

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДВУХКОНТУРНОЙ ГЕЛИОУСТАНОВКИ С ТЕРМОСИФОННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

**Р.А. Омаров<sup>1</sup>, М.М. Кунелбаев<sup>2, 3</sup>, Д.Р. Омаров<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», г. Алматы, Республика Казахстан,

<sup>2</sup> Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, г. Алматы, Республика Казахстан

<sup>3</sup> Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан

В данной работе предлагаются результаты исследований двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией в зимний период времени. Тепловой насос интегрирован с обычной системой солнечного отопления, в которой температура собранного тепла снижается с 20 до 30 °С, чтобы повысить эффективность сбора солнечной энергии. Низкотемпературное тепло, собираемое солнечным коллектором, модернизируется с помощью теплового насоса для выработки высокотемпературного тепла для обогрева помещений зимой и технологического пара низкого давления для промышленного применения в другие сезоны. Результаты показывают, что КПД солнечного коллектора увеличился на 30,5 %, его годовое эффективное время работы достигло 2000 ч, что примерно в четыре раза больше, чем у обычной системы солнечного отопления. Для сравнительной оценки эффективности двух вариантов испытания проводятся в одинаковых климатических условиях, в течение одного дня, в период с 12 до 15 ч, когда температура воздуха и интенсивность солнечной радиации наиболее стабильны.

*Ключевые слова:* солнечная энергия, плоский солнечный коллектор, тепловой насос, термосифонная циркуляция.

### Введение

Для строительства энергоэффективных устойчивых зданий в соответствии с новыми правилами в отношении глобального потепления и выбросов парниковых газов в настоящее время требуются несколько изменений [1, 2]. Использование возобновляемых источников энергии для достижения энергоэффективных целей в значительной степени было одобрено [3]. Среди возобновляемых источников солнечная энергия является наиболее доступным источником чистой энергии с минимальными затратами и воздействием на окружающую среду [4]. Исследования, основанные на солнечной тепловой энергии, привлекли огромное внимание начиная с 1970-х годов, после начала энергетического кризиса [5]. Процесс сбора солнечных коллекторов в виде энергии и преобразование их в полезное тепло для нагрева воды, кондиционирования помещений, а также для сельскохозяйственных или промышленных применений является основой применения солнечной энергии [6]. На солнечное отопление приходится основная доля всех применений на рынке; однако различные технические недостатки, такие как неопределенность, связанная с эффективностью увеличения тепла и тепловыми потерями, выступают в качестве

препятствий для его продвижения [7]. Интеграция тепловых насосов для тепловых применений потенциально была решена в [8]. Система солнечных тепловых насосов для нагрева воды имеет преимущества перед обычными солнечными водонагревателями с точки зрения производительности и первоначальных инвестиций. В обычных системах в качестве рабочей жидкости используется вода, в то время как в гибридных системах водяного отопления в качестве рабочей жидкости используется хладагент, который передает тепло воде [9]. Система солнечных тепловых насосов решает общие проблемы обычных систем, связанные с высокими инвестиционными затратами на компоненты солнечного коллектора и проблемами, возникающими из-за коррозии. В отличие от этого системы солнечных тепловых насосов способны работать в умеренных климатических условиях с солнечной радиацией, повышая энергоэффективность зданий [10]. Множество исследований экспериментально и численно [11] оценили потенциал солнечных тепловых коллекторов горячей воды и их комбинации с тепловыми насосами для снижения энергопотребления на месте в системах отопления.

Целью данной работы являются экспериментальные сравнительные исследования энергетиче-

ской эффективности плоского гелиоколлектора и плоской поглощающей панели без остекления и тепловой изоляции.

### 1. Методика исследования

Одним из основных методов исследования систем солнечного теплоснабжения является нахождение закономерностей температурных режимов двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией в зимних условиях.

