

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 697.34:621.397:6

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-3-147-157

*Ю.О. КРИВОШЕИН, Н.А. ЦВЕТКОВ, Т.Н. НЕМОВА,
А.В. КОЛЕСНИКОВА, М. ЕРМЕНОВА,*

Томский государственный архитектурно-строительный университет

ВЛИЯНИЕ СНЕЖНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕПЛОВУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРУБЧАТЫХ ВАКУУМИРОВАННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Аннотация. Угроза глобального потепления стимулирует ускорение энергетического перехода всех стран к снижению ископаемых источников энергии и увеличению возобновляемых источников энергии с развитием экологически чистых и ресурсосберегающих технологий. Подавляющая часть территории России относится к зоне вечной мерзлоты или к территориям с сезонно промерзающими грунтами. Для таких территорий актуально применение возобновляемых источников энергии, особенно солнечной энергии как наиболее доступной.

В статье представлены результаты экспериментальных исследований режимов работы опытно-промышленной солнечной системы горячего водоснабжения с двумя трубчатыми вакуумированными коллекторами после снежных загрязнений или обледенения поверхностей труб.

Использована методика измерения почасовых значений тепловой энергии от преобразования коллекторами солнечной радиации при загрязненных и очищенных поверхностях коллекторов в солнечный день после снегопада или обледенения. Средняя часовая величина солнечной инсоляции (при загрязненных поверхностях и после их очистки) получалась путем интегрирования показаний измерителя падающего теплового потока от солнца (по 600 значениям) с интервалом измерений 6 с.

Установлено, что при обледенении поверхностей труб коллекторов снижение поступления тепловой энергии максимально и составляет 36,96 %, а в остальных случаях эта величина изменяется в пределах от 8,51 до 13,47 %.

Ключевые слова: гибридная солнечная система горячего водоснабжения, трубчатые вакуумированные коллекторы, снежные загрязнения поверхностей, эффективность преобразования инсоляции в тепловую энергию, северные территории

Для цитирования: Кривошеин Ю.О., Цветков Н.А., Немова Т.Н., Колесникова А.В., Ерменова М. Влияние снежных отложений на тепловую эффективность трубчатых вакуумированных коллекторов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 3. С. 147–157.

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-3-147-157

*Yu.O. KRIVOSHEIN, N.A. TSVETKOV, T.N. NEMOVA,
A.V. KOLESNIKOVA, M. ERMENOVA,
Tomsk State University of Architecture and Building*

THE INFLUENCE OF SNOW DEPOSITS ON THERMAL EFFICIENCY OF VACUUM TUBE COLLECTORS

Abstract. Global warming promotes the acceleration forces all countries to reduce fossil energy sources and increase renewable energy sources with the development of environmentally friendly resource-saving technologies. The vast territory of Russia is permafrost or has seasonally frozen soils. The use of renewable energy sources, especially solar energy sources, is especially important for such territories.

The article presents the experimental results of the operating modes of a pilot industrial solar hot water supply system with two vacuum tube collectors after snow pollution or icing of pipe surfaces. This technique is used to measure the hourly values of thermal energy from the conversion of solar radiation by collectors with polluted and cleaned collector surfaces on a sunny day after snowfall or icing. The average hourly value of solar insolation (with contaminated surfaces and after their cleaning) is obtained by integrating the meter recordings on the incident heat flux from the sun (by 600 values each) at an interval of 6 seconds. It is found that when the collector pipe surface is iced, the decrease in the thermal energy supply is maximum and amounts to 36.96 %. In other cases it varies from 8.51 to 13.47 %.

Keywords: hybrid solar hot water system, vacuum tube collectors, surface snow pollution, insolation-to-heat conversion efficiency, northern areas

For citation: Krivoshein Yu.O., Tsvetkov N.A., Nemova T.N., Kolesnikova A.V., Ermenova M. Vliyanie snezhnykh otlozhenii na teplovuyu effektivnost' trubchatykh vakuumirovannykh kollektorov [The influence of snow deposits on thermal efficiency of vacuum tube collectors]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 3. Pp. 147–157.

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-3-147-157

Введение

Рост мировой экономики и повышение уровня жизни людей неразрывно связаны с возрастанием потребления тепловой и электрической энергии [1], что ставит перед человечеством глобальные задачи по получению и использованию экологически чистой энергии с помощью возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Для стран, имеющих запасы ископаемых видов топлива, это может привести к существенному сокращению вредных выбросов при их сжигании и, соответственно, снижению влияния этих выбросов на климат планеты. Для большинства стран с низким энергетическим потенциалом, в частности стран Европейского союза, этот вопрос является более чем актуальным [2].

