

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГИДРОСИСТЕМЫ НА СОЛНЕЧНОМ КОЛЛЕКТОРЕ

А. А. Гладенко, А. В. Зиновьева, В. И. Карагусов

Омский государственный технический университет,  
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

Радиационные системы жизнеобеспечения, такие как солнечные коллекторы, являются высокоэффективными, обладают практически неограниченным ресурсом, не используют сложных технологий. Технологии обогрева, отопления и горячего водоснабжения реализуются в них достаточно просто. Такие системы используют энергию солнечного излучения, которая является безуглеродной, экологически чистой и возобновляемой. Эта энергия преобразуется в тепловую радиационными солнечными коллекторами и передается в обогреваемые помещения при помощи гидравлических или пневматических систем. Для малоэтажных отдельно стоящих строений типа коттеджей и сельских домов гидросистемы представляют перспективнее ввиду большей теплоемкости воды или незамерзающих жидкостей по сравнению с воздухом.

В данной работе рассматриваются экспериментальные и расчетные исследования радиационной системы жизнеобеспечения, проведенные в 2018–2021 годах. Определить тепловую производительность и геометрические размеры солнечных коллекторов с необходимой для практики точностью можно путем расчетов на основании экспериментальных данных. Существует возможность получения недостающих экспериментальных данных при помощи интерполяции, экстраполяции и теории подобия.

**Ключевые слова:** солнечный коллектор, солнечное излучение, тепловая производительность, гидросистема, возобновляемые источники энергии.

## Введение

Солнечную энергию относят к зеленой энергетике, она является экологически чистой, не оставляющей углеродного следа, возобновляемой энергией. Технология солнечного обогрева позволяет создавать системы обогрева, отопления и горячего водоснабжения с практически неограниченным ресурсом, малыми эксплуатационными расходами и высокой эффективностью. Принципиально радиационная система обогрева представляет собой несколько подсистем: теплообменные аппараты — солнечные коллекторы преобразуют солнечную энергию в тепло; следующая подсистема передает теплоту во внутренние помещения при помощи теплоносителя. Посредством гидросистем, заполненных водой или незамерзающей жидкостью, а также пневмосистем теплота солнечного излучения передается по назначению. Такие системы относятся к радиационным системам жизнеобеспечения.

Солнечные коллекторы являются универсальными аппаратами, позволяющими вырабатывать теплоту от инсоляции Солнца днем [1, 2] и холод от ночного неба ночью [3, 4]. Выработанную днем теплоту можно использовать для обогрева сразу или запастись в тепловых аккумуляторах для обогрева в ночное время или в пасмурные дни. Полученный в ночное время холод направляется в холодильные камеры, систему кондиционирования воздуха или в аккумулятор холода для использования в дневное время [5–7].

Еще одним достоинством радиационных систем жизнеобеспечения является их способность дополнять традиционные системы жизнеобеспечения.

Так, в холодные периоды, когда радиационная система нагрева не позволяет полностью обогреть необходимые объекты из-за низких температур и короткого светлого времени суток, полученная от Солнца теплота уменьшает нагрузку на традиционные системы нагрева (отопления), что приводит к экономии топлива или электрической энергии [8].

Радиационные автоматизированные системы жизнеобеспечения не требуют регулярного управления и обслуживания. В некоторых случаях могут потребоваться работы по уборке снега, опавших листьев, пыли и пр. с солнечных коллекторов.

Технологии радиационного обогрева перспективны для малоэтажных строений, расположенных вдали от основных коммуникаций.

## Объект исследований

Тепловая производительность радиационных систем обогрева определяется не только временем года и суток, но и такими факторами, как широта, высота над уровнем моря, климатическая зона, регион, погодные условия, конструкция и размещение радиационных систем на объекте, близкое расположенные здания, деревья и пр. Обычно радиационные панели размещают на крышах, поэтому большое влияние имеет ориентация крыши (оптимальным является их расположение на южном скате крыши).

На большинстве территорий Российской Федерации кондиционирование воздуха не требуется за исключением короткого периода от 1 до 5 месяцев. В то же время на большой территории страны отопление необходимо в осенне-зимне-весенний период.

