



Laminar konvektsiya sharoitida tekis quyoshli havo isitgichida issiqlik almashinuvini o'rganish

Yorkin S. Abbasov¹, Muyassar A. Umurzakova^{1, a}

¹⁾ DSc, prof., Farg'ona davlat texnika universiteti, Farg'ona 150000, O'zbekiston; erkinabbasov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5304-6366>

^{1a)} DSc, prof., Farg'ona davlat texnika universiteti, Farg'ona 150000, O'zbekiston; erkinabbasov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0189-132>

Dolzarbli: O'zbekiston Respublikasi uchun past haroratli issiqlik energiyasi tizimlarida quyosh energiyasidan foydalanish hisobiga an'anaviy yoqilg'i turlarini iste'mol qilishni kamaytirish va hududlarning ekologik holatini yaxshilash alohida dolzarb masala hisoblanadi. Issiqlik energiyasidan bunday foydalanuvchilarga qishloq xo'jaligi mahsulotlari uchun ko'plab quritish moslamalari va ko'pincha har xil turdagi elektr isitgichlar va isitgichlardan foydalanadigan havo isitish tizimlari kiradi. Shu munosabat bilan, ushbu turdagi o'rnatish uchun issiqlik ishlab chiqarishning eng oddiy va eng qulay usuli - bu qo'shimcha xarajatsiz nafaqat binolarni isitish, balki to'g'ridan-to'g'ri fermer xo'jaliklarida har xil turdagi mahsulotlarni quritish mumkin bo'lgan tekis quyoshli havo isitgichidan foydalanish. Shu sababli, respublika sharoitida bunday kollektorning mumkin bo'lgan harorat salohiyatini eksperimental ravishda aniqlash va uning issiqlik parametrlarini aniqlash dolzarb vazifadir.

Maqsad: O'zbekiston Respublikasida yoz mavsumida tekis quyosh havo isitgichida havoning isishi darajasini, havo kollektorida yuzaga kelishi mumkin bo'lgan harorat farqini aniqlash va muhim issiqlik muhandislik xarakteristikasini, kollektor kanalidagi konvektiv issiqlik uzatish koefitsientini hisoblash.

Usullar: tadqiqot davomida tekis plastinkali havo kollektorining eksperimental prototipi ishlab chiqarildi. Tajribalarda quyosh havo isitgichining kirish va chiqish joylarida changni yutish devori harorati va havo oqimini o'lchash uchun zamonaviy harorat sensorlari va termal tasvirlagich ishlatilgan.

Natijalar: kollektorning kirish va chiqish joyidagi absorber devor harorati va havo oqimi iyun oyida Farg'ona shahrida 2025-yil 3, 17, 19, 20, 21 iyun kunlarida past tezlikda (0,28 m/s) harakat qilganda tajriba yo'li bilan olingan. Olingan ma'lumotlarga asosan, issiqlik oqimi va issiqlik uzatish koefitsientini hisoblash mashhur issiqlik muhandislik formulalari yordamida amalga oshirildi.

Kalit so'zlar: quyosh quritish agregatlari, quyosh havo isitgichi, issiqlik almashinuvi, issiqlik uzatish

Исследование теплообмена в плоском солнечном воздухонагревателе при ламинарной конвекции

Ёркин С. Аббасов¹, Муяссар А. Умурзакова^{1, а}

¹⁾ DSc, проф., Ферганский государственный технический университет, Фергана, 150000, Узбекистан; erkinabbasov@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-5304-6366>

^{1a)} DSc, проф., Ферганский государственный технический университет, Фергана, 150000, Узбекистан; erkinabbasov@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-0189-1322>

Актуальность: для Республики Узбекистан весьма актуальной проблемой можно считать снижение расхода традиционных видов топлива и улучшение экологического состояния регионов путем использования солнечной энергии в системах потребителей низкотемпературной тепловой энергии. К таким пользователям тепловой энергии относятся многочисленные сушильные установки сельхозпродукции и системы воздушного отопления, в которых часто применяются различного рода электрические калориферы и нагреватели. В этой связи наиболее простым и доступным способом получения теплоты для такого типа установок можно считать применение плоского солнечного воздухонагревателя, который без дополнительных расходов может не только отапливать помещения, но и сушить различного рода продукцию непосредственно в фермерских хозяйствах. Поэтому актуальной задачей является определение экспериментальным путем возможного теплового температурного потенциала такого коллектора в условиях республики и определения его тепловых параметров.