В научной литературе последних лет одним из направлений исследования является моделирование энергопотребления различных зданий, что позволяет эффективно расходовать тепловую энергию, полученную с использованием технологии солнечной генерации энергии, с учетом погодных условий, информации по потреблению энергии в течение суток [3–5].

Анализ условий эксплуатации солнечных систем горячего водоснабжения показывает, что на производительность теплоты большое влияние оказывает загрязнение поверхностей фотоэлектрических панелей.

Так в регионе с жарким и засушливым климатом из-за загрязнения поверхностей пылевыми отложениями регистрируется снижение эффективности генерации теплоты [6]. Показано, что вследствие загрязнений солнечных панелей через неделю эксплуатации при одинаковом уровне освещенности количество получаемой энергии снизилось с 1460 до 1390 кВт, а через три и пять недель эксплуатации мощность составляла соответственно 1196 и 904 кВт.

Аналогичные результаты приведены в работе [7], в которой показано снижение выходной мощности солнечных панелей вследствие осаждения на них пыли на 8,8 % (или снижение КПД устройства на 11,86 %). Загрязнение панелей птичьим пометом снижает их производительность на 7,45 %.

В работе [8] проведен анализ влияния конкретных загрязнителей на эффективность работы фотоэлектрических панелей. Показано, что среди загрязнителей наибольшее влияние оказывают алюминий и железо. При этом авторы отмечают большее количество отложений загрязнителей в зимний период по сравнению с летним.

Ученые из Индии показали [9], что при очистке солнечных панелей от загрязнений после нескольких недель эксплуатации регистрируется повышение эффективности их работы на 50 %.

Авторы также приводят данные о том, что для наиболее «пыльных» районов (Китай, Индия, Аравийский полуостров) регистрируется потеря получаемой солнечной энергии от 17 до 25 % при их ежемесячной очистке от пыли, при этом потери достигают 35 % при очистке панелей каждые два месяца.

Аналогичные данные приводятся в работе [10], где показано уменьшение мощности солнечного коллектора на 7 % в условиях запыленности и очистки панелей несколько раз в год, однако конкретных условий эксплуатации авторы не анализируют. При осаждении на панели снега эффективность снижается на 10–15 %.

Эффективность солнечных вакуумированных трубчатых коллекторов активно исследуется в различных климатических условиях. Однако в результатах таких исследований, например, выполненных в Польше [11], в Кувейте [12], в Западной Норвегии [13], в России (Красноярск), оценка влияния на эффективность коллекторов не приводится, но она важна для северных территорий.

В развитие исследований [14–17] целью настоящих исследований является разработка методики и экспериментальная оценка влияния снежных отложений на внешних поверхностях вакуумированных трубок коллекторов на эффективность получения тепловой энергии в бак-аккумулятор для условий Западной Сибири (Томск).

Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования были проведены с использованием опытно-промышленной установки системы горячего водоснабжения (ГВС) с двумя трубчатыми солнечными вакуумированными коллекторами, установленной в с. Кафтанчиково Томского района.

Рассматривались временные периоды, в которые в силу погодных условий наблюдалось осаждение снега или обледенение поверхностей труб коллекторов (декабрь 2020 г. – февраль 2021 г.).

Схема системы ГВС приведена на рис. 1. Датчик солнечной инсоляции 1 установлен на верхней части манифольда второго (на рисунке верхнего) коллектора 9. Блок управления 2 оснащен устройством для сбора и передачи получаемых данных по заданному алгоритму или по требованию оператора. Он задает режимы работы системы ГВС, сбор и передачу данных на сервер 3. Нагретая в баке-аккумуляторе 5 вода подается потребителю с помощью трубопровода 4. Расходомеры 6 обеспечивают контроль расхода как холодной воды, так и теплоносителя, который подается насосом 7 в циркуляционный контур коллекторов. Соленоидные клапаны 8 (рабочий и резервный) позволяют управлять режимами циркуляции воды через коллекторы 9. Коллекторы устанавливались на фронтоне здания под углом наклона 47° и были ориентированы на юг.