В ряде северных и восточных регионов отопление требуется круглый год.

Из-за непредсказуемости погодных условий определить расчетным путем количество теплоты, получаемое от солнечных коллекторов, практически невозможно (или возможно очень приблизительно). Есть три пути определения производительности солнечной радиационной системы обогрева. Первый заключается в использовании архивов погоды (климатических баз данных) для данного конкретного места (локации). Если взять данные за несколько лет, то можно сделать оценки по инсоляции. Проблемы заключаются в следующем. Точки на местности, на которых ведется сбор погодных параметров, расположены, например, в Западной Сибири, на значительном удалении, достигающем сотен километров от ближайшего. На таких расстояниях погодные условия могут значительно различаться. Кроме того, архивы погоды не учитывают конкретные облака, которые оказывают значительное влияние на производительность системы жизнеобеспечения. Не учитывают базы данных локальные дожди и грозы, так как их фронты могут пройти между пунктами замера погодной информации.

Второй путь более долгий. На требуемой территории проводятся экспериментальные измерения погодных условий, определяется период отопительного сезона. Для этого вблизи объекта, предназначенного для установки радиационной системы обогрева, размещается стенд, который собирает экспериментальные погодные данные. Затем проводится анализ полученных данных, сравнение их с данными из архивов погоды, определяется продолжительность отопительного периода и конфигурация радиационной системы обогрева.

Третий путь предполагает анализ архива погоды вблизи данной местности (желательно нескольких ближайших станций) за несколько последних лет, взять их за первое приближение и проектировать по ним систему жизнеобеспечения. В процессе эксплуатации необходимо отслеживать работу системы жизнеобеспечения, при необходимости провести модернизацию, учитывать результаты при дальнейших разработках систем жизнеобеспечения.

Для реализации второго пути разработки солнечной системы обогрева была проведена разработка экспериментального стенда [9] для определения инсоляции путем измерения в режиме реального времени температур измерительной ячейки, имитирующей солнечный коллектор. По сравнению с описанным в [9], с целью улучшения характеристик и упрощения стенд был модернизирован, после чего его измерительная ячейка была установлена на крыше одноэтажного коттеджа с уклоном  $15^\circ$  относительно горизонта в южном направлении.

Термопары, фиксирующие температуры медных труб, расположены в межтрубном воздушном пространстве; термопара для измерения температуры окружающей среды размещена на подложке из алюминиевой фольги и экранирована от Солнца. Измерительные ячейки (основная и дублирующая на случай выхода из строя одной из них) выполнены в виде коаксиально расположенных медной и стеклянной труб с воздушным зазором между ними, выполняющим функцию теплоизоляции. Площадь теплообменной поверхности черной медной трубы составила  $0,02 \text{ м}^2$ . Коаксиальные трубы измерительной ячейки ориентированы по горизонтали восток–запад, излучающая поверхность по вертикали — юг–вертикаль–север, координаты

расположения экспериментального стенда  $54^\circ 28' 39.0'' \text{N } 74^\circ 21' 54.6'' \text{E}$  [9].

В качестве регистрирующего прибора использовался четырехканальный логгер 88598, два канала которого записывали температуры ячеек, а остальные два — температуру окружающего воздуха. Фиксация температур велась с пятиминутными интервалами непрерывно в течение суток и круглый год в необслуживаемом режиме. Электронная часть стенда обеспечена резервным электропитанием.

Результаты наблюдений в зимний, летний и весенний периоды были опубликованы в [9–11]. По многолетним данным солнечных дней в данной местности наблюдается от 220 до 300 в году.

В данной работе рассматриваются экспериментальные и расчетные исследования радиационной системы жизнеобеспечения в 2018–2021 годах.

## Методы исследования

При проектировании и монтаже радиационной системы обогрева необходимо учитывать конструктивные параметры как радиационной системы жизнеобеспечения, так и объекта размещения этой системы. В отличие от конструктивных параметров спрогнозировать погодные факторы практически невозможно. На величину инсоляции оказывают влияние такие факторы, как облачность, дымка, туман, роса, влажность, скорость ветра и другие.