Цель: определить степень подогрева воздуха в плоском солнечном воздухонагревателе, в летний период Республики Узбекистан; возможный температурный напор, возникающий в воздушном коллекторе и рассчитать такую важную теплотехническую характеристику как коэффициент конвективной теплоотдачи в канале коллектора.

Методы: натурные исследования на экспериментальном образце воздушного плоского коллектора. В экспериментах по измерению температуры стенок абсорбера и воздушного потока на входе и выходе солнечного воздухонагревателя, использовались современные датчики температуры и тепловизор.

Результаты: экспериментальным путем в июне месяце в г. Фергане в течении дней: 3, 17, 19, 20, 21 июня 2025 года получены значения температуры стенок абсорбера и воздушного потока на входе и выходе из коллектора при его движении с малой скоростью (0,28 м/с). На основании полученных данных по известным теплотехническим формулам проведены расчеты теплового потока и коэффициента теплоотдачи.

Ключевые слова: солнечные сушильные установки, солнечный воздухонагреватель, теплообмен, теплоотдача.

For citation: Y.S. Abbasov, M.A. Umurzakova. A study of heat transfer in a flat-panel solar air heater with laminar convection. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2026, no. 1, pp. 42-47.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19703837>

Received: 21.09.2025
Revised: 16.10.2025
Accepted: 22.02.2026
Published: 26.03.2026

Copyright: © Yorkin S. Abbasov, Muyassar A. Umurzakova, 2026. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



A study of heat transfer in a flat-panel solar air heater with laminar convection

Yorkin S. Abbasov¹, Muyassar A. Umurzakova^{1a}

¹⁾ DSc, prof., Fergana State Technical University, Fergana, 150000, Uzbekistan; erkinabbasov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5304-6366>

^{1a)} DSc, prof., Fergana State Technical University, Fergana, 150000, Uzbekistan; erkinabbasov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0189-1322>

Relevance: for the Republic of Uzbekistan, a particularly pressing issue is the reduction of traditional fuel consumption and improvement of the environmental conditions of regions through the use of solar energy in low-temperature thermal energy consumer systems. Such users of thermal energy include numerous drying installations for agricultural products and air heating systems, which often use various types of electric heaters and heaters. In this regard, the simplest and most affordable way to obtain heat for this type of installation can be considered the use of a flat solar air heater, which, without additional costs, can not only heat the premises, but also dry various types of products directly on farms. Therefore, the urgent task is to determine experimentally the possible temperature potential of such a collector in the conditions of the republic and to determine its thermal parameters.

Aim: to determine the degree of air heating during the summer period in the Republic of Uzbekistan in a flat solar air heater, the possible temperature difference arising in the air collector, and to calculate such an important thermal characteristic as the convective heat transfer coefficient in the collector duct.

Methods: during the research, an experimental prototype of a flat-plate air collector was manufactured. Modern temperature sensors and a thermal imager were used in experiments to measure the absorber wall temperature and the air flow at the inlet and outlet of the solar air heater.

Results: the absorber wall temperatures and the air flow at the inlet and outlet of the collector were experimentally obtained in June in the city of Fergana during the days of June 3, 17, 19, 20, 21, 2025 when it moved at low speed (0.28 m/s). Based on the data obtained, heat flow and heat transfer coefficient calculations were performed using well-known thermal engineering formulas.