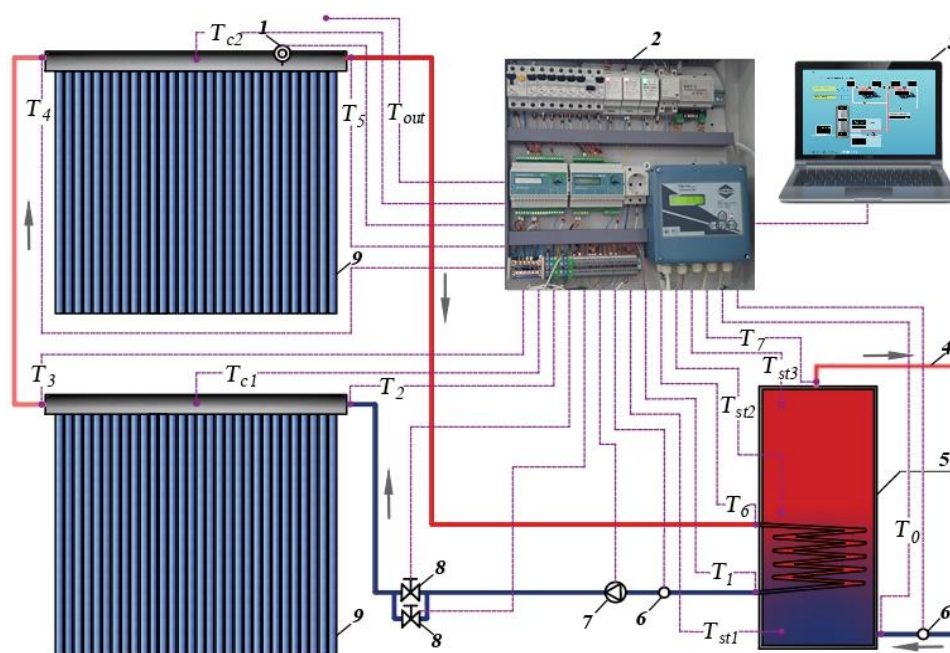


Рис. 1. Конструкционная схема экспериментальной солнечной водонагревательной установки:

1 – датчик солнечной инсоляции; 2 – блок управления; 3 – сервер; 4 – трубопровод для подачи воды; 5 – бак-аккумулятор; 6 – расходомеры; 7 – насос; 8 – соленоидные клапаны; 9 – коллекторы

На рис. 2 приведены фотографии внешних конструктивных элементов солнечной водонагревательной установки – коллекторов – после выпадения снега (а) и при обледенении поверхностей труб коллекторов (б). Обращает на себя внимание незначительное количество выпавшего снега на поверхности коллектора 04.04.2021 (а) и существенное обледенение элементов 12.01.2021 (б).

Методика оценки влияния выпавшего на поверхность коллектора снега и обледенения заключалась в регистрации и сравнении тепловой энергии, полученной от коллекторов, покрытых слоем снега или оледенения, и коллекто-

ров, очищенных от этих отложений. Экспериментальные исследования проводились в ясный солнечный день, следующий за днем выпадения снега. В течение часа с 12 до 13 ч проводились измерения тепловой энергии от коллекторов. Далее с 13 до 13 ч 25 мин поверхность коллекторов очищалась от снега или от обледенения и с 13 ч 30 мин до 14 ч 30 мин измерялась тепловая энергия от коллекторов с чистыми поверхностями.



Рис. 2. Внешние части солнечной водонагревательной установки после снегопада: *а* – отложения снега на коллекторах (04.04.2021); *б* – заледневшие поверхности труб коллекторов (12.01.2021)

Для сравнения на рис. 3 показано состояние соответствующих поверхностей коллекторов на следующий день после снегопада и после механической очистки поверхности.

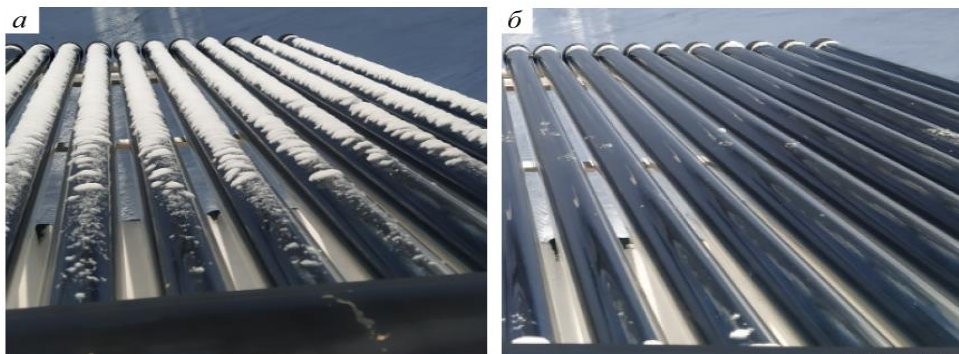


Рис. 3. Типичное состояние поверхностей труб коллектора:
а – на следующий день после снегопада; *б* – после очистки поверхности коллектора