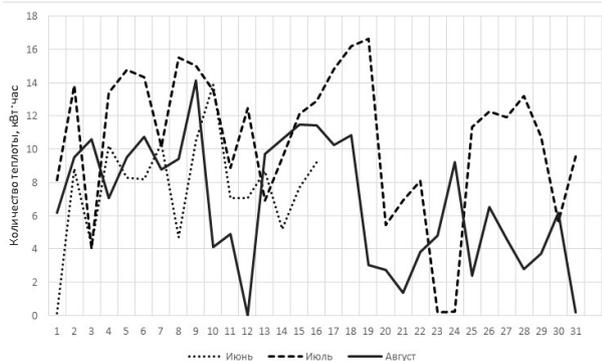
Колебания температур происходят с различными периодами в течение нескольких лет и десятилетий. В последние годы отмечается изменение климата, выражающееся в виде так называемого глобального потепления. Отсюда следуют два вывода: необходимо шире использовать безуглеродную энергетику, которой является солнечная энергия, и использовать многолетние экспериментальные погодные данные по конкретной местности. Для восполнения отсутствующих экспериментальных и архивных данных могут быть использованы интерполяция и экстраполяция известных данных. При отсутствии данных для требуемых населенных пунктов можно применить теорию подобия на основе данных по ближайшим локациям. При этом могут оказать помощь архивы погоды, особенно если они существуют для близкой точки на местности.

В рамках данной работы проводились экспериментально-расчетные исследования весенне-летне-осенних периодов 2018–2021 годов. Стенд в автоматическом режиме фиксировал температуры измерительных ячеек, находящихся под открытым небом, и температуру атмосферного воздуха в затененном месте.

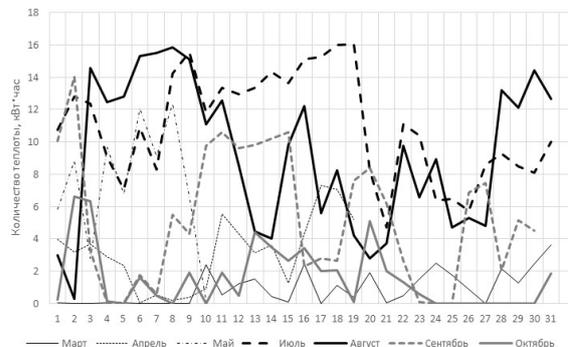
## Результаты и обсуждение

Создание новых экспериментальных и использование архивных баз данных по работе могут оказать большую помощь при проектировании радиационных систем жизнеобеспечения.

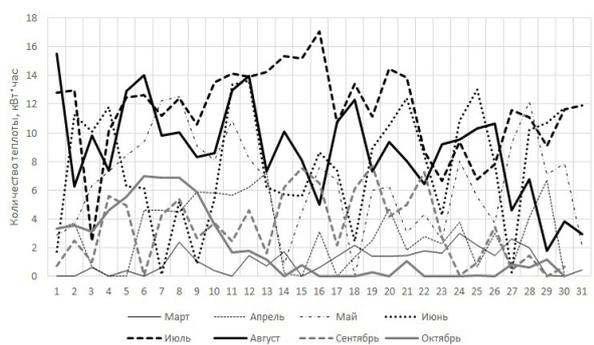
Рис. 1–4 показывают результаты исследований на экспериментальном стенде — зависимости измерений количества теплоты по дням и месяцам, получаемого ячейкой I с воздушной теплоизоляцией в пересчете на  $1 \text{ м}^2$  для 2018–2021 гг. На них приведены те месяцы, при которых система обогрева выдавала на выходе температуру больше  $19^\circ \text{C}$ , которая принималась как минимальная по нормам для жилых помещений. Реальная температура в по-



