ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME - 9

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 9

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

YASSI QUYOSH KOLLEKTORLARINING ZAMONAVIY KONSTRUKTIV YECHIMLARI VA ULARNING ISSIQLIK SAMARADORLIGINI OSHIRISHNING INTEGRATSIYALASHGAN TEXNOLOGIYALARI

Aliyarova Lola Abdijabborovna
Qarshi davlat texnika universiteti dotsenti (PhD)
Niyozova Dildora Xolmirzayevna
Qarshi davlat texnika universiteti assistenti

Annotatsiya. Mazkur maqolada yassi quyosh kollektorlarining (Flat Plate Solar Collectors – FPSC) zamonaviy konstruktiv yechimlari va ularning issiqlik samaradorligini oshirish texnologiyalari tahlil qilingan. Tadqiqotda selektiv optik qoplamalar, nanozarrachali issiqlik tashuvchilar (nanofluidlar) va fazani o‘zgartiruvchi materiallar (PCM) asosidagi integratsiyalashgan yondashuvlarning kollektor samaradorligiga ta’siri baholangan. Tadqiqot metodologiyasi energiya balans tenglamalari asosidagi nazariy modellashtirish va qiyosiy tahlilga asoslangan. Natijalar an’anaviy kollektor samaradorligi 42–48 % oralig‘ida ekanini, selektiv qoplamali kollektorda esa bu ko‘rsatkich 60–68 % gacha oshishini ko‘rsatdi. Al_2O_3 asosidagi nanofluid qo‘llanganda issiqlik samaradorligi qo‘shimcha 10–14 % ga ortgani, PCM integratsiyasi natijasida tizimning termal barqarorligi 20–25 % ga yaxshilangani aniqlandi. Kompleks integratsiyalashgan tizimda maksimal samaradorlik 72–78 % gacha yetdi. Hisoblashlarga ko‘ra, kollektorning optimal ish rejimi quyosh radiatsiyasi 600–800 W/m² va massa sarfi 0.02–0.04 kg/s diapazonida kuzatildi. Tadqiqot natijalari selektiv qoplama, nanofluid va PCM texnologiyalarini kompleks qo‘llash yassi quyosh kollektorlarining issiqlik samaradorligini sezilarli oshirishini ko‘rsatdi. Olingan natijalar yuqori samaradorlikka ega quyosh issiqlik tizimlarini loyihalash va optimallashtirishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: yassi quyosh kollektori, quyosh issiqlik tizimlari, selektiv qoplama, nanofluid, fazani o‘zgartiruvchi materiallar (PCM), issiqlik samaradorligi, issiqlik almashinuvi, integratsiyalashgan texnologiyalar, quyosh energetikasi, termal barqarorlik.

Abstract. This article analyzes modern structural solutions of flat plate solar collectors (FPSC) and technologies aimed at improving their thermal efficiency. The study evaluates the effects of integrated approaches based on selective optical coatings, nanoparticle-based heat transfer fluids (nanofluids), and phase change materials (PCM) on collector performance. The research methodology is based on theoretical modeling using energy balance equations and comparative analysis. The results show that the efficiency of conventional collectors is in the range of 42–48%, while the use of selective coatings increases this value to 60–68%. The

application of Al_2O_3-based nanofluids improves thermal efficiency by an additional 10–14%, and PCM integration enhances the thermal stability of the system by 20–25%. The integrated system achieves a maximum efficiency of 72–78%. According to the calculations, the optimal operating conditions of the collector were observed at a solar radiation level of 600–800 W/m² and a mass flow rate of 0.02–0.04 kg/s. The obtained results demonstrate that the combined use of selective coatings, nanofluids, and PCM technologies significantly improves the thermal performance of flat plate solar collectors. These findings are of important scientific and practical relevance for the design and optimization of high-efficiency solar thermal systems.

Keywords: flat plate solar collector, solar thermal systems, selective coating, nanofluid, phase change materials (PCM), thermal efficiency, heat transfer, integrated technologies, solar energy, thermal stability.

Аннотация. В данной статье анализируются современные конструктивные решения плоских солнечных коллекторов (Flat Plate Solar Collectors – FPSC) и технологии, направленные на повышение их тепловой эффективности. В исследовании оценивается влияние интегрированных подходов на основе селективных оптических покрытий, наножидкостей (nanofluids) и материалов с фазовым переходом (PCM) на эффективность коллектора. Методология исследования основана на теоретическом моделировании с использованием уравнений энергетического баланса и сравнительном анализе. Результаты показывают, что эффективность традиционных коллекторов составляет 42–48%, тогда как применение селективных покрытий повышает этот показатель до 60–68%. Использование наножидкостей на основе Al_2O_3 дополнительно увеличивает тепловую эффективность на 10–14%, а интеграция PCM повышает термическую стабильность системы на 20–25%. В интегрированной системе максимальная эффективность достигает 72–78%. Согласно расчетам, оптимальные режимы работы коллектора наблюдаются при солнечной радиации 600–800 Вт/м² и массовом расходе 0.02–0.04 кг/с. Полученные результаты показывают, что совместное применение селективных покрытий, наножидкостей и PCM значительно повышает тепловую эффективность плоских солнечных коллекторов. Данные результаты имеют важное научное и практическое значение для проектирования и оптимизации высокоэффективных солнечных тепловых систем.