Тепловая энергия от преобразования коллекторами солнечной радиации при загрязненных и очищенных поверхностях коллекторов на второй солнечный день после снегопада или обледенения определялась тепловым счетчиком по данным измерений расхода теплоносителя в гидравлическом контуре коллекторов и температуры теплоносителя на входе T_6 в бак-аккумулятор и на выходе T_1 из него (см. рис. 1). Регистрация параметров проводилась через 8 с.

Средняя часовая величина солнечной инсоляции (при загрязненных поверхностях и после их очистки) получалась путем интегрирования методом трапеций показаний измерителя падающего теплового потока от солнца (450 значений за час). Их различия для одного экспериментального дня не превышало 4,26 %. Экспериментальные результаты заносятся в базу данных.

Результаты и их обсуждение

Результаты экспериментального исследования снижения эффективности работы солнечной системы горячего водоснабжения с трубчатыми вакуумированными коллекторами вследствие влияния снегопада и обледенения, полученные на солнечной водонагревательной системе в с. Кафтанчиково Томского района, представлены в таблице. Здесь $T_{\text{возд}}$ – температура наружного воздуха, °С; $\varphi_{\text{отн}}$ – относительная влажность воздуха, %; $V_{\text{возд}}$ – скорость воздуха, м/с; $Q_{\text{до}}$ – тепловая производительность с учетом слоя снега или обледенения, МДж/ч; $Q_{\text{после}}$ – тепловая производительность после очистки коллекторов, МДж/ч; ΔE – относительное изменение тепловой производительности,

$$\Delta E = \frac{(Q_{\text{до}} - Q_{\text{после}})}{Q_{\text{до}}} 100, \%$$

Влияние снега и обледенения на тепловую эффективность коллекторов

Дата	$T_{\text{возд}}$, °С; $\varphi_{\text{отн}}$, %	$V_{\text{возд}}$, м/с	$Q_{\text{до}}$, МДж/ч	$Q_{\text{после}}$, МДж/ч	ΔE , %
31.12.2020	Ночь: –25; 93	3	4,45	5,14	13,43
	Утро: –23; 92	3			
	День: –20; 92	3			
	Вечер: –31; 97	2			
02.01.2021	Ночь: –29; 98	2	4,37	5,05	13,47
	Утро: –24; 91	3			
	День: –23; 91	3			
	Вечер: –29; 92	2			
12.01.2021	Ночь: –34; 97	2	3,36	5,33	36,96
	Утро: –30; 90	1			
	День: –25; 90	1			
	Вечер: –29; 92	2			
20.01.2021	Ночь: –33; 99	2	4,62	5,15	10,30
	Утро: –30; 93	1			
	День: –27; 93	1			
	Вечер: –29; 92	3			
30.01.2021	Ночь: –31; 92	5	4,92	5,65	12,92
	Утро: –29; 92	2			
	День: –27; 92	2			
	Вечер: –32; 93	2			
07.02.2021	Ночь: –4; 93	5	6,92	7,79	11,17
	Утро: –1; 82	7			
	День: +1; 92	7			
	Вечер: –32; 82	7			