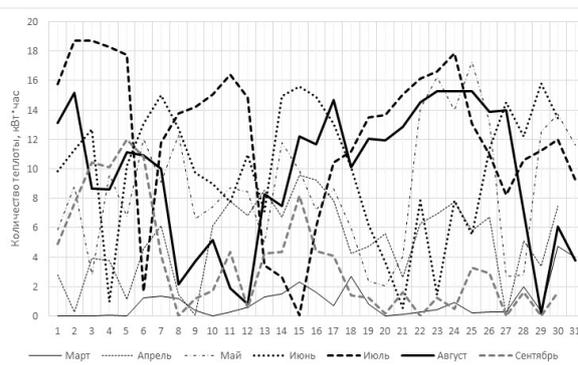
**Рис. 1. Количество теплоты, полученное с одного м<sup>2</sup> солнечного коллектора в 2018 г.**  
**Fig. 1. The amount of heat received from one m<sup>2</sup> of solar collector in 2018**



**Рис. 3. Количество теплоты, полученное с одного м<sup>2</sup> солнечного коллектора в 2020 г.**  
**Fig. 3. The amount of heat received from one m<sup>2</sup> of solar collector in 2020**



**Рис. 2. Количество теплоты, полученное с одного м<sup>2</sup> солнечного коллектора в 2019 г.**  
**Fig. 2. The amount of heat received from one m<sup>2</sup> of solar collector in 2019**



**Рис. 4. Количество теплоты, полученное с одного м<sup>2</sup> солнечного коллектора в 2021 г.**  
**Fig. 4. The amount of heat received from one m<sup>2</sup> of solar collector in 2021**

мещениях будет выше, так как в них присутствуют источники тепловыделений, такие как люди, электроприборы, холодильники, электроника и пр. Для некоторых периодов экспериментальные данные отсутствуют по техническим причинам.

При анализе результатов не учитывались технические потери, так как они зависят от конкретной реализации системы жизнеобеспечения, от качества теплоизоляции коммуникаций, тепловых аккумуляторов, помещений и пр.

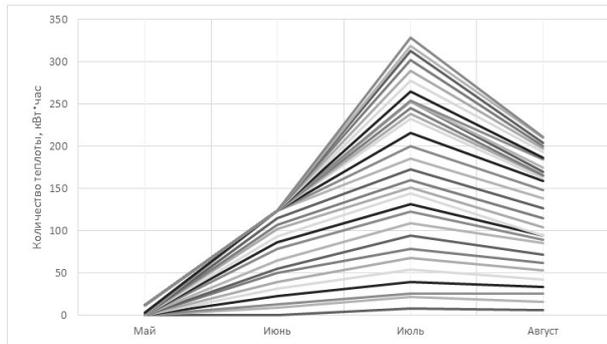
Из рисунков видно, что количество теплоты, получаемое от солнечного коллектора, значительно зависит от времени года, то есть от продолжительности светового дня, температуры наружного воздуха, облачности и осадков. В то же время производимая системой теплота в соответствующие месяцы 2018–2021 гг. отличается незначительно и без очевидных тенденций, что позволяет сделать предварительный вывод об отсутствии влияния глобального потепления на функционирование радиационной системы жизнеобеспечения, по крайней мере, в теплые сезоны. Экспериментальные измерения на солнечном коллекторе количества удельной (с одного кв. метра) теплоты с накоплением за месяц показано на рис. 5–8, нижняя линия на графиках — 1-е число месяца, верхняя линия — 30-е или 31-е числа месяца.

Расстояния между линиями по вертикали соответствуют количеству теплоты, выработанному системой за конкретный календарный день; рас-

стояние по вертикали между горизонтальной осью и верхней линией соответствует количеству теплоты, выработанному системой за конкретный календарный месяц. Эти рисунки также показывают, что нет тенденций увеличения вырабатываемой системой теплоты с течением лет. Все полученные экспериментально-расчетным путем данные укладываются в климатические флуктуации.

