

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 697.34:621.397:69

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-4-100-111

*Ю.О. КРИВОШЕИН, Н.А. ЦВЕТКОВ, А.В. ПЕТРОВА,
А.В. ТОЛСТЫХ, Т.Н. НЕМОВА,*

Томский государственный архитектурно-строительный университет

ВОЗМОЖНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО НАСОСА В ГИДРАВЛИЧЕСКОМ КОНТУРЕ КОЛЛЕКТОРОВ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Актуальность исследования связана с необходимостью реализации концепции научно-технологического развития Российской Федерации, в которой намечен переход к экологически чистым и ресурсосберегающим технологиям.

В статье представлены результаты натурных экспериментальных исследований изменения параметров работы гибридной солнечной опытно-промышленной водонагревательной установки при прерывистых режимах работы циркуляционного насоса в гидравлическом контуре коллекторов.

Разработанный программно-аппаратный комплекс обеспечивает включение и выключение циркуляционного насоса в зависимости от разности температуры теплоносителя в коллекторах и на выходе из бака-аккумулятора. При этом обеспечивается максимально возможное получение солнечной тепловой энергии в систему при различной интенсивности солнечной инсоляции и минимальное потребление насосом электрической энергии, вырабатываемой солнечными панелями установки.

Ключевые слова: солнечная водонагревательная система; гидравлический контур с коллекторами; гидравлический насос; вакуумные трубчатые коллекторы; энергосбережение.

Для цитирования: 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

*Yu.O. KRIVOSHEIN, N.A. TSVETKOV, A.V. PETROVA,
A.V. TOLSTYKH, T.N. NEMOVA,
Tomsk State University of Architecture and Building*

ENERGY-EFFICIENT CIRCULATING PUMP IN HYDRAULIC CIRCUIT OF SOLAR COLLECTORS OF HOT-WATER SYSTEMS

The relevance of the study is associated with the need to implement the concept of the scientific and technological development of the Russian Federation, which outlines the transition to environmentally friendly and resource-saving technologies. The paper presents the results of full-scale experiments of changes in the operating parameters of the experimental-industrial hybrid solar hot-water system with a circulating pump operating in periodic duty mode in the hydraulic circuit. The proposed hardware and software system provides switching on and switching out of the circulating pump depending on the temperature difference of the coolant in collectors and at the storage tank output. This provides the maximum thermal energy for the hot-water system at different of solar radiation intensities and the minimum power consumption by the circulating pump generated by solar panels.

Keywords: solar hot-water system; hydraulic circuit; circulating pump; vacuum tube collectors; energy saving.

For citation: 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

Введение

Рост мировой экономики и повышение уровня жизни неразрывно связаны с возрастанием потребности в тепловой и электрической энергии [1]. Климатические изменения, сопровождаемые возрастанием CO₂ в атмосфере, сильная зависимость многих стран от импорта топлива и ограниченность запасов углеводородов [2] приводят к необходимости получения энергии из возобновляемых источников [3]. Странами Европейского союза принято решение («Европейская зеленая сделка») обеспечить к 2050 г. нулевые выбросы парниковых газов [4].

В настоящее время все более активно используется солнечная энергия, успешно преобразуемая в электрическую и тепловую. Солнечная энергия, падающая на поверхность Земли, огромна. Так, энергия, падающая на Землю от Солнца за 1 час примерно в 100 раз больше, чем потребляется человечеством за год. Привлекательность этого возобновляемого источника связана также и с тем, что энергия Солнца доступна любой стране, т. к. она не знает границ [5] и ее использование возможно практически во всех отраслях экономики.

Значительную долю (32 %) в мировом потреблении энергии занимает строительный сектор, который, в свою очередь, является одним из основных источников изменения климата и выбросов CO₂ [6]. Использование водонагревательных систем с солнечными коллекторами для замещения солнеч-

ной энергией ископаемых видов топлива на цели отопления и горячего водоснабжения в строительном секторе возможно не только в странах с тропическим и субтропическим климатом, но и в странах, расположенных на северных территориях [5, 7]. Стоит отметить перспективность этого направления, т. к. подавляющая часть территорий России – северные.

Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации предусматривает переход к экологически чистым и ресурсосберегающим технологиям [8]. В этой связи актуальны вопросы установки и круглогодичного использования солнечных водонагревательных систем в жилищном строительстве на северных территориях с сезонно-промерзающими грунтами и на территориях с вечной мерзлотой. Однако проектирование и строительство гибридных солнечных систем горячего водоснабжения в жилых домах на северных территориях имеют существенные особенности [9] и изучены пока недостаточно [10–13].

В России реализован ряд пилотных проектов по использованию солнечной энергии в реализации концепции научно-технологического развития страны. Одним из них является строительство жилых многоквартирных домов г. Якутска, в которых были использованы энергоэффективные ограждающие конструкции и гибридные солнечные системы горячего водоснабжения, контролируемые разработанным программно-аппаратным комплексом с внешним доступом [14–17].

Целью настоящей работы является совершенствование программно-аппаратного комплекса опытно-промышленной гибридной солнечной водонагревательной установки для обеспечения получения максимально возможной энергии солнца при различной облачности за счет прерывистой работы циркуляционного насоса в гидравлическом контуре коллекторов.

Материалы и методы

Достижение поставленной цели исследований осуществлялось посредством проведения натурных исследований режимов работы опытно-промышленной солнечной водонагревательной установки (СВНУ) в составе гибридной солнечной системы горячего водоснабжения производственного цеха № 1 НПО «Внедрение энергосберегающих технологий», расположенного в с. Кафтанчиково Томского района. Схема установки и элементы СВНУ показаны на рис. 1 и 2 [9].

Падающий на коллекторы Q поток солнечной тепловой энергии измерялся датчиком солнечной инсоляции I , закрепленным на одном из двух вакуумных коллекторов.

Для измерения температуры наружного воздуха использовался датчик температуры (термометр сопротивления), расположенный рядом с датчиком солнечной инсоляции 1 (рис. 1). Для исключения влияния теплового излучения датчик измерения температуры наружного воздуха оснащен четырьмя вертикальными концентрическими трубчатыми экранами, изготовленными из нержавеющей стали толщиной 0,0002 м. В блоке управления 2 осуществлялись сбор данных со всех первичных датчиков, обработка, хранение и передача информации (по требованию) на сервер 3 . Отсчет данных мог проводиться

с интервалом от 2 с до 1 ч. По трубопроводу 4 горячая вода из бак-аккумулятора 7 направляется к потребителю, а холодная вода поступает в бак-аккумулятор через измеритель расхода 6.