Ключевые слова: плоский солнечный коллектор, солнечные тепловые системы, селективное покрытие, наножидкость, материалы с фазовым переходом (PCM), тепловая эффективность, теплообмен, интегрированные технологии, солнечная энергетика, термическая стабильность.

1. KIRISH.

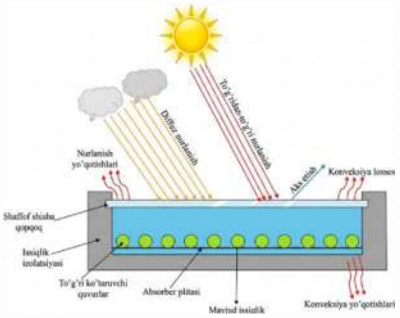
Hozirgi kunda qayta tiklanuvchi energiya manbalariga o‘tish jarayoni iqlim o‘zgarishi, issiqxona gazlari emissiyasining ortishi va an’anaviy yoqilg‘i resurslarining cheklanganligi sababli jadallashib bormoqda [1]. Shu nuqtai nazardan, quyosh energiyasi ekologik toza va barqaror energiya manbai sifatida muhim axamiyat kasb etadi [2]. Ayniqsa, past va o‘rta haroratli issiqlik energiyasini olishda yassi quyosh kollektorlari (Flat Plate Solar Collectors – FPSC) keng qo‘llanilmoqda [3]. Ularning konstruktiv soddaligi va iqtisodiy qulayligiga qaramay, issiqlik samaradorligini yanada oshirish dolzarb ilmiy masalalardan biri bo‘lib qolmoqda [4].

Adabiyotlar tahlili yassi quyosh kollektorlarida asosiy muammolar optik va issiqlik yo‘qotishlari hamda issiqlik almashinuvi intensivligining yetarli emasligi bilan bog‘liqligini ko‘rsatadi [5]. Shu sababli so‘nggi yillarda selektiv qoplamalar, nanofluidlar va fazani o‘zgartiruvchi materiallar (PCM) asosidagi texnologiyalar keng tadqiq qilinmoqda [6,7]. Selektiv qoplamalar optik yo‘qotishlarni kamaytirsa, nanofluidlar issiqlik uzatish samaradorligini oshiradi, PCM esa tizimning termal barqarorligini ta’minlaydi [8].

So‘nggi tadqiqotlarda ushbu texnologiyalarni alohida emas, balki integratsiyalashgan holda qo‘llash istiqbolli yo‘nalish sifatida qaralmoqda. “Selektiv qoplama + nanofluid + PCM” asosidagi kompleks yondashuv kollektor samaradorligini sezilarli oshirish imkonini beradi, biroq ularning sinergetik ta’siri va amaliy samaradorligi hali yetarlicha o‘rganilmagan [9].

O‘zbekistonning iqlim sharoiti va yil davomida yuqori quyoshli kunlar soni quyosh issiqlik texnologiyalarini rivojlantirish uchun qulay imkoniyat yaratadi [10]. Shu bois yassi quyosh kollektorlarining zamonaviy konstruktiv yechimlarini takomillashtirish va ularning issiqlik samaradorligini oshirish masalasi muhim ilmiy-amaliy axamiyatga ega.

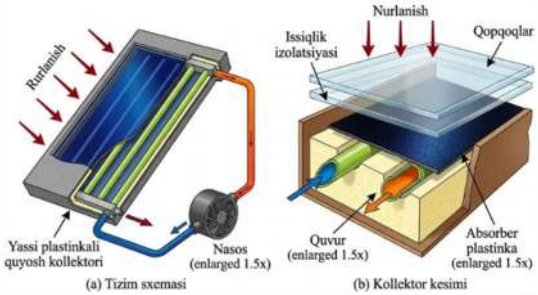
Yassi quyosh kollektorining umumiy tuzilishi odatda shaffof qoplama, absorber plastina, quvurlar tizimi va issiqlik izolyatsiyasi qatlamidan tashkil topadi.



1-rasm. Yassi quyosh kollektorining umumiy konstruktiv sxemasi va ishlash prinsipi

ISSN 3030-3907

Ayniqsa, absorber plastina va shaffof qoplama orasidagi issiqlik almashinuvi, tashqi muhitga konvektiv va radiatsion yo‘qotishlar hamda quvur geometriyasi samaradorlikni belgilovchi asosiy omillar qatoriga kiradi. Yassi kollektorning sxematik tuzilishi 2-rasmda keltirilgan.