Keywords: solar drying units, solar air heater, heat exchange, heat transfer.

1. Введение (Introduction)

Республика Узбекистан располагается в регионе с высоким уровнем солнечной радиации. Количество солнечных дней в году составляет 248–320 дней, а интенсивность солнечной радиации летом достигает 940–1000 Вт/м² в середине дня; при этом наблюдается большая продолжительность солнечного сияния в течение светового дня. В этой связи Узбекистан является особенно перспективным регионом для внедрения солнечных коллекторов. Широкое применение таких установок в системах малой теплоэнергетики позволит экономить значительные топливно-энергетические ресурсы республики.

Среди коллекторов особое место занимают плоские солнечные воздухонагреватели, которые имеют важные преимущества относительно других солнечных устройств: простота изготовления коллектора, удобство их в эксплуатации и малые затраты на прокачку воздуха.

Следует отметить, что такие солнечные воздухонагреватели являются основным элементом солнечных сушильных и воздушных отопительных систем [1-5]. Например, благодаря использованию солнечного воздухонагревателя в сушильной технике можно снизить потери вырабатываемой в республике растительной продукции, сохранить в них питательные вещества, снизить затраты энергии на их сушку и улучшить экологию.

Анализ типов солнечных сушилок [5] показал, что для сушки сельской продукции более предпочтительными являются солнечные сушилки, включающие в себя воздухонагреватель с черной абсорбирующей поверхностью, который поглощает поступающее солнечное излучение и путем конвекции передает тепло поступающему в коллектор воздуху, который нагревается до 40–60°C. Нагретый воздух может поступать в сушильную камеру самопроизвольно за счет свободной конвекции или с помощью вентилятора, впитывая влагу из высушиваемого материала и выводя её наружу, вверх. Такая сушка обеспечивает защиту продукта от порчи, а отсутствие прямого воздействия солнечных лучей на продукты улучшает их качество, оставляя их более ароматными, чем при использовании прямого солнечного излучения.

На рис.1 показано движение воздуха в солнечных воздухонагревателях, в соответствии с которым солнечные воздухонагреватели разделяются на четыре категории.

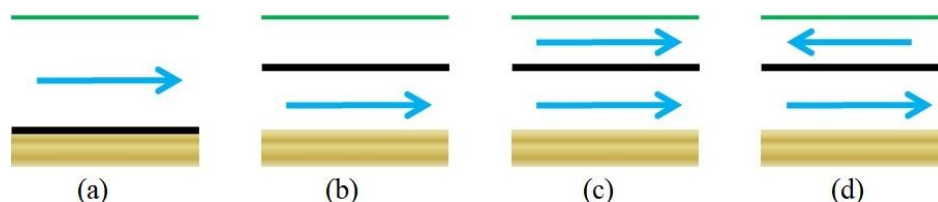


Рис.1. Направления движения воздуха в солнечном воздухонагревателе: а – движение воздуха над абсорбером; б – движение воздуха под абсорбером; в – прямоточное движение двух воздушных потоков; д – противоточное движение воздушных потоков

Fig.1 Directions of air movement in a solar air heater: a – air movement over the absorber; b – air movement under the absorber; c – direct-flow movement of two air flows; d – countercurrent movement of air flows

Анализ процессов подвода теплоты в плоском солнечном воздухонагревателе показал [6-7], что солнечное излучение, попадая на прозрачное покрытие нагревателя, формирует потенциал солнечного воздухонагревателя, который в основном определяется приведенной поглощательной способностью коллектора, который зависит от свойств пропускания лучей остеклением и поглощения абсорбера. Большое значение для солнечного воздухонагревателя играет наружная температура воздуха и тепловые потери, обусловленные ветром. Основными теплотехническими характеристиками солнечного воздухонагревателя являются количество собираемого тепла коллектором и к.п.д. гелиоустановки. Для определения количества тепла, собираемого солнечным коллектором, часто используют широко известную формулу:

$$Q = \dot{m} \cdot C_p (t'' - t') \quad (1)$$

где Q – полезная тепловая мощность, Вт, \dot{m} – массовый расход воздуха, кг/с; C_p – удельная теплоемкость воздуха, 1005 Дж/кгК; t'' , t' – температура воздуха на выходе и на входе в тепловое устройство, °С.