Окончание таблицы

Дата	$T_{\text{возд}}, ^\circ\text{C}; \varphi_{\text{отн}}, \%$	$v_{\text{возд}}, \text{м/с}$	$Q_{\text{до}}, \text{МДж/ч}$	$Q_{\text{после}}, \text{МДж/ч}$	$\Delta E, \%$
12.02.2021	Ночь: –32; 94	4	6,37	7,11	10,41
	Утро: –29; 91	3			
	День: –25; 91	3			
	Вечер: –30; 98	2			
17.02.2021	Ночь: –16; 97	1	6,93	7,88	12,06
	Утро: –13; 89	4			
	День: –16; 89	4			
	Вечер: –30; 96	3			
23.02.2021	Ночь: –31; 99	2	7,04	7,91	11,00
	Утро: –27; 93	2			
	День: –21; 93	2			
	Вечер: –27; 97	2			
07.03.2021	Ночь: –12; 89	5	7,19	8,04	10,58
	Утро: –9; 93	5			
	День: –6; 82	5			
	Вечер: –11; 97	2			
20.03.2021	Ночь: –7; 90	4	7,52	8,36	10,05
	Утро: +1; 82	6			
	День: –2; 96	6			
	Вечер: 0; 79	6			
04.04.2021	Ночь: –7; 90	3	7,85	8,58	8,51
	Утро: 0; 69	3			
	День: +4; 69	3			
	Вечер: –2; 99	1			

Анализ представленных в таблице результатов позволяет утверждать, что использование солнечных систем горячего водоснабжения с трубчатыми вакуумированными коллекторами на северных территориях страны является перспективным. Тепловая производительность системы изменяется с переходом от зимы к весне, так для «чистых» коллекторов тепловая производительность увеличивается в 1,7 раза (с 5,14 для 31 января 2000 г. до 8,58 МДж/ч для 4 апреля 2021 г.).

С учетом наличия снега или обледенения на поверхности коллекторов картина неоднозначна. В целом для всех экспериментов наблюдается снижение тепловой эффективности коллекторов вследствие «загрязнения» их поверхности.

Наибольшее снижение тепловой производительности коллекторов в 36,96 % наблюдалось при заледеневших коллекторах 12 января 2021 г. В остальных случаях снижение тепловой эффективности коллекторов колебалось в пределах от 8,51 до 13,47 %.

По анализу сезонных показателей можно выделить два периода: декабрь 2020 г. – январь 2021 г. и февраль – апрель 2021 г. Во втором временном периоде влияние снега и отложений на коллекторах на тепловую производительность несколько больше. Это может быть объяснено колебаниями температур воздуха, что, вероятнее всего, приводит к появлению кроме снега дополнительного обледенения.

Кроме того, можно отметить безусловное влияние влажности и скорости наружного воздуха на тепловую производительность. Однако для количественного анализа влияния этих факторов на эффективность работы солнечных систем горячего водоснабжения с трубчатыми вакуумированными коллекторами необходимо проведение дополнительных исследований.

Наибольшее снижение тепловой производительности коллекторов (36,96 %) наблюдалось при заледеневших коллекторах 12 января 2021 г. В остальных случаях снижение тепловой эффективности коллекторов колебалось в пределах от 8,5 до 13,47 %.

Выводы

1. Использование солнечных систем горячего водоснабжения с трубчатыми вакуумированными коллекторами для территорий Западной Сибири является перспективным.

2. Осаждение снега и оледенение поверхностей коллекторов приводит к снижению уровня тепловой производительности.

3. Отмечается влияние температуры, влажности и скорости наружного воздуха на эффективность работы систем солнечного водоснабжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Avtar R., Tripathi S., Aggarwal A.K., Kumar P. Population – Urbanization – Energy Nexus: A review // *Resources*. 2019. V. 8. P. 136. DOI: 10.3390/resources8030136
2. Peña-Ramos J.A., Bagus P., Amirov-Belova D. The North Caucasus Region as a Blind Spot in the «European Green Deal»: Energy Supply Security and Energy Superpower Russia // *Energies*. 2021. 14. 17. DOI: 10.3390/en 14010017
3. Казанджан Б.И. Системы солнечного теплоснабжения // *Энергия: экономика, техника, экология*. 2005. № 12. С. 10–16.
4. Tsvetkov N.A., Krivoshein Y.O., Khutornoi A.N., Boldyryev S., Petrova A.V. Development of the Computer-Aided Application for the Use of Solar Energy in the Hot Water Supply System of Russian Permafrost Regions // *Chemical Engineering Transactions*. 2020. 81. P. 943–948. DOI: 10.3303/CET2081158
5. Tsvetkov N.A., Krivoshein U.O., Tolstykh A.V., Khutornoi A.N., Boldyryev S. The calculation of solar energy used by hot water systems in permafrost region: An experimental case study for Yakutia // *Energy*. 2020. 210. 118577. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118577>
6. Al Siyabi I., Al Mayas, A., Al Shukaili A., Khanna S. Effect of Soiling on Solar Photovoltaic Performance under Desert Climatic Conditions // *Energies*. 2021. 14. 659. URL: <https://doi.org/10.3390/en14030659>
7. Mustafa R.J., Gomaa M.R., Al-Dhaifallah M., Rezk H. Environmental Impacts on the Performance of Solar Photovoltaic Systems // *Sustainability*. 2020. 12. 608. DOI:10.3390/su12020608
8. Farahmand M.Z., Nazari M.E., Shamlou S., Shafie-khah M. The Simultaneous Impacts of Seasonal Weather and Solar Conditions on PV Panels Electrical Characteristics // *Energies*. 2021. 14. 845. URL: <https://doi.org/10.3390/en14040845>