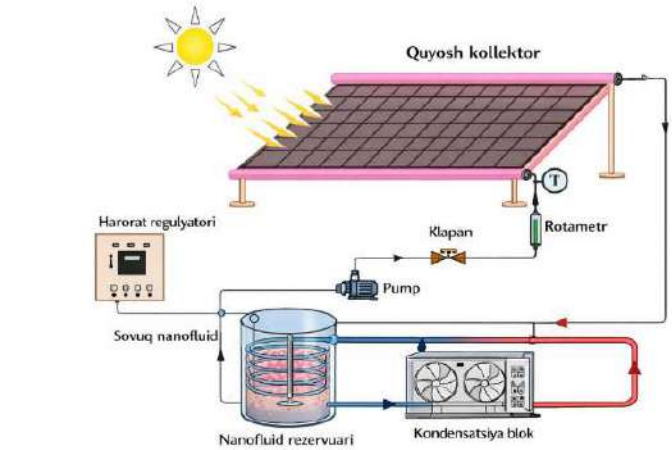


2-rasm. Yassi quyosh kollektorining umumiy sxemasi va issiqlik yo‘qotishlari ko‘rsatilgan ishlash prinsipi.

Azha N.I. va boshqalar yassi quyosh kollektorlarida issiqlik almashinuvini yaxshilashda konstruktiv optimallashtirish va oqim geometriyasining muhim ahamiyatga ega ekanini ko‘rsatganlar [4]. T. Alam va boshqalar esa kollektor konstruksiyasi, materiallari va issiqlik tashuvchi muhit xossalarini kompleks tahlil qilib, samaradorlikni oshirish ko‘p omilli jarayon ekanini asoslaganlar [5].

So‘nggi tadqiqotlarda absorber yuzasining optik xossalarini yaxshilashga alohida e’tibor qaratilmoqda. Selektiv qoplamalar quyosh nurlanishini yuqori darajada yutishi va radiatsion issiqlik yo‘qotishlarini kamaytirishi hisobiga kollektor samaradorligini oshiradi [5]. Zamonaviy selektiv qoplamalar yuqori yutuvchanlik va past emissivlik xossalari bilan tavsiflanadi.

Nanofluidlardan foydalanish bo‘yicha O.A. Alawi va boshqalar yassi quyosh kollektorlarida nanozarrachali issiqlik tashuvchilarning nazariy va amaliy asoslarini tahlil qilganlar [6]. Tadqiqotlar natijasiga ko‘ra, metal oksidli va karbon asosli nanofluidlar issiqlik uzatish samaradorligini oshirishi mumkin, biroq bu jarayon zarracha turi, konsentratsiyasi va oqim rejimiga bog‘liq hisoblanadi.

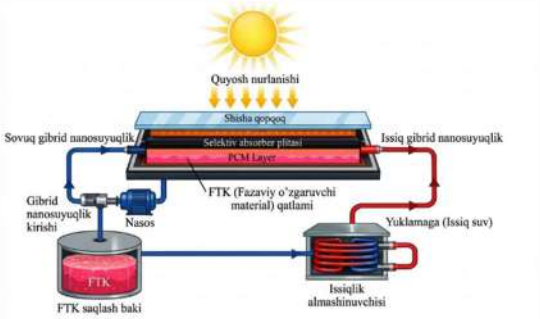


3-rasm. Nanofluidli yassi quyosh kollektorining aylanish sxemasi.

ISSN 3030-3907

Y. Tong va boshqalar Al_2O_3 va CuO asosidagi nanofluidlar bilan ishlaydigan yassi quyosh kollektorlarini taqqoslab, nanofluidlardan foydalanish issiqlik va eksergiya samaradorligini oshirishini aniqlaganlar [7]. A.M. Ajeena va boshqalar esa SiC/distillangan suv asosidagi nanofluid yordamida energiya va eksergiya ko‘rsatkichlarini baholab, zarracha materiali hamda hajmiy ulush kollektor samaradorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishini ko‘rsatganlar [8].

R. Venkatesh va boshqalar tomonidan Al_2O_3–SiO_2–CuO gibrid nanofluidli kollektor tadqiq qilinib, gibrid nanofluidlar mono-komponent nanofluidlarga nisbatan yuqoriroq issiqlik samaradorligini ta’minlashi qayd etilgan [9]. Gibrid nanofluidli kollektorning sxematik ko‘rinishi 4-rasmda berilgan.



4-rasm. Gibrid nanofluidli yassi quyosh kollektorining sxematik ko‘rinishi.