Другим способом определения тепловой мощности коллектора является использование формулы Хоттеля - Уиллиера – Блисса:

$$Q = A \cdot F_R \cdot [I(\tau\alpha - U_L(t' - t_a))]; \quad (2)$$

где A – площадь поверхности коллектора, м²; F_R – коэффициент отвода тепла, I – интенсивность суммарной солнечной радиации, Вт/м²; $\tau\alpha$ – приведенная поглощательная способность коллектора; U_L – общий коэффициент тепловых потерь, Вт/м² К; t_a – температура окружающего воздуха, °С.

К.п.д. гелиоколлектора можно определить по известной формуле:

$$\eta = \frac{Q}{A \cdot I} \quad (3)$$

Таким образом, для воздушного гелиоколлектора, который будет использоваться в климатических условиях Республики Узбекистан [8], целесообразно проведение экспериментальных исследований его тепловых характеристик с целью определения его потенциала.

2. Методы и материалы (Methods and materials)

Для решения данной задачи был изготовлен плоский солнечный воздухонагреватель (рис.2), размеры которого составляют: ширина коллектора – 0,5 м. протяженность коллектора – 1,5 м и высота канала – 0,07 м.



Рис. 2. Внешний вид солнечного воздухонагревателя

Fig. 2. Appearance of solar air heater



В экспериментах использовался маломощный вентилятор для создания небольшого аэродинамического напора, достаточного для создания необходимого движения воздушного потока.

В экспериментах измерялись температура воздуха на входе и выходе коллектора, температура абсорбера (контактным методом). Скорость теплоносителя была постоянной и составляла 0,28 м/с, что соответствовало числу Рейнольдса, рассчитанному по эквивалентному диаметру канала - 2613.

3. Результаты (Results)

В табл. 1-5 представлены экспериментальные данные по температурам воздуха и абсорбера в июне 2025 г. В этих же таблицах представлены расчеты температурного напора, количество конвективного тепла, полученного в нагревателе от абсорбера и коэффициента теплоотдачи от стенки абсорбера α . Температурный напор в коллекторе рассчитывался по формуле [9]:

$$\overline{\Delta t} = t_{\text{ст}} - \frac{t' + t''}{2}; \quad \text{°C.} \quad (4)$$

$$\text{Тепловой поток:} \quad Q = G \cdot C_p (t'' - t'); \quad \text{Вт.} \quad (5)$$

$$\text{Коэффициент теплоотдачи определялся по известной формуле Ньютона – Рихмана [10]:} \\ \alpha = Q / \overline{\Delta t}; \quad \text{Вт/м}^2 \text{°C.} \quad (6)$$

Таблица 1. Экспериментальные данные по температурам воздуха и абсорбера; 3.06.2025 г

Table 1. Experimental Data on Air and Absorber temperatures; June 3, 2025

Дата: 03.06.25	$t_{\text{ст}}$	t'	t''	ω	G	Q	$\overline{\Delta t}$	α
9 ⁰⁰	101,9	22	88,9	0,28	0,007	468,3	46,5	10,1
10 ⁰⁰	112,9	26,5	96,6	0,28	0,007	490,7	51,4	9,54
11 ⁰⁰	116,9	28,1	102,5	0,28	0,007	520,8	51,6	10,1
12 ⁰⁰	116,5	29,0	101,1	0,28	0,007	504,7	51,5	9,8
13 ⁰⁰	119,6	31,0	104,1	0,28	0,007	511,7	52,1	9,8
14 ⁰⁰	118	32,7	104,1	0,28	0,007	500,0	50,5	10,0

Таблица 2. Экспериментальные данные по температурам воздуха и абсорбера 17.06.2025 г.