9. Bergin M.H., Ghoroi C., Dixit D., Schauer J.J., Shindell D.T. Large Reductions in Solar Energy Production Due to Dust and Particulate Air Pollution // *Environ. Sci. Technol. Lett.* 2017. 4. P. 339–344. DOI: 10.1021/ACS.ESTLETT.7B00197
10. Костенко А.Ю. Солнечный коллектор – достоинства и недостатки, перспективы // Источники энергии на земле. URL: <https://istochnikienergii.ru/sitemap> (дата обращения: 10.02.2022).
11. Alicja Siuta-Olcha, Tomasz Cholewa, Kinga Dopieralska-Howoruszko. Experimental studies of thermal performance of an evacuated tube heat pipe solar collector in Polish climatic conditions // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. 28. P. 14319–14328. URL: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07920-3>
12. Ghoneim Adel A. Optimization of evacuated tube collector parameters for solar industrial process heat // *International Journal of Energy and Environmental Research*. 2017. V. 5. № 2. P. 55–73. Published by European Centre for Research Training and Development UK (www.eajournals.org).
13. Popsueva V., Lopez A.F.O., Kosinska A., Nikolaev O., Balakin B.V. Field Study on the Thermal Performance of Vacuum Tube Solar Collectors in the Climate Conditions of Western Norway // *Energies*. 2021. 14. 2745. URL: <https://doi.org/10.3390/en14102745>
14. Бастрон А.В., Михеева Н.Б., Судаев Е.М. Горячее водоснабжение сельских бытовых потребителей Красноярского края с использованием солнечной энергии / Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2016. 132 с.
15. Кривошеин Ю.О., Цветков Н.А., Толстых А.В., Хуторной А.Н., Колесникова А.В., Петрова А.В. Эффективная солнечная система горячего водоснабжения для северных территорий // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2020. Т. 22. № 6. С. 119–131. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-119-131
16. Кривошеин Ю.О., Цветков Н.А., Петрова А.В., Толстых А.В., Немова Т.Н. Возможности энергосбережения при работе циркуляционного насоса в гидравлическом контуре коллекторов солнечных водонагревательных систем // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2021. Т. 23. № 4. С. 100–111. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-4-100-111.
17. Tsvetkov N., Boldyryev S., Shilin A., Krivoshein Y., Tolstykh A. Hardware and Software Implementation for Solar Hot Water System in Northern Regions of Russia // *Energies*. 2022. 15. 1446. URL: <https://doi.org/10.3390/en15041446>

REFERENCES

1. Avtar R., Tripathi S., Aggarwal A.K., Kumar P. Population – Urbanization – Energy Nexus: A review. *Resources*. 2019. V. 8. P. 136. DOI: 10.3390/resources8030136
2. Peña-Ramos J.A., Bagus P., Amirov-Belova D. The North Caucasus Region as a blind spot in the “European Green Deal”: Energy Supply Security and Energy Superpower Russia. *Energies*. 2021. V. 14. P. 17. DOI: 10.3390/en 14010017
3. Kasandjan B.I. Solar heat supply systems. *Energy: Economics, Technology, Ecology*. 2005. No. 12. Pp. 10–16.
4. Tsvetkov N.A., Krivoshein Y.O., Khutornoi A.N., Boldyryev S., Petrova A.V. Development of the computer-aided application for the use of solar energy in the hot water supply system of Russian permafrost regions. *Chemical Engineering Transactions*. 2020. V. 81. Pp. 943–948. DOI: 10.3303/CET2081158
5. Tsvetkov N.A., Krivoshein U.O., Tolstykh A.V., Khutornoi A.N., Boldyryev S. The calculation of solar energy used by hot water systems in permafrost region: An experimental case study for Yakutia. *Energy*. 2020. V. 210. 118577. DOI: 10.1016/j.energy.2020.118577
6. Al Siyabi I., Al Mayasi A., Al Shukaili A., Khanna S. Effect of soiling on solar photovoltaic performance under desert climatic conditions. *Energies*. 2021. V. 14. P. 659. DOI: 10.3390/en14030659
7. Mustafa R.J., Goma M.R., Al-Dhaifallah M., Rezk H. Environmental impacts on the performance of solar photovoltaic systems. *Sustainability*. 2020. V. 12. P. 608. DOI: 10.3390/su12020608