В работе [12] разработано математическое обоснование основных параметров термосифонного эффекта для солнечной системы отопления. В статье [13] разработаны и исследованы алгоритм управления и программное обеспечение солнечного контроллера для двухконтурных солнечных коллекторов с термосифонной циркуляцией. В работе [14] разработали двухконтурную гелиоустановку с термосифонной циркуляцией, которая имеет плоский солнечный коллектор, представляющий собой теплоизоляционный прозрачный стеклопакет с пониженным давлением, а теплоноситель выполнен из тонкостенной гофрированной нержавеющей трубы. В статье [15] разработан модельный образец нового теплового насоса, проведены его экспериментальные исследования. Измерены температуры режимов компрессора, испарителя, конденсатора, а также нагрева и охлаждения. В данном исследовании изучили три варианта: первый, когда компрессор расположен в центре испарителя; второй, когда компрессор расположен не по центру, ближе к стенке испарителя, и третий, когда компрессор расположен в центре испарителя, но был исключен из теплового излучения испарителя путем установки отсекающих стенок цилиндрической перегородки. Эксперименты показали, что температура поверхности стенок испарителя составляла  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ , воздух вокруг компрессора, расположенного внутри змеевика испарителя,

составлял около  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, с повышением температуры компрессора температура поверхности испарителя и температура воздуха вокруг компрессора снижаются. Такой режим подтверждает охлаждающий эффект компрессора испарителя и частичное поглощение тепла испарителя, генерируемого компрессором.

В статье [16] была изучена система солнечного теплоснабжения на примере животноводческой фермы. Новая система выполняет следующие функции: перерабатывает тепло, организует его движение и накопление, сглаживает неравномерное распределение. Основными компонентами системы являются: система солнечного теплоснабжения, охладитель молока, климатический блок, тепловой насос, аккумуляторная батарея, система автоматического управления. В статье [17] рассматривается новая концепция дизайна плоского солнечного коллектора с использованием гибких трубок. Определены основные параметры теплоемкости плоского солнечного коллектора. Рассчитан температурный контур пластины-поглотителя плоского солнечного коллектора с температурой на входе  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . С помощью коммерческого программного пакета CFD (Computational Fluid Dynamics) ANSYS FLUENT 19.0 был разработан фазовый дизайн, основанный на прогнозах тепловых характеристик гелиоколлектора, и эквивалентный коэффициент теплопередачи пластин поглотителя. Также были рассчитаны переменные экспериментальных испытаний для солнечного плоского коллектора, которые были выше при падающем солнечном излучении, чем при температуре окружающей среды.

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены лабораторные стенды. Основным элементом исследуемой схемы является тепловой насос. На рис. 1. представлена схема нового технического решения теплового насоса в

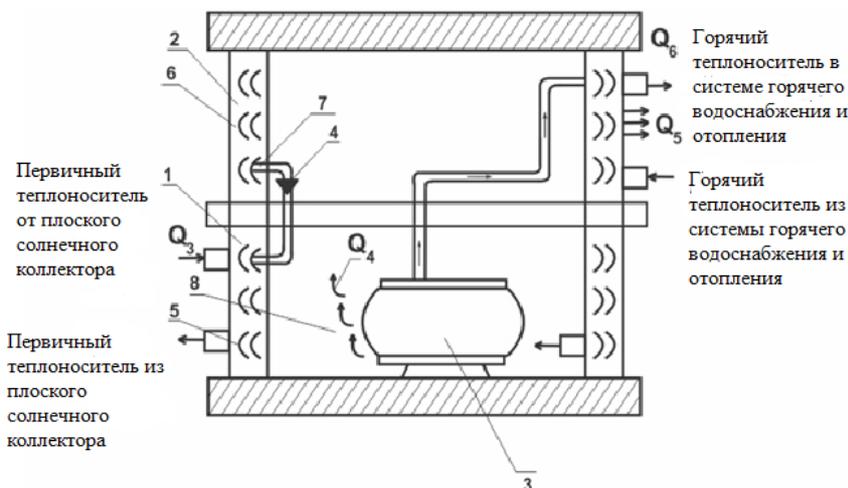


Рис. 1. Схема нового технического решения теплового насоса в разрезе:

1 – теплообменник; 2 – конденсатор; 3 – компрессор; 4 – дроссельная заслонка; 5 и 6 – патрубki охлаждающей жидкости испарителя и конденсатора; 7 – отверстие для ввода трубок в корпус конденсатора; 8 – сетка-оболочка – разделитель воздушного потока

## Альтернативные источники энергии

разрезе. Предлагаемое устройство позволяет использовать тепло, выделяемое компрессором во время работы, и одновременно охлаждать его.