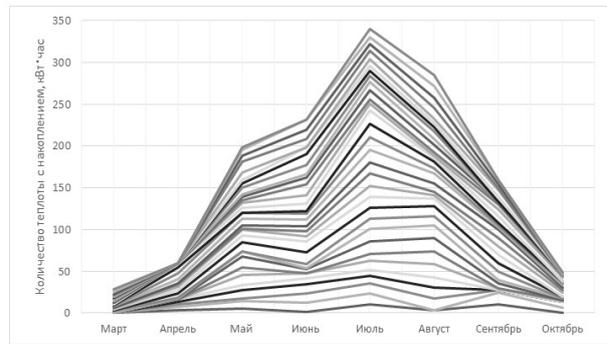
Весной и осенью радиационная система способна генерировать удельную теплопроизводительность от 2 до 5 кВт · час/м<sup>2</sup> в сутки, что составляет от 80 до 210 Вт с квадратного метра поверхности теплообмена солнечного коллектора. Экспериментально-расчетные исследования показали, что при следовании Строительным нормам и правилам при температуре атмосферного воздуха минус 20 °С необходимо подвести от радиационной системы обогрева 100 Вт на квадратный метр жилой площади. Обогрев строения площадью 100 м<sup>2</sup> требует 10000 Вт сгенерированной из солнечной энергии теплоты.

Если взять для расчетов требуемую удельную теплоту 150 Вт/м<sup>2</sup>, необходимо разместить солнечный коллектор площадью 66 м<sup>2</sup>, что составит 6,6 м на 10 м на крыше. Такой коллектор вполне может быть размещен на крыше деревенского домика. Использование современных материалов для теплоизоляции помещений позволит уменьшить потери и уменьшить площадь солнечного коллектора.



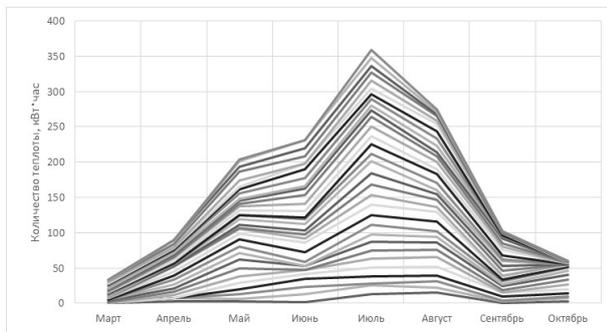
**Рис. 5.** Количество теплоты с накоплением за месяц, полученное с одного м<sup>2</sup> солнечного коллектора в 2018 г., нижняя линия — 1-е число месяца, верхняя линия — 30-е или 31-е число месяца

**Fig. 5.** The amount of heat with accumulation per month received from one m<sup>2</sup> of a solar collector in 2018, the lower line is the 1st day of the month, the upper line is the 30th or 31st day of the month



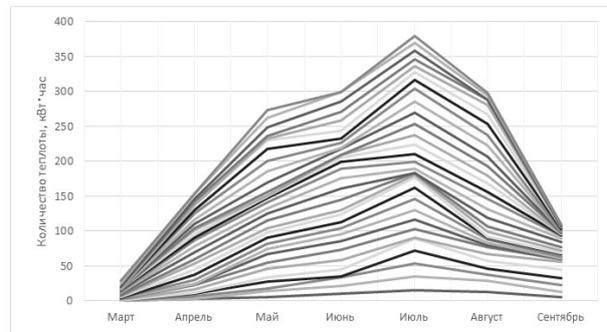
**Рис. 7.** Количество теплоты с накоплением за месяц, полученное с одного м<sup>2</sup> солнечного коллектора в 2020 г., нижняя линия — 1-е число месяца, верхняя линия — 30-е или 31-е число месяца

**Fig. 7.** The amount of heat with accumulation per month received from one m<sup>2</sup> of a solar collector in 2020, the lower line is the 1st day of the month, the upper line is the 30th or 31st day of the month



**Рис. 6.** Количество теплоты с накоплением за месяц, полученное с одного м<sup>2</sup> солнечного коллектора в 2019 г., нижняя линия — 1-е число месяца, верхняя линия — 30-е или 31-е число месяца

**Fig. 6.** The amount of heat with accumulation per month received from one m<sup>2</sup> of a solar collector in 2019, the lower line is the 1st day of the month, the upper line is the 30th or 31st day of the month