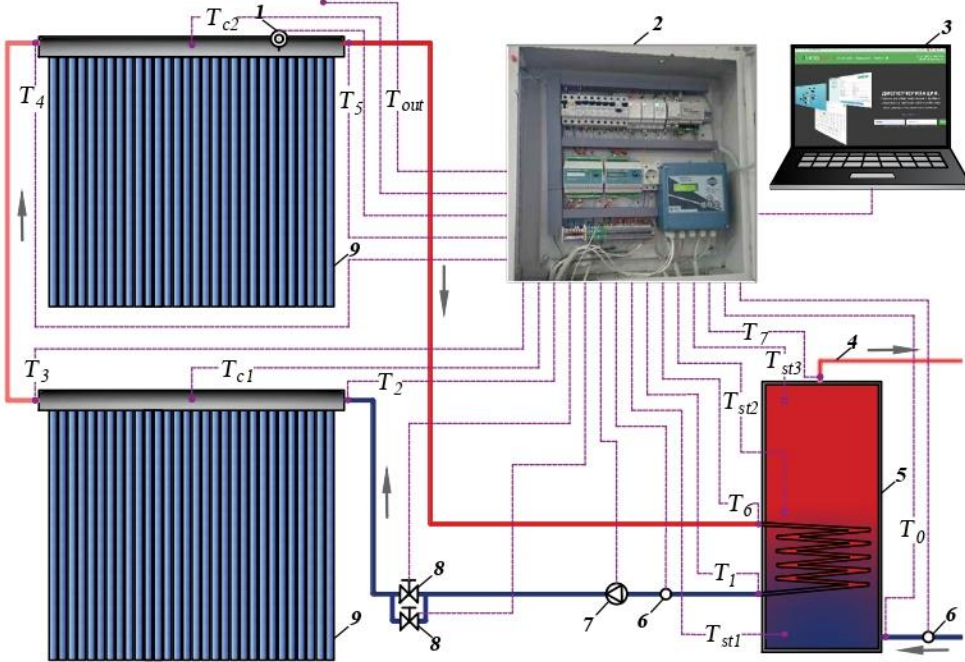


Рис. 1. Основные компоненты и используемые датчики исследуемой СВНУ:
 1 – датчик солнечной инсоляции; 2 – блок управления с устройством для сбора и передачи данных; 3 – сервер; 4 – трубопровод подачи нагретой воды к потребителю; 5 – бак-аккумулятор; 6 – измеритель расхода воды; 7 – циркуляционный насос; 8 – электромагнитный клапан; 9 – коллектор



Рис. 2. Элементы СВНУ:
 а – датчик солнечной инсоляции; б – циркуляционный насос

Циркуляционный насос 7 через электромагнитный клапан 8 осуществляет подачу охлажденного в бак-аккумуляторе теплоносителя (низкозамерзающая

жидкость) в вакуумные трубчатые коллекторы 9. Нагретый в них теплоноситель возвращается в теплообменник, расположенный в баке-аккумуляторе 5. Абсорбированная в коллекторах тепловая энергия через этот теплообменник передается воде, температура которой контролируется тремя датчиками, расположенными в нижней части (под теплообменником), в средней части (над теплообменником) и в верхней части бака-аккумулятора. Учет часовых поступлений тепловой энергии в бак-аккумулятор осуществляется счетчиком, расположенным в блоке управления 2, на основании измеренных значений температур теплоносителя на входе в бак-аккумулятор и на выходе из него с учетом расхода теплоносителя.

Для получения, хранения, передачи и обработки экспериментальных данных использовалась трехуровневая гетерогенная система мониторинга и управления с удаленным доступом [14–17].

Результаты и их обсуждение

Типичные зависимости изменения регистрируемых экспериментальных данных (мощности инсоляции, температуры воды в средней и нижней частях бака-аккумулятора, температуры теплоносителя в коллекторах) в течение суток с интервалом в 30 мин приведены на рис. 3.

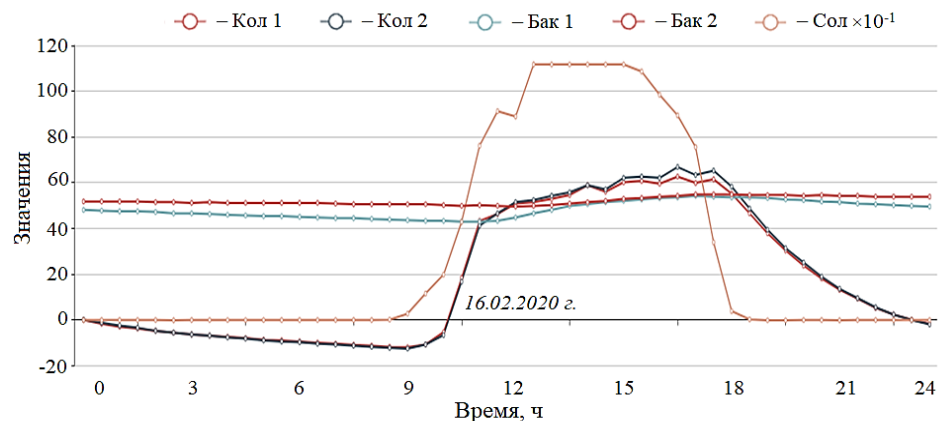


Рис. 3. Типичные суточные экспериментальные данные работы СВНУ

Значения показаний датчика солнечной инсоляции уменьшены в 10 раз, что позволило отображать все данные на одной шкале. Из рисунка следует, что разность температур воды в нижней и средней частях бака-аккумулятора в течение суток изменяется и достигает максимального значения при открытии соленоидного клапана 8 (см. рис. 1) и включении циркуляционного насоса в 11 ч утра. По мере нагревания воды в баке-аккумуляторе регистрируемая разность температур воды уменьшается практически до 0 °С при уровне солнечной инсоляции 565 Вт/м² (данные для 16 февраля 2020 г.). Затем с течением времени разность температур воды в нижней и средней частях бака-аккумулятора увеличивается (рис. 3) при непрерывной работе циркуляционного насоса.