Теплообменники испарителя 1 и конденсатора 2 выполнены в виде кольцевых емкостей, образованных внутренней и внешней цилиндрическими оболочками с радиусами  $R1$  и  $R2$ , и установлены соосно друг над другом в нижней части испарителя над конденсатором, образуя внутреннюю цилиндрическую воздушную полость. В полости теплообменника испарителя установлен компрессор 3. Для обеспечения оптимальной теплоотдачи от компрессора к испарителю в зазоре между ними размещена сетчатая цилиндрическая оболочка –

разделитель 8. Хладагенты 1-го и 2-го контуров циркулируют внутри кольцевых баков, отводя тепло от трубок 5 и 6. Таким образом, компрессор практически находится внутри «холодной ванны», стенки которой охлаждаются теплоносителем трубок 5. В результате тепло, выделяемое компрессором, поглощается испарителем теплового насоса, повышая его производительность, и компрессор одновременно охлаждается без использования вентилятора.

На рис. 2 представлен тепловой насос, на рис. 3 – испытательный стенд двухконтурной гелиоустановки, на рис. 4 – промышленный образец и общий вид двухконтурной гелиоустановки.



Рис. 2. Тепловой насос



Рис. 3. Испытательный стенд двухконтурной гелиоустановки



Рис. 4. Промышленный образец и общий вид двухконтурной гелиоустановки

## 2. Результаты натурных исследований двухконтурной гелиоустановки

В реальных климатических условиях в зимний и летний периоды, а также сравнительные исследования энергетической эффективности плоского гелиоколлектора и плоской поглощающей панели без остекления и тепловой изоляции показаны на рис. 5. Исследования проводились в условиях, отличающихся температурой окружающей среды и интенсивностью солнечной радиации.

Установка удовлетворительно функционирует в зимних условиях (см. рис. 5). При температуре ок-

ружающей среды  $t \approx -10^\circ\text{C}$  и плотной облачности установка развивала мощность  $q_{\tau 1}^3 = 1,5 \dots 2,0$  кВт, мощность испарителя составляла  $P_{\text{ГК}} = 1,1 \dots 1,5$  кВт. Среднее значение коэффициента преобразования теплового насоса составляло  $\phi = 1,9 \dots 2,5$ . При этом температура теплоносителя на входе в гелиоколлектор опускалась до  $-18^\circ\text{C}$ , на выходе – до  $-14^\circ\text{C}$ , степень нагрева только от тепла атмосферного воздуха составляла  $\Delta t \approx 4^\circ\text{C}$ .

В солнечную погоду (зима) при средней интенсивности суммарной солнечной радиации  $e_{\text{т}} = 0,1 \dots 0,3$  кВт/м<sup>2</sup> тепловая мощность, развивае-