8. Farahmand M.Z., Nazari M.E., Shamlou S., Shafie-khah M. The simultaneous impacts of seasonal weather and solar conditions on PV panels electrical characteristics. *Energies*. 2021. 14. 845. DOI: 10.3390/en14040845
9. Bergin M.H., Ghoroi C., Dixit D., Schauer J.J., Shindell D.T. Large reductions in solar energy production due to dust and particulate air pollution. *Environmental Science & Technology Letters*. 2017. No. 4. Pp. 339–344. DOI: 10.1021/ACS.ESTLETT.7B00197
10. Kostenko A.Yu. Solar collector – advantages and disadvantages, prospects. Website Energy Sources on Earth. Available: <https://istochnikienergii.ru/sitemap> (accessed February 10, 2022).
11. Alicja Siuta-Olcha, Tomasz Cholewa, Kinga Dopieralska-Howoruszko. Experimental studies of thermal performance of an evacuated tube heat pipe solar collector in Polish climatic conditions. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. V. 28. Pp. 14319–14328. DOI: 10.1007/s11356-020-07920-3
12. Ghoneim Adel A. Optimization of evacuated tube collector parameters for solar industrial process heat. *International Journal of Energy and Environmental Research*. 2017. V. 5. No. 2. Pp. 55–73.
13. Popsueva V., Lopez A.F.O., Kosinska A., Nikolaev O., Balakin B.V. Field Study on the thermal performance of vacuum tube solar collectors in the climate conditions of Western Norway. *Energies*. 2021. V. 14. 2745. DOI: 10.3390/en14102745
14. Bastron A.V., Mikheeva N.B., Sudaev E.M. Goryachee vodosnabzhenie sel'skikh bytovykh potrebitelei Krasnoyarskogo kraya s ispol'zovaniem solnechnoi energii [Hot water supply of rural household consumers of the Krasnoyarsk Krai using solar energy]. Krasnoyarsk, 2016. 132. p. (rus)
15. Krivoshein Yu.O., Tsvetkov N.A., Tolstykh A.V., Khutornoy A.N., Kolesnikova A.V., Petrova A.V. Effektivnaya solnechnaya sistema goryachego vodosnabzheniya dlya severnykh territorii [Effective solar hot water system for northern territories]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020. V. 22. No. 6. Pp. 119–131. (rus)
16. Krivoshein Yu.O., Tsvetkov N.A., Petrova A.V., Tolstykh A.V., Nemova T.N. Vozmozhnosti energosberezheniya pri rabote tsirkulyatsionnogo nasosa v gidravlicheskom konture kollektorov solnechnykh vodonagrevatel'nykh sistem [Energy-efficient circulating pump in hydraulic circuit of solar collectors of hot-water systems]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2021. V. 23. No. 4. Pp. 100–111. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-4-100-111 (rus)
17. Tsvetkov N., Boldyryev S., Shilin A., Krivoshein Y., Tolstykh A. Hardware and software implementation for solar hot water system in northern regions of Russia. *Energies*. 2022. V. 15. 1446. DOI: 10.3390/en15041446

Сведения об авторах

Кривошеин Юрий Олегович, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, krivoshein@npowest.ru

Цветков Николай Александрович, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, nac.tsuab@yandex.ru

Немова Татьяна Николаевна, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, tatyana.nemova.0702@yandex.ru

Колесникова Анна Владимировна, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, sinvintie@rambler.ru

Ерменова Мария, магистрант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, M_ermenova@mail.ru

Authors Details

Yurii O. Krivoshein, Senior Lecturer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, krivoshein@npowest.ru

Nikolai A. Tsvetkov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, nac.tsuab@yandex.ru

Tat'yana N. Nemova, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, tatyana.nemova.0702@yandex.ru

Anna V. Kolesnikova, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, ann203040@yandex.ru

Maria Ermenova, Graduate Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, M_ermenova@mail.ru