Table 2. Experimental data on air and absorber temperatures 17.06. June 2025

Дата: 17.06.25	$t_{\text{ст}}$	t'	t''	ω	G	Q	$\overline{\Delta t}$	α
9 ⁰⁰	96,5	29	82,6	0,28	0,007	375,2	40,7	9,2
10 ⁰⁰	101,3	32	89,5	0,28	0,007	402,5	40,6	9,9
11 ⁰⁰	106,1	34	93,9	0,28	0,007	419,3	42,2	10,0
12 ⁰⁰	109,6	34	97,8	0,28	0,007	446,6	43,7	10,2
13 ⁰⁰	113,6	37	99,8	0,28	0,007	439,6	45,2	9,72
14 ⁰⁰	114,1	38	99,9	0,28	0,007	434,0	45,1	9,62

Таблица 3. Экспериментальные данные по температурам воздуха и абсорбера 19.06.2025 г.

Table 3. Experimental data on air and absorber temperatures 19.06. June 2025

Дата: 19.06.25	$t_{\text{ст}}$	t'	t''	ω	G	Q	$\overline{\Delta t}$	α
9 ⁰⁰	95,5	30	82,8	0,28	0,007	369,6	39,1	9,45
10 ⁰⁰	99,9	32	89,8	0,28	0,007	404,6	39,1	10,3
11 ⁰⁰	103,5	33	90,1	0,28	0,007	400,0	42,0	9,5
12 ⁰⁰	103,5	34	90,6	0,28	0,007	396,2	41,2	9,6
13 ⁰⁰	105,1	36	91,4	0,28	0,007	387,8	41,4	9,4
14 ⁰⁰	111,4	37	93,6	0,28	0,007	396,2	46,1	8,6

Таблица 4. Экспериментальные данные по температурам воздуха и абсорбера 20.06.2025 г.

Table 4. Experimental data on air and absorber temperatures 20.06. June 2025

Дата: 20.06.25	$t_{\text{ст}}$	t'	t''	ω	G	Q	$\overline{\Delta t}$	α
9 ⁰⁰	85,3	29	75,7	0,28	0,007	326,9	33,0	10,0
10 ⁰⁰	102,7	31	87,8	0,28	0,007	397,6	43,3	9,2
11 ⁰⁰	106,8	32	89,6	0,28	0,007	403,2	46,0	8,8
12 ⁰⁰	106,6	33	92,1	0,28	0,007	413,7	44,0	9,4
13 ⁰⁰	104,3	33	93,3	0,28	0,007	422,1	41,2	10,2
14 ⁰⁰	105,4	34	92,6	0,28	0,007	410,2	42,1	9,7



Таблица 5. Экспериментальные данные по температурам воздуха и абсорбера 21.06.2025 г.
Table 1. Experimental data on air and absorber temperatures 21.06.2025

Дата: 21.06.25	$t_{ст}$	t^i	t''	ω	G	Q	$\overline{\Delta t}$	α
9 ⁰⁰	91,3	27,0	78,7	0,28	0,007	361,9	38,5	9,4
10 ⁰⁰	105,3	28,0	91,5	0,28	0,007	444,5	45,6	9,7
11 ⁰⁰	111,8	32,0	96,6	0,28	0,007	452,2	47,5	9,5
12 ⁰⁰	111,8	32,0	98,1	0,28	0,007	462,7	52,8	8,8
13 ⁰⁰	113,5	33,0	109,8	0,28	0,007	537,6	42,1	12,8
14 ⁰⁰	115,4	34,0	111,4	0,28	0,007	541,8	42,7	12,7

4. Обсуждение (Discussion)

В данном исследовании для климатических условий Республики Узбекистан проведены экспериментальные исследования тепловых показателей плоского солнечного воздухонагревателя с целью применения такой конструкции в солнечных сушильных установках. Получено, что при ламинарной конвекции коэффициент теплоотдачи от абсорбера к воздуху составил порядка 10 Вт/м² °С, что является низким из-за отсутствия турбулентного перемешивания. Такой невысокий теплообмен может привести к неэффективности абсорбера и росту тепловых потерь в окружающую среду. Расчеты также показали, что при ламинарной конвекции наблюдается малый тепловой поток, получаемый от нагревателя. Сделан вывод о том, что слишком малые скорости воздуха не способствуют росту к.п.д. коллектора.