**Рис. 8.** Количество теплоты с накоплением за месяц, полученное с одного м<sup>2</sup> солнечного коллектора в 2021 г., нижняя линия — 1-е число месяца, верхняя линия — 30-е или 31-е число месяца

**Fig. 8.** The amount of heat with accumulation per month received from one m<sup>2</sup> of a solar collector in 2021, the lower line is the 1st day of the month, the upper line is the 30th or 31st day of the month

В холодных регионах, где весной и осенью температура ниже минус 20 °С опускается часто, необходимо комбинировать радиационную и традиционные системы обогрева, такие как печь или газовый котел. Такая комбинированная система отопления в холодном климате необходима в зимнее время, так как только радиационная система обогрева в короткие зимние дни при облачной погоде не способна обогреть даже небольшое строение.

Следует отметить, при анализе результатов для наглядности рассматривалось автономное использование радиационной системы нагрева, при котором другие источники обогрева не задействуются. В соответствии с таким подходом принималось, что автономная радиационная система нагрева начала функционировать при температуре теплоносителя на выходе из солнечного коллектора более 19 °С. Комбинированная радиационная плюс традиционная система в данной работе не исследовалась. В дальнейшем будет проведен количественный и качественный анализы экономии традиционных энергоносителей при работе радиационной системы.

## Выводы и заключение

Расчетно-экспериментальный анализ позволил высчитать следующее:

- для разработки радиационных систем жизнеобеспечения значительную помощь могут оказать расчетно-экспериментальные базы данных, которые сопоставляются с базами архивов погоды;

- расчетно-экспериментальные данные удельного количества теплоты позволяют определить облик и геометрические размеры радиационной системы нагрева;

- весной и осенью радиационная система способна генерировать от 2 до 5 кВт · час/м<sup>2</sup> в сутки, то есть от 80 до 210 Вт на квадратный метр поверхности солнечного коллектора;

- обогрев помещений при температуре атмосферного воздуха минус 20 °С требует от солнечного коллектора теплопроизводительность в количестве 100 Вт<sup>2</sup> на квадратный метр его площади; для обогрева коттеджа площадью 100 м<sup>2</sup> необходимо

10000 Вт тепловой производительности; для варианта 150 Вт/м<sup>2</sup> нужен солнечный коллектор площадью 66 м<sup>2</sup>, который может быть размещен на крыше размером 6,6 м на 10 м;

— в холодных регионах, где весной и осенью температура ниже минус 20 °С опускается часто, необходимо комбинировать радиационную и традиционную систему обогрева, такие как печь или газовый котел;

— на исследуемой территории можно установить экспериментальный стенд для сбора погодных данных, эти данные анализируются совместно с архивными базами погоды;

— для использования баз погодных данных для соседних локаций применение теории подобия может упростить проектирование радиационных систем жизнеобеспечения.

#### Список источников

1. Bhowmika H., Amin R. Efficiency improvement to flat plate solar collector using reflector // *Energy Reports*. 2017. Vol. 3. P. 119–123. DOI: 10.1016/j.egypr.2017.08.002.
2. Chen Z., Furbo S., Perers B. [et al.]. Efficiencies of Flat Plate Solar Collectors at Different Flow Rates // *Energy Procedia*. 2012. Vol. 30. P. 65–72. DOI: 10.1016/j.egypro.2012.11.009.
3. Qingyuan Z., Yu L. Potentials of Passive Cooling for Passive Design of Residential Buildings in China // *Energy Procedia*. 2014. Vol. 57. P. 1726–1732. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.10.161.
4. Goforth M. A., Gilchrist G. W., Sirianni J. D. Cloud effects on thermal down welling sky radiance // *Proc. SPIE 4710, Thermosense XXIV*, March 15, 2002. Orlando. 2002. Vol. 4710. P. 203–213. DOI: 10.1117/12.459570.
5. Chen Z., Zhu L., Raman A., Fan S. Radiative cooling to deep sub-freezing temperatures through a 24-h day–night cycle // *Nature Communications*. 2016. Vol. 7. 13 p. DOI: 10.1038/ncomms13729.
6. Tsoy A. P., Granovskiy A. S., Baranenko A. V., Tsoy D. A. Effectiveness of a night radiative cooling system in different geographical latitudes // *AIP Conf. Proc.* 2017. Vol. 1876, Issue 1. 020060. DOI: 10.1063/1.4998880.
7. Enderlin A. R. Radiative Cooling to the Night Sky // *Chemical Engineering Undergraduate Honors*. 2015. Vol. 5. 30 p.
8. Hashim W. M., Shomran A. T., Jurmut H. A. [et al.]. Case study on solar water heating for flat plate collector // *Case Studies in Thermal Engineering*. 2018. Vol. 12. P. 666–671. DOI: 10.1016/j.csite.2018.09.002.