В связи с этим представляет интерес рассмотрение вопроса изменения режима работы циркуляционного насоса в гидравлическом контуре коллекторов таким образом, чтобы использовать максимально возможную энергию солнца при различной облачности. Одним из возможных путей решения этой задачи является введение прерывистого режима работы циркуляционного насоса в комплексе опытно-промышленной гибридной солнечной водонагревательной установки.

Для анализа возможности повышения энергосбережения при изменении режима работы циркуляционного насоса регистрация экспериментальных данных выполнялась с интервалом в 30 с (рис. 4–9). Исследования проводились 3 и 26 марта 2020 г. для разной облачности.

На рис. 4 и 5 приведены данные по изменению плотности солнечной радиации ($\text{Вт}/\text{м}^2$) в течение суток 3 марта (значительная солнечная инсоляция, рис. 4) и 26 марта (облачная погода, рис. 5) 2020 г.

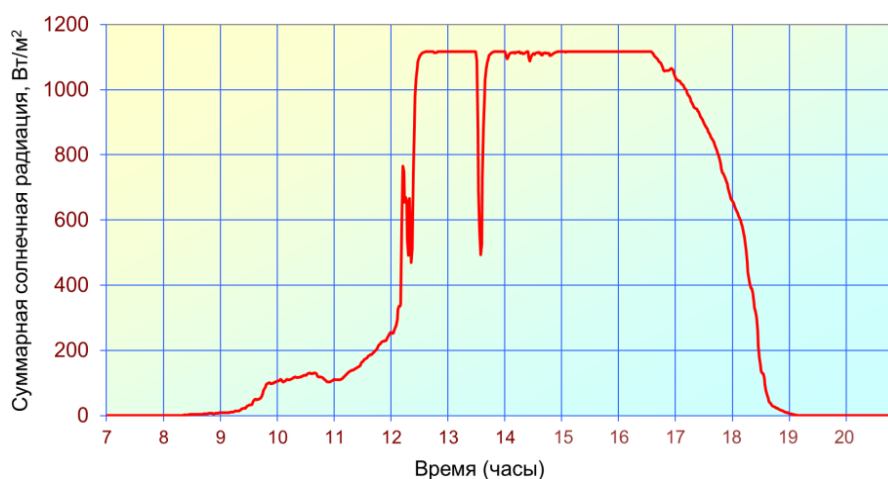


Рис. 4. Суммарная солнечная радиация ($\text{Вт}/\text{м}^2$) в зависимости от времени (03.03.2020)



Рис. 5. Суммарная солнечная радиация ($\text{Вт}/\text{м}^2$) в зависимости от времени (26.03.2020 г.)

Так как теплоноситель поступает в среднюю часть бака-аккумулятора, то, с одной стороны, температура теплоносителя должна быть выше температуры воды в средней части бака, чтобы нагревать, а не охлаждать воду. С другой стороны, чем ниже будет температура теплоносителя, поступающего в коллекторы, тем меньшими будут тепловые потери и более интенсивным теплоперенос к теплоносителю в конденсаторах тепловых трубок.

Таким образом, чтобы обеспечить максимальный отбор тепловой энергии к теплоносителю при различной облачности, необходимо уменьшать расход теплоносителя при уменьшении солнечной инсоляции.

При безоблачной погоде и максимальной солнечной инсоляции необходимо стабильно обеспечивать максимальный расход теплоносителя, что возможно реализовать при прерывистой работе циркуляционного насоса.