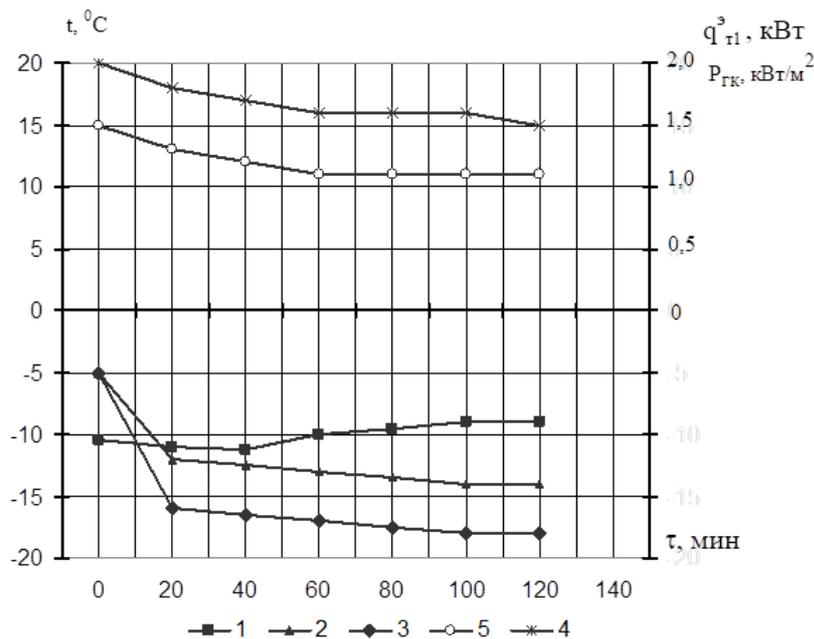


Рис. 5. Закономерность температурных режимов ДГУ в зимних условиях при плотной облачности:

1 –  $t_{\text{т}}$  – температура окружающей среды; 2, 3 –  $t_1, t_2$  – температура теплоносителя на входе и выходе из гелиоколлектора; 4 –  $q_{\tau 1}^3$  – теплопроизводительность установки; 5 –  $P_{\text{ГК}}$  – удельная мощность, развиваемая гелиоколлектором

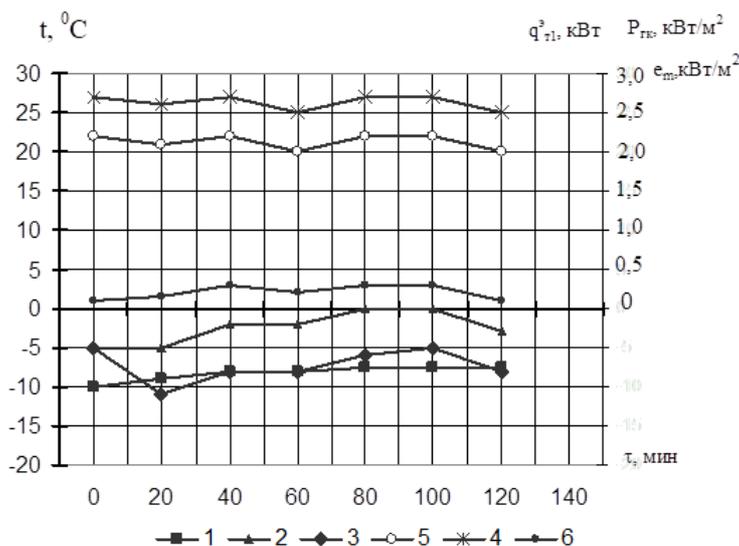
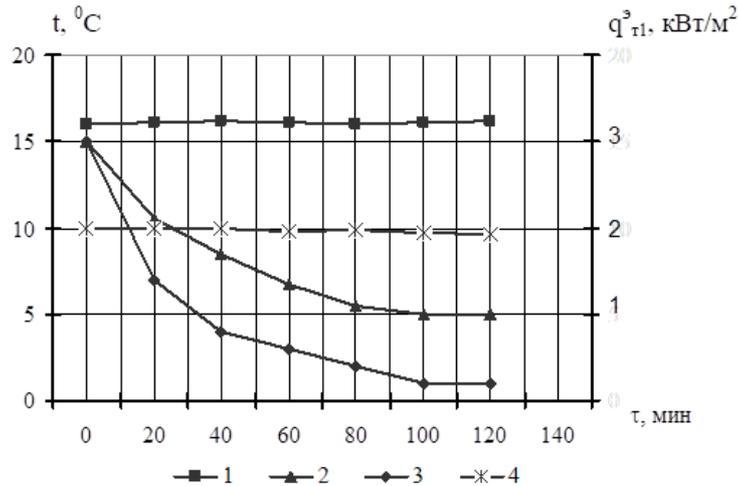


