадка для ключевых игроков энергетической отрасли. В рамках Саммитов пройдут Конгрессы по стратегическим вопросам отрасли, технические и тематические сессии о самых актуальных технологиях, разобраны практические примеры внедрения энергоэффективного оборудования и цифровых решений, другие важные вопросы энергетики России.

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



ПРОГРАММНЫЙ ПАРТНЕР