Если температура теплоносителя в первом по ходу теплоносителя коллекторе (см. рис. 1) после ночного охлаждения и восхода солнца утром превысит температуру воды в нижней части бака-аккумулятора на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, то открывается соленоидный клапан и включается циркуляционный насос. При этом резко охлаждается теплоноситель в обоих коллекторах, как видно из рис. 6, на котором приведены зависимости температур теплоносителя в коллекторах, воды в баке-аккумуляторе и наружного воздуха от времени для 03.03.2020 г.

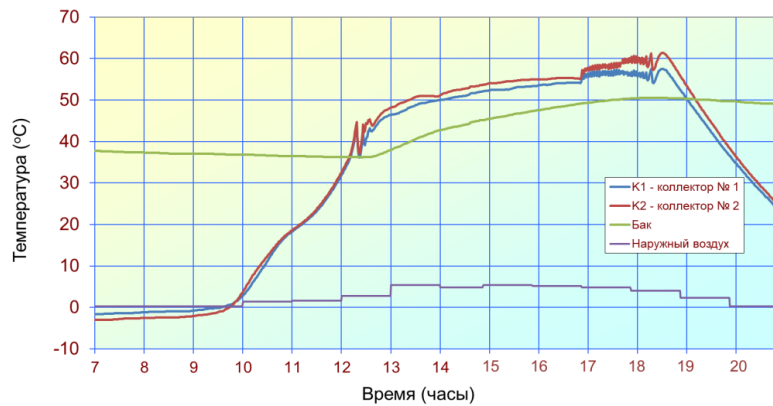


Рис. 6. Зависимость температур теплоносителя в коллекторах, воды в баке-аккумуляторе и наружного воздуха от времени (03.03.2020 г.)

При установлении температуры теплоносителя в первом по ходу движения теплоносителя коллекторе на $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше температуры воды в нижней части бака-аккумулятора циркуляционный насос отключается и оба коллектора нагреваются. После нескольких колебаний температуры теплоносителя в коллекторах насос больше не выключается. На рис. 6 этот режим наблюдается с 12 ч 40 мин до 16 ч 50 мин.

Затем прерывистая работа циркуляционного насоса возобновляется. Из-за снижения солнечной инсоляции (см. рис. 4) колебания температуры теплоносителя в коллекторах увеличиваются вплоть до времени перехода работы установки в ночной режим (циркуляционный насос выключен, и соленоидный

клапан закрыт). При этом теплоноситель в обоих коллекторах начинает постепенно охлаждаться после 18 ч 30 мин.

Накопленный архив часовых расходов теплоносителя с 12 до 19 ч представлен на рис. 7.

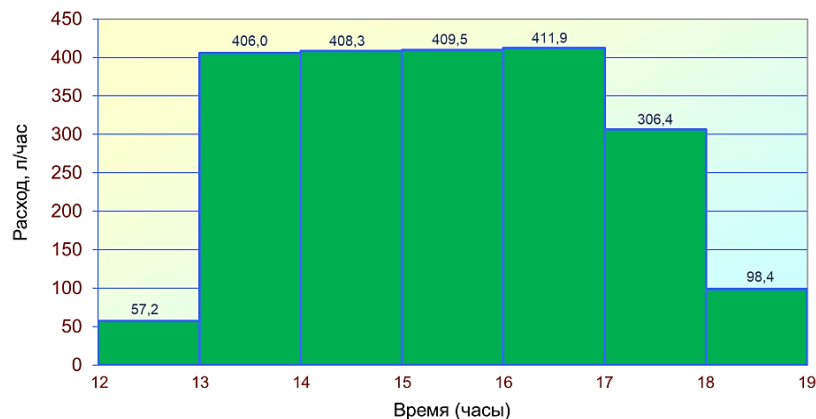


Рис. 7. Средний расход теплоносителя (л/ч) в зависимости от времени (03.03.2020 г.)

Анализ данных, представленных на рис. 6 и 7, показывает, что циркуляционный насос работал непрерывно в течение 4 ч. За это время через коллекторы было прокачано 1635,7 л теплоносителя (в среднем по 408,93 л/ч). Если бы насос работал все 7 ч со средним расходом, то через коллекторы было бы прокачано 2862,5 л. Реально же прокачано всего 2097,7 л. Отсюда следует, что насос работал только 73,3 % времени. Учитывая то, что в первые мгновения после запуска насоса расходуется больше электроэнергии, максимально возможная экономия может составить 26,7 %.