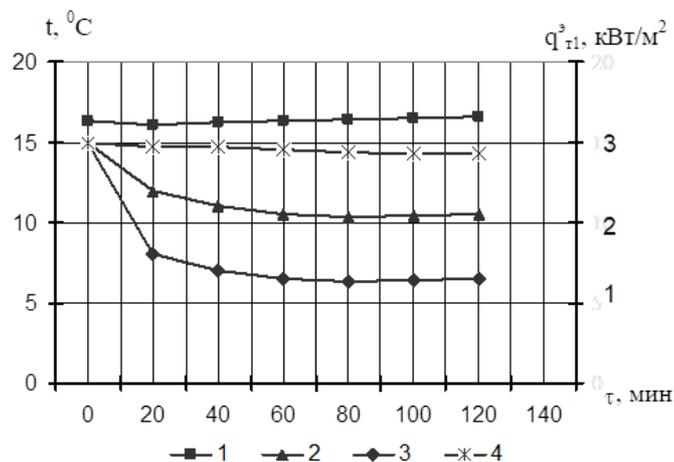
Рис. 6. Закономерность температурных режимов ДГУ в зимних условиях при солнечной погоде:

1 –  $t_{\text{т}}$  – температура окружающей среды; 2, 3 –  $t_1, t_2$  – температура теплоносителя на входе и выходе из гелиоколлектора; 4 –  $q_{\tau 1}^3$  – теплопроизводительность установки; 5 –  $P_{\text{ГК}}$  – удельная мощность, развиваемая гелиоколлектором; 6 –  $e_{\text{т}}$  – интенсивность солнечной радиации



**Рис. 7. Характеристика гелиоколлектора без остекления и теплоизоляции:**

1 –  $t_t$  – температура окружающей среды; 2, 3 –  $t_1, t_2$  – температура теплоносителя на входе и выходе из гелиоколлектора; 4 –  $q^3_{t1}$  – теплопроизводительность установки



**Рис. 8. Характеристика гелиоколлектора с остеклением и теплоизоляцией:**

1 –  $t_t$  – температура окружающей среды; 2, 3 –  $t_1, t_2$  – температура теплоносителя на входе и выходе из гелиоколлектора; 4 –  $q^3_{t1}$  – теплопроизводительность установки

мая установкой, составляла  $q^3_{t1} = 2,5 \dots 2,7$  кВт, мощность испарителя  $P_{гк} = 2,0 \dots 2,2$  кВт, среднее значение коэффициента преобразования  $\phi = 3,1 \dots 3,4$ . При этом температура теплоносителя на входе в гелиоколлектор  $t_1 = -5 \dots 11$  на выходе, в нагретом состоянии,  $t_2 = 0 \dots -5$ . Средняя температура догрева теплоносителя при прохождении через гелиоколлектор составляла  $\Delta t = 5 \dots 6$  °C при расходе 380...400 л/ч (рис. 6).

Результатами сравнительных исследований гелиоколлектора с остеклением (рис. 7) и без него (рис. 8) установлено, что мощность, развиваемая гелиоколлектором, без остекления составляет  $2,3 \dots 3,0$  кВт/м<sup>2</sup>, во втором варианте –  $1,6 \dots 2,2$  кВт/м<sup>2</sup>, то есть больше в 1,4 раза. Повышение мощности объясняется: исключением оптических потерь при прохождении солнечной энергии через остекление; существенным снижением термического сопротивления для теплового потока, передаваемого от поглощающей среды; улучшением условий работы испарителя теплового

насоса за счет повышения энергии кипения хладагента.

### Заклучение

Представлены экспериментальные результаты для сезонной эффективности отопительной системы в двухконтурной гелиоустановке с термосифонной циркуляцией в зимних условиях при плотной облачности и при солнечной погоде. Обоснованно утверждение, что система теплового насоса эффективно работает в режиме отопления при точно измеренной температуре наружного воздуха, типичной для климатической зоны г. Алматы (Казахстан). Экспериментально установлено, что мощность, развиваемая плоским солнечным коллектором, с остеклением составляет от 1,6 до 2,2 кВт/м<sup>2</sup>, без остекления – от 2,3 до 3 кВт/м<sup>2</sup>. Повышение мощности без остекления объясняется отсутствием оптических потерь при прохождении солнечной энергии через остекление и существенным снижением термического сопротивления теплового потока.