9. Karagusov V. I., Kolpakov I. S. Influence of Clouds and Air Temperature on the Performance of the Radiation Heating System // *AIP Conf. Proc.* 2019. Vol. 2141, Issue 1. 030041. DOI: 10.1063/1.5122091.

10. Карагусов В. И. Экспериментально-расчетные исследования радиационных панелей системы жизнеобеспечения // *Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение*. 2021. Т. 5, № 1. С. 28–33. DOI: 10.25206/2588-0373-2021-5-1-28-33.

11. Karagusov V. I. Functioning of the Radiation Life — Support System in the Spring Period // *AIP Conference Proceedings*. 2020. Vol. 2285. 030044. DOI: 10.1063/5.0029930.

**ГЛАДЕНКО Алексей Анатольевич**, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Нефтегазовое дело, стандартизация и метрология» Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск.

SPIN-код: 5725-1730

AuthorID (РИНЦ): 108388

ORCID: 0000-0002-2484-8685

**ЗИНОВЬЕВА Анастасия Владимировна**, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология» ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 6823-1344

**КАРАГУСОВ Владимир Иванович**, доктор технических наук, старший научный сотрудник (Россия), профессор кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология» ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 7624-3122

AuthorID (РИНЦ): 176942

ORCID: 0000-0002-7268-649X

Адрес для переписки: karvi@mail.ru

#### Для цитирования

Гладенко А. А., Зиновьева А. В., Карагусов В. И. Исследование тепловой производительности гидросистемы на солнечном коллекторе // *Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение*. 2023. Т. 7, № 2. С. 9–14. DOI: 10.25206/2588-0373-2023-7-2-9-14.

Статья поступила в редакцию 12.04.2023 г.

© А. А. Гладенко, А. В. Зиновьева, В. И. Карагусов

## STUDY OF THERMAL PERFORMANCE OF A SOLAR COLLECTOR-BASED HYDRAULIC SYSTEM

A. A. Gladenko, A. V. Zinovyeva, V. I. Karagusov

Omsk State Technical University,  
Russia, Omsk, Mira Ave., 11, 644050

Radiation life support systems, such as solar collectors, are highly efficient, have an almost unlimited resource, and do not use complex technologies. Technologies of heating, heating and hot water supply are implemented quite simply. Such systems use the energy of solar radiation, which is carbon-free, environmentally friendly and renewable. This energy is converted into thermal radiation by solar collectors and transferred to heated rooms using hydraulic or pneumatic systems. For low-rise detached buildings such as cottages and rural houses, hydraulic systems are more promising due to the greater heat capacity of water or non-freezing liquids compared to air.

This paper discusses experimental and computational studies of the radiation life support system carried out in 2018–2021. It is possible to determine the thermal performance and geometric dimensions of solar collectors with the accuracy necessary for practice by calculations based on experimental data. It is possible to obtain missing experimental data using interpolation, extrapolation and similarity theory.