Для облачной погоды (рис. 5) регистрируется значительно большее число отключений циркуляционного насоса (рис. 8), чем для повышенной инсоляции, в связи с чем часовые расходы теплоносителя были меньше (рис. 9).

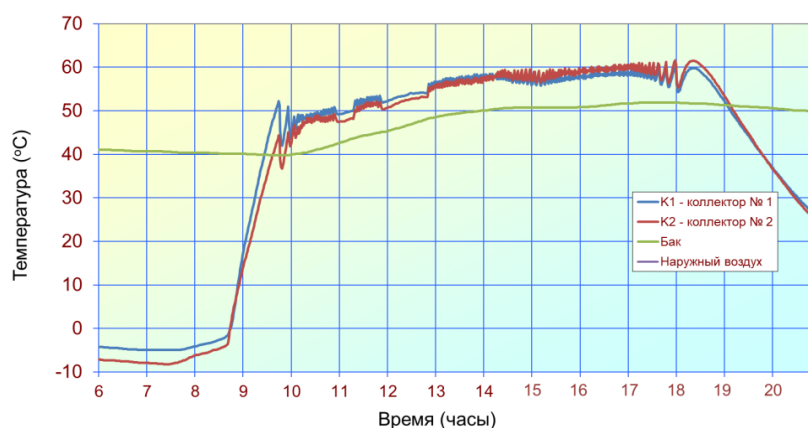


Рис. 8. Зависимость температур теплоносителя в коллекторах и воды в баке от времени (26.03.2020 г.)

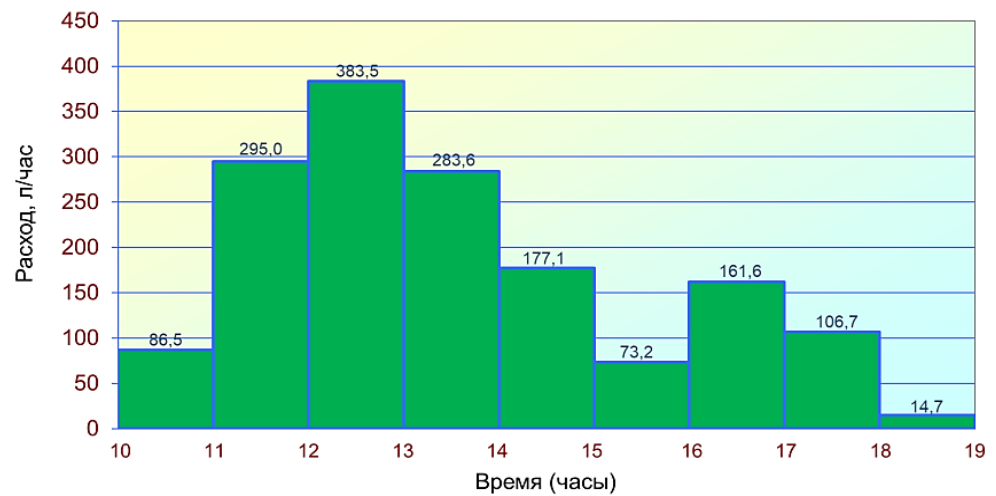


Рис. 9. Расход теплоносителя (л/ч) в зависимости от времени (часы) (26.03.20 г.)

Анализ данных, представленных на рис. 9, показывает, что за 9 ч циркуляционным насосом через коллекторы было прокачено 1581,9 л теплоносителя. Если бы насос работал все 9 ч со средним расходом 408,93 л/ч, то через коллекторы было бы прокачено 3680,4 л. Отсюда следует, что насос работал только 42,98 % времени. Максимально возможная экономия электроэнергии в этом случае может составить 57,02 %.

Выводы

Предложен способ управления циркуляционным насосом в гидравлических контурах коллекторов гибридных солнечных систем горячего водоснабжения (ГВС), позволяющий получать близкую к максимально возможной тепловую солнечную энергию в бак-аккумулятор при максимально возможной экономии электрической энергии на привод насоса от солнечных панелей.