### Литература/References

1. Aggarwal V., Meena C.S., Kumar A., Alam T., Kumar A., Ghosh A., Ghosh A. Potential and future prospects of geothermal energy in space conditioning of buildings. *India and worldwide review. Sustainability*, 2020, vol. 12, p. 8428. DOI: 10.3390/su12208428
2. Agarwal N., Meena C.S., Raj B.P., Saini L., Kumar A., Gopalakrishnan N., Kumar A., Balam N.B., Alam T., Kapoor N.R., et al. *Indoor Air Quality Improvement in COVID-19 Pandemic: Review. Sustain. Cities Soc.*, 2021, vol. 70, p. 102942. DOI: 10.1016/j.scs.2021.102942
3. Zeng R., Wang X., Di H., Jiang F., Zhang Y. New concepts and approach for developing energy efficient buildings: Ideal specific heat for building internal thermal mass. *Energy Build*, 2011, vol. 43, pp. 1081–1090. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.08.035
4. Bellos E., Tzivanidis, C., Moschos K., Antonopoulos K.A. Energetic and financial evaluation of solar assisted heat pump space heating systems. *Energy Convers. Manag.*, 2016, vol. 120, pp. 306–319. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.05.004
5. Huang Y., Niu J., Chung T. Study on performance of energy-efficient retrofitting measures on commercial building external walls in cooling-dominant cities. *Appl. Energy*, 2013, vol. 103, pp. 97–108. DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.09.003
6. Tzivanidis C., Bellos E., Mitsopoulos G., Antonopoulos K.A., Delis A. Energetic and financial evaluation of a solar assisted heat pump heating system with other usual heating systems in Athens. *Appl. Therm. Eng.*, 2016, vol. 106, pp. 87–97. DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.09.003
7. Nozik A.J. Photoelectrochemistry: Applications to Solar Energy Conversion. *Ann. Rev. Phys. Chem.*, 2003, vol. 29, pp. 189–222. DOI: 10.1146/annurev.pc.29.100178.001201
8. Lewis N.S. Toward cost-effective solar energy use. *Science*, 2007, vol. 315, pp. 798–801. DOI: 10.1126/science.1137014
9. Li B., Wang R., Zhai X. Integration of Solar Systems with Heat Pumps and Other Technologies. *In Handbook of Energy Systems in Green Buildings*. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2017, pp. 1372–1407.
10. Tagliafico L.A., Scarpa F., Valsuani F. Direct Expansion Solar-Assisted Heat Pumps – A Clean Steady State Approach for Overall Performance Analysis. *Appl. Therm. Eng.*, 2014, vol. 66, pp. 216–226. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2014.02.016
11. Alam T., Meena C.S., Balam N.B., Kumar A., Cozzolino R. Thermo-Hydraulic Performance Characteristics and Optimization of Protrusion Rib Roughness in Solar Air Heater. *Energies*, 2021, vol. 14, p. 3159. DOI: 10.3390/en14113159
12. Amirgaliyev Y., Kunelbayev M., Amirgaliyev B., Kalizhanova A., Kozbakova A., Merembayev T., Dassibekov A. Mathematical justification of thermosiphon effect main parameters for solar heating system. *Cogent Engineering*, 2020, vol. 7, p. 1851629. DOI: 10.1080/23311916.2020.1851629
13. Amirgaliyev Y., Kunelbayev M., Amirgaliyev B., Sundetov T., Yedilkhan D., Merembayev T. Development and Research of the Control Algorithm and Software of Solar Controller for Double-Circuit Solar Collectors with Thermosiphon Circulation. *2019 International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies (PGSRET)*. DOI: 10.1109/pgsret.2019.8882650
14. Пат. 2018/0209.1 Республика Казахстан. Двухконтурная гелиоустановка с термосифонной циркуляцией / Е.Н. Амиргалиев, М.М. Кунелбаев, О.А. Ауелбеков, Н.С. Катаев, А.У. Калижанова, А.Х. Козбакова; заявитель и патентообладатель Е.Н. Амиргалиев, М.М. Кунелбаев, О.А. Ауелбеков, Н.С. Катаев, А.У. Калижанова, А.Х. Козбакова. № 33741; заявл. 04.04.2018; опубл. 02.07.2019. [Amirgaliyev Ye.N., Kunelbayev M.M., Auelbekov O.A., Katayev N.S., Kalizhanova A.U., Kozbakova A.Kh. *Dvuchkonturnaya gelioustanovka s termosifonnoi sirkulyasieyi* [Dual-circuit solar unit with thermosiphon circulation]. Patent RK, no. 33741, 2019.]
15. Omarov R., Omar D., Kunelbayev M., Abdygaliyeva S. Studies with the Heat Pump Compressor Auto Refrigerated. *Iioab Journal*, 2016, vol. 7, pp. 484–495.
16. Omarov R., Abdygaliyeva S., Omar D., Kunelbayev M. Integrated system for the use of solar energy in the animal farm. *Scientia iranica*, vol. 24, iss. 6, pp. 3213–3222. DOI: 10.24200/sci.2017.4358
17. Kunelbayev M.M. Numerical Simulations for Analyzing the Efficiency Parameters of a New Type of Flat-Plate Solar Collectors. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2020, vol. 20, no. 4, pp. 77–85. (in Russ.) DOI: 10.14529/power200409