5. Заключение (Conclusion)

1. В целях масштабной экономии топливно-энергетических ресурсов, расходуемых в сушильных и тепловых установках малой теплоэнергетики Республики Узбекистан, применение солнечных воздушных нагревателей снижает потери выращиваемых в республике сельскохозяйственных продуктов, сохраняя в них питательные вещества, а также снижает затраты энергии на процессы сушки и улучшает экологию.

2. Наиболее предпочтительным для использования в солнечных сушильных установках можно считать плоский солнечный воздухонагреватель, практически потребляющий только солнечную энергию и требующий минимальных затрат на изготовление.

3. Экспериментальные исследования, проведенные летом в условиях Ферганского региона, показали высокую степень нагрева атмосферного воздуха в камере коллектора (достигающую 100 °С).

ЛИТЕРАТУРА

1. Санда Будеа. Solar air collectors for space heating and ventilation applications-performance and case studies under Romanian climatic conditions. // Energies ISSN: 19961073 Volume: 7 Issue: 6 Pages: 3781 – 3792. Article Open Access 2014. DOI: 10.3390/en7063781.

2. Hamid Mohammed, Clement A. Komolafe, Anthony Simons. Advances in solar drying technologies: A comprehensive review of designs, applications, and sustainability perspectives. // Solar Compass Volume 17, March 2025, 100153 <https://doi.org/10.1016/j.solcom.2025.100153>

3. А.Е. Кайрабаева, К.К. Мухамадиева, Н.К. Мустамбаев, Ж.Т. Ергалиев. Расчет теплоты гелиосушки с воздушным обогревателем модульного типа. International Journal of Humanities and Natural Sciences. Vol. 10 -2 (97) 2024 С. 101 – 103 DOI: 1024412/2500-1000-2024-10-2-101-104.

4. Varun Pratap Singh, Siddharh Jain, Ashish Karn, Ashwani Kumar. Gaurav Dwivedi, Chandar Swaroop Meena, Nitesh Dutt and Aritra Ghosh. Recent Developments and Advancements in Solar Air Heaters: A Detailed Review. //Energy Sustainability. 2022, 14(19), 12149; <https://doi.org/10.3390/su141912149>.

5. Md. Atiqur Rahman, S.M. Mozammil Hasnain, Prabhu Paramasivam, Rustem Zairov, Abinet Gosaye Ayanie. Solar Drying for Domestic and Industrial Applications: A Comprehensive Review of Innovations and Efficiency Enhancements. //Global Chelenges. 12 January 2025. <https://doi.org/10.1002/gch2.202400301>.

6. Omayma Elakrout, Ons Ghriss, Abdallah Bouabidi and Maarten Vanierschot Experimental and Numerical investigation of a novel Low – Cost Solar Air Heater with Large – Scale V – shaped Fins to Enhance Heat Transfer. // Energies 2025, 18(20), 5503; <https://doi.org/10.3390/en18205503>.

7. Ebru Kavak Akpınar, Fatih Koçyiğit. Energy and exergy analysis of a new flat-plate solar air heater having different obstacles on absorber plates. //Applied Energy. Volume 87. Issue 11, November 2010 pp. 3438 – 3450.