Необходимо выполнить аналогичные исследования с частотным регулированием скорости вращения оси насоса в зависимости от интенсивности солнечной инсоляции.

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. Казанджан Б.И. Системы солнечного теплоснабжения // Энергия: экономика, техника, экология. 2005. № 12. С. 10–16.
3. Афанасьев А.А., Баранов Н.Н. Мировая энергетика: глобальные проблемы и перспективы развития // Энергия: экономика, техника, экология. 2021. № 2. С. 28–47. DOI: 10.7868/S023336192102004X
4. 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. URL: <https://dx.doi.org/10.3390/en14010017>
5. Haukkala T. Does the sun shine in the High North? Vested interests as a barrier to solar energy deployment in Finland // Energy Research & Social Science. 2015. № 6. P. 50–58.

6. *Abikoye B., Čuček L., Isafiade A.J., Kravanja Z.* Synthesis of solar thermal network for domestic heat utilization // *Chemical Engineering Transactions*. 2019. № 76. P. 1015–1020.
7. *Полищук С.З., Шамрицкая Л.А.* Возможности использования солнечной энергии для отопления и горячего водоснабжения зданий в северных широтах // *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2012. № 4(169). С. 26–31.
8. *Российская Федерация. Президент.* О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации : Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. № 642 // Президент Российской Федерации [официальный сайт]. URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/41449> (дата обращения 18.03.2021 г.).
9. *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
10. *Krivoshein Y.O., Tolstykh A.V., Tsvetkov N.A., Khutornoy A.N.* Efficiency of dual hot water systems with the use of solar evacuated tube collectors in the Northern territories // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. V. 408. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/408/1/012011>
11. *Krivoshein Y.O., Tolstykh A.V., Tsvetkov N.A., Khutornoy A.N.* Mathematical model for calculating solar radiation on horizontal and inclined surfaces for the conditions of Yakutsk // *SEWAN-2019 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2020. 408. 012002. DOI: 10.1088/1755-1315/408/1/012002
12. *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
13. *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. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118577>
14. *Цветков Н.А., Кривошеин Ю.О., Хуторной О.Ю.* Технология управления параметрами работы инженерных систем строительных объектов с удаленным доступом (на примере ТГАСУ) // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2013. № 2. С. 326–336.
15. *Кривошеин Ю.О., Цветков Н.А.* Система диспетчерского контроля и управления потреблением энергоресурсов объектами с функцией удаленного доступа // *Современные техника и технологии : сб. материалов XIX Международной конференции студентов и молодых ученых (СТТ-2013)*, Томск, 12–16 апреля 2013 г. Томск : Из-во Национального исследовательского Томского политехнического университета, 2013. С. 231–232.
16. *Цветков Н.А., Кривошеин Ю.О., Хуторной А.Н., Колесникова А.В., Саврасов Ф.В.* Автоматизированная гетерогенная система диспетчеризации и управления потреблением энергоресурсов // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2015. № 5. С. 138–150.
17. *Кривошеин Ю.О., Хуторной А.Н., Цветков Н.А.* Гетерогенная ИТ-система диспетчеризации – как основа контроля, учета, мониторинга и управления энергоресурсопотреблением в многоквартирных жилых домах // *Актуальные проблемы современности*. 2016. № 2 (12). С. 173–179.

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. *Kazandzhan B.I.* Sistemy solnechnogo teplosnabzheniya [Solar heating systems]. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya*. 2005. No. 12. Pp. 10–16. (rus)
3. *Afanas'ev A.A., Baranov N.N.* Mirovaya energetika: global'nye problemy i perspektivy razvitiya [World energy: global problems and development prospects]. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya*. 2021. No. 2. Pp. 28–47. DOI: 10.7868/S023336192102004X (rus)