## Альтернативные источники энергии

---

**Омаров Рашид Абдыгаравович**, д-р техн. наук, профессор, заведующий лабораторией «Механизация технологических процессов в животноводстве», ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», г. Алматы, Республика Казахстан; omarov-rashit@mail.ru.

**Кунелбаев Мурат Меркебекович**, старший научный сотрудник, Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК; старший преподаватель, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан; murat7508@yandex.kz.

**Омаров Даурен Рашидович**, научный сотрудник лаборатории «Механизация технологических процессов в животноводстве», ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», г. Алматы, Республика Казахстан; omardauren@gmail.com.

*Поступила в редакцию 12 августа 2021 г.*

---

DOI: 10.14529/power210408

## RESULTS OF STUDIES OF A TWO-CIRCUIT SOLAR INSTALLATION WITH THERMOSIPHON CIRCULATION IN WINTER

**R.A. Omarov**<sup>1</sup>, omarov-rashit@mail.ru,  
**M.M. Kunelbayev**<sup>2, 3</sup>, murat7508@yandex.kz,  
**D.R. Omarov**<sup>1</sup>, omardauren@gmail.com

<sup>1</sup> Scientific Production Center of Agricultural Engineering, LTD, Almaty, Republic of Kazakhstan,

<sup>2</sup> Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK, Almaty, Republic of Kazakhstan,

<sup>3</sup> Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan

The paper presents the results of studies of a two-circuit solar installation with thermosiphon circulation in the winter period. The heat pump is integrated with a conventional solar heating system, in which the temperature of the collected heat is reduced from 20 to 30 °C to increase the efficiency of solar energy collection. The low-temperature heat collected by the solar collector is upgraded using a heat pump to generate high-temperature heat for heating rooms in winter and low-pressure process steam for industrial use in other seasons. The results show that the efficiency of the solar collector has increased by 30.50%, its annual effective operating time has reached 2000 hours, which exceeds by nearly four times that of a conventional solar heating system. To compare the effectiveness of the two options, the tests were carried out under the same climatic conditions on the same day day, from 12 to 15 hours, when the air temperature and the intensity of solar radiation are most stable.

*Keywords: solar energy, flat solar collector, heat pump, thermosiphon circulation.*

*Received 12 August 2021*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Омаров, Р.А. Результаты исследований двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией в зимний период а / Р.А. Омаров, М.М. Кунелбаев, Д.Р. Омаров // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 66–72. DOI: 10.14529/power210408

### FOR CITATION

Omarov R.A., Kunelbayev M.M., Omarov D.R. Results of Studies of a Two-Circuit Solar Installation with Thermosiphon Circulation in Winter. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2021, vol. 21, no. 4, pp. 66–72. (in Russ.) DOI: 10.14529/power210408