8. Аббасов Е.С. Роль солнечных воздухонагревателей в теплоэнергетической отрасли и перспективы их развития в Республике Узбекистан. Сентябрь 2020 г. /Общество и инновации 1(1):1-13 DOI: 10.47689/2181-1415-vol1-iss1-pp1-13
9. Бойков Л.М. Теплотехника. Термодинамика и теплопередача: учеб. пособие /Л.М. Бойков; М-во науки и высшего образования РФ, С.-Петерб. гос. ун-т пром. технологий и дизайна, Высш. шк. технологии и энергетики. -Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. -125 с.
10. Суслов В.А. Тепломассоперенос в элементах теплотехнического оборудования. Часть 2: учебное пособие / В.А. Суслов; М-во науки и высшего образования РФ, С.-Петерб. гос. ун-т пром. технологий и дизайна, Высш. шк. технологии и энергетики. — Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД, 2024. — 87 с. — ISBN 978-5-91646-411-5.

REFERENCES

1. Sanda Budea. Solar air collectors for space heating and ventilation applications — performance and case studies under Romanian climatic conditions. // *Energies*. ISSN: 1996-1073. Volume: 7 Issue: 6 Pages: 3781–3792. Article Open Access. 2014. DOI: 10.3390/en7063781.
2. Abdul-Hamid (A. H.) Mohammed, Clement A. Komolafe, Anthony Simons. Advances in solar drying technologies: A comprehensive review of designs, applications, and sustainability perspectives. // *Solar Compass*. Volume 17, March 2025, Article 100153. <https://doi.org/10.1016/j.solcom.2025.100153>.
3. A.E. Kayrabaeva (A.E. Kairabaeva), K.K. Mukhamadieva, N.K. Mustambayev, Zh.T. Yergaliev. Calculation of heat of a solar dryer with a modular-type air heater [Raschët teploty geliosushilki s vozdushnym obogrevatelëm modul'nogo tipa]. // *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. Vol. 10-2 (97) 2024. Pp. 101–103.
4. Varun Pratap Singh, Siddharth Jain, Ashish Karn, Ashwani Kumar, Gaurav Dwivedi, Chandan Swaroop Meena, Nitesh Dutt, Aritra Ghosh. Recent developments and advancements in solar air heaters: A detailed review. // *Sustainability*. 2022; 14(19): 12149. <https://doi.org/10.3390/su141912149>.
5. Md. Atiqur Rahman, S.M. Mozammil Hasnain, Prabhu Paramasivam, Rustem Zairov, Abinet Gosaye Ayanie. Solar drying for domestic and industrial applications: A comprehensive review of innovations and efficiency enhancements. // *Global Challenges*. Published 12 January 2025. <https://doi.org/10.1002/gch2.202400301>.
6. Omayma Elakrout, Ons Ghriss, Abdallah Bouabidi, Maarten Vanierschot. Experimental and numerical investigation of a novel low-cost solar air heater with large-scale V-shaped fins to enhance heat transfer. // *Energies*. 2025; 18(20): 5503. <https://doi.org/10.3390/en18205503>.
7. Ebru Kavak Akpınar, Fatih Koçyiğit. Energy and exergy analysis of a new flat-plate solar air heater having different obstacles on absorber plates. // *Applied Energy*. Volume 87, Issue 11, November 2010, pp. 3438–3450.
8. E.S. Abbasov (Y. E. Abbasov). The role of solar air heaters in the heat-power industry and prospects for their development in the Republic of Uzbekistan. // *Society and Innovations*. 2020; 1(1): 1–13. DOI: 10.47689/2181-1415-vol1-iss1-pp1-13.
9. L.M. Boikov. Heat engineering: Thermodynamics and heat transfer: Textbook (L. M. Boikov). — Saint Petersburg: Higher School of Technology and Energy (VShTE SPbGUPTD). 2022. — 125 p.
10. V.A. Suslov. Heat-and-mass transfer in elements of heat-engineering equipment. Part 2: Textbook. — Saint Petersburg: VShTE SPbGUPTD, 2024. — 87 p. ISBN: 978-5-91646-411-5.