4. 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
5. Haukkala T. Does the sunshine in the High North? Vested interests as a barrier to solar energy deployment in Finland. *Energy Research & Social Science*. 2015. No. 6. Pp. 50–58.
6. Abikoye B., Čuček L., Isafiade A.J., Kravanja Z. Synthesis of solar thermal network for domestic heat utilization. *Chemical Engineering Transactions*. 2019. No. 76. Pp. 1015–1020.
7. Polishchuk S.Z., Shamritskaya L.A. Vozmozhnosti ispol'zovaniya solnechnoi energii dlya otopeniya i goryachego vodosnabzheniya zdaniy v severnykh shirotakh [Possibilities of using solar energy for hot water supply of buildings in northern territories]. *Visnik Pridniprovs'koï derzhavnoï akademii budivnitsva ta arkhitekturi*. 2012. No. 4 (169). Pp. 26–31. (rus)
8. Rossiiskaya Federatsiya. Prezident o Strategii nauchno-tehnologicheskogo razvitiya Rossiiskoi Federatsii: Ukaz Prezidenta Rossiiskoi Federatsii ot 01.12.2016 g. N 642 [Russian Federation. President on the strategy for scientific and technological development of the Russian Federation: President's Decree N 642 of 01.12.2016]. Available: <http://kremlin.ru/acts/bank/41449> (accessed March 18, 2021). (rus)
9. Krivoshein Yu.O., Tsvetkov N.A., Tolstykh A.V., Khutornoi 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. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-119-131 (rus)
10. Krivoshein Y.O., Tolstykh A.V., Tsvetkov N.A., Khutornoi A.N. Efficiency of dual hot water systems with the use of solar evacuated tube collectors in the Northern territories. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. V. 408. DOI: 10.1088/1755-1315/408/1/012011
11. Krivoshein Y.O., Tolstykh A.V., Tsvetkov N.A., Khutornoi A.N. Mathematical model for calculating solar radiation on horizontal and inclined surfaces for the conditions of Yakutsk. *SEWAN-2019 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2020. V. 408. 012002. DOI: 10.1088/1755-1315/408/1/012002
12. 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
13. 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
14. Tsvetkov N.A., Krivoshein Yu.O., Krivoshein O.Yu. Tekhnologiya upravleniya parametrami raboty inzhenernykh sistem stroitel'nykh ob"ektov s udalennym dostupom (na primere TGASU) [Technology for parameter control of engineering systems of construction facilities with remote access (the TSUAB case studies)]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2013. No. 2. Pp. 326–336. (rus)
15. Krivoshein Yu.O., Tsvetkov N.A. Sistema dispatcher'skogo kontrolya i upravleniya potrebleniyem energoresursov ob"ektami s funktsiei udalennogo dostupa [Control and management systems of energy consumption of facilities with remote access function]. *Sovremennye tekhnika i tekhnologii: sb. materialov XIX Mezhdunarodnoi konferentsii studentov i molodykh uchennykh (Proc. 19th Int. Sci. Conf. 'Modern Engineering and Technologies')*, Tomsk: TPU, 2013. Pp. 231–232. (rus)
16. Tsvetkov N.A., Krivoshein Yu.O., Khutornoi A.N., Kolesnikova A.V., Savrasov F.V. Avtomatizirovannaya geterogennaya sistema dispatcherizatsii i upravleniya potrebleniyem energoresursov [Automated heterogeneous system of dispatching and control of energy consumption]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. No. 5. Pp. 138–150. (rus)
17. Krivoshein Yu.O., Khutornoi A.N., Tsvetkov N.A. Geterogennaya IT-sistema dispatcherizatsii – kak osnova kontrolya, ucheta, monitoringa i upravleniya energoresursopotrebleniyem v mnogokvartirnykh zhilykh domakh [Heterogeneous dispatching IT-system as a basis for control, accounting, monitoring and management of energy consumption in apartment buildings]. *Aktual'nye problemy sovremennosti*. 2016. No. 2 (12). Pp. 173–179. (rus)

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

Петрова Алена Владимировна, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, pvapnn@mail.ru

Толстых Александр Витальевич, канд. физ.-мат. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, sinvintie@rambler.ru

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

Alena V. Petrova, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, pvapnn@mail.ru

Aleksandr V. Tolstykh, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, sinvintie@rambler.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