**Keywords:** solar collector, solar radiation, thermal performance, hydro system, renewable energy sources.

### References

1. Bhowmika H., Amin R. Efficiency improvement to flat plate solar collector using reflector // Energy Reports. 2017. Vol. 3. P. 119–123. DOI: 10.1016/j.egypr.2017.08.002. (In Engl.).
2. Chen Z., Furbo S., Perers B. [et al.]. Efficiencies of Flat Plate Solar Collectors at Different Flow Rates // Energy Procedia. 2012. Vol. 30. P. 65–72. DOI: 10.1016/j.egypro.2012.11.009. (In Engl.).
3. Qingyuan Z., Yu L. Potentials of Passive Cooling for Passive Design of Residential Buildings in China // Energy Procedia. 2014. Vol. 57. P. 1726–1732. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.10.161. (In Engl.).
4. Goforth M. A., Gilchrist G. W., Sirianni J. D. Cloud effects on thermal down welling sky radiance // Proc. SPIE 4710, Thermosense XXIV, March 15, 2002. Orlando. 2002. Vol. 4710. P. 203–213. DOI: 10.1117/12.459570. (In Engl.).
5. Chen Z., Zhu L., Raman A. [et al.]. Radiative cooling to deep sub-freezing temperatures through a 24-h day-night cycle // Nature Communications. 2016. Vol. 7. 13 p. DOI: 10.1038/ncomms13729. (In Engl.).
6. Tsoy A. P., Granovskiy A. S., Baranenko A. V., Tsoy D. A. Effectiveness of a night radiative cooling system in different geographical latitudes // AIP Conf. Proc. 2017. Vol. 1876, Issue 1. 020060. DOI: 10.1063/1.4998880. (In Engl.).
7. Enderlin A. R. Radiative Cooling to the Night Sky // Chemical Engineering Undergraduate Honors. 2015. Vol. 5. 30 p. (In Engl.).
8. Hashim W. M., Shomran A. T., Jurmut H. A. [et al.]. Case study on solar water heating for flat plate collector // Case Studies in Thermal Engineering. 2018. Vol. 12. P. 666–671. DOI: 10.1016/j.csite.2018.09.002. (In Engl.).
9. Karagusov V. I., Kolpakov I. S. Influence of Clouds and Air Temperature on the Performance of the Radiation Heating System // AIP Conf. Proc. 2019. Vol. 2141, Issue 1. 030041. DOI: 10.1063/1.5122091. (In Engl.).
10. Karagusov V. I. Eksperimental'no-raschetnyye issledovaniya radiatsionnykh paneley sistemy zhizneobespecheniya [Experimental and computational studies of radiation panels of life support system] // Omskiy nauchnyy vestnik. Ser. Aviatsionno-raketnoye i energeticheskoye mashinostroyeniye. *Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering*. 2021. Vol. 5, no. 1. P. 28–33. DOI: 10.25206/2588-0373-2021-5-1-28-33. (In Russ.).
11. Karagusov V. I. Functioning of the Radiation Life — Support System in the Spring Period // AIP Conference Proceedings. 2020. Vol. 2285. 030044. DOI: 10.1063/5.0029930. (In Engl.).

**GLADENKO Aleksey Anatolyevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Oil and Gas Business, Standardization and Metrology Department, Omsk State Technical University (OmSTU), Omsk. SPIN-code: 5725-1730  
AuthorID (RSCI): 108388  
ORCID: 0000-0002-2484-8685

**ZINOVYEVA Anastasia Vladimirovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Refrigeration and Compressor Equipment and Technology Department, OmSTU, Omsk. SPIN-code: 6823-1344

**KARAGUSOV Vladimir Ivanovich**, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor of Refrigeration and Compressor Equipment and Technology Department, OmSTU, Omsk. SPIN-code: 7624-3122  
AuthorID (RSCI): 176942  
ORCID: 0000-0002-7268-649X  
Correspondence address: karvi@mail.ru

### For citations

Gladenko A. A., Zinovyeva A. V., Karagusov V. I. Study of thermal performance of a solar collector-based hydraulic system // *Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering*. 2023. Vol. 7, no. 2. P. 9–14. DOI: 10.25206/2588-0373-2023-7-2-9-14.

Received April 12, 2023.

© A. A. Gladenko, A. V. Zinovyeva, V. I. Karagusov