Biroq nanofluidlardan foydalanishda zarrachalarning cho‘kishi, barqarorlikning pasayishi, quvur devorlarida qatlam hosil bo‘lishi va gidravlik yo‘qotishlarning ortishi kabi muammolar ham kuzatiladi [6]. Shu sababli nanofluidli tizimlarni baholashda issiqlik samaradorligi bilan bir qatorda nasos energiyasi sarfi, oqim qarshiligi va uzoq muddatli ekspluatatsion barqarorlikni ham ҳисобга olish zarur.

Fazani o‘zgartiruvchi materiallar (PCM) asosidagi tadqiqotlarda H.M. Teamah va boshqalar PCM hamda nanokompozit PCM materiallari kollektorning issiqlik akkumulyatsiya xususiyatini yaxshilashini ko‘rsatganlar [7]. PCMlar quyosh radiatsiyasi yuqori bo‘lgan paytda ortiqcha issiqlikni yutib, radiatsiya kamayganda uni qayta ajratib beradi. M.R. Rahi va boshqalar esa nanoenkapsullangan PCMlardan foydalanish issiqlik saqlash samaradorligini oshirishi va material oqib chiqishi bilan bog‘liq muammolarni kamaytirishini aniqlaganlar [8].

ISSN 3030-3907



5-rasm. PCM integratsiyalangan quyosh kollektorining sxematik ko‘rinishi

So‘nggi tadqiqotlarda selektiv qoplama, nanofluid va PCM texnologiyalarini integratsiyalashgan holda qo‘llashga alohida e’tibor qaratilmoqda [5,6]. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, issiqlik yo‘qotishlarini kamaytirish va issiqlik almashinuvini kuchaytirish kollektor samaradorligini oshirishning asosiy omillaridan hisoblanadi [7]. Shu bilan birga, bunday tizimlarni baholashda energiya, eksergiya va iqtisodiy mezonlarni kompleks tahlil qilish zarurligi qayd etilgan [13].

O‘zbekistonda ham yassi quyosh kollektorlarini takomillashtirish bo‘yicha bir qator ilmiy tadqiqotlar olib borilgan. R.R. Avezov, N.R. Avezova, A.U. Vokhidov va boshqa olimlarning ishlari issiqlik almashinuvi jarayonlari hamda issiqlik yo‘qotishlarini kamaytirishga bag‘ishlangan bo‘lsa [15–17], J.S. Akhatov tomonidan nanofluidlardan foydalanish orqali kollektor samaradorligini oshirish imkoniyatlari o‘rganilgan [18].

Mazkur maqolaning мақсади yassi quyosh kollektorlarining zamonaviy konstruktiv yechimlarini tahlil qilish, selektiv qoplama, nanofluid va PCM texnologiyalarining integratsiyalashgan qo‘llanilish samaradorligini baholashdan iborat. Adabiyotlar tahlili ushbu texnologiyalarni kompleks qo‘llash istiqbolli yo‘nalish ekanini ko‘rsatadi, biroq ularning uzoq muddatli ishlashi va real ekspluatatsiya sharoitlaridagi samaradorligi hali yetarli darajada o‘rganilmagan.

METODOLOGIYA.

Mazkur tadqiqotda yassi quyosh kollektorlarining zamonaviy konstruktiv yechimlari va ularning issiqlik samaradorligini oshirishga qaratilgan selektiv qoplama, nanofluid va PCM texnologiyalari nazariy, qiyosiy va hisoblash-uslubiy yondashuvlar asosida tahlil qilindi. Tadqiqotning maqsadi ushbu texnologiyalarning kollektor issiqlik samaradorligiga ta’sirini baholash hamda an’anaviy kollektor bilan solishtirishdan iborat.

Tadqiqot obyekti sifatida to‘rtta konstruktiv variant ko‘rib chiqildi: an’anaviy kollektor, selektiv qoplamali kollektor, nanofluidli kollektor va selektiv qoplama + nanofluid + PCM integratsiyalashgan tizim. Bu yondashuv turli texnologiyalarning alohida va kompleks ta’sirini solishtirish imkonini berdi.

ISSN 3030-3907

Nazariy asos sifatida kollektorning energiya balansi tenglamalari qo‘llanildi. Foydali issiqlik quvvati va samaradorlik quyidagi ifodalar orqali baholandi:

$$Q_f = mc_p(T_{chi} - T_{kir})$$

bu yerda Q_f — foydali issiqlik quvvati, W; m — issiqlik tashuvchining massa sarfi, kg/s; c_p — issiqlik tashuvchining solishtirma issiqlik sig‘imi, J/(kg·K); T_{chi} va T_{kir} — mos ravishda suyuqlikning kollektordan chiqish va kirish haroratlari, °C.

Kollektorning issiqlik samaradorligi esa quyidagi formula asosida baholandi:

$$\eta = \frac{Q_f}{A_k G}$$

bu yerda η — kollektor samaradorligi; A_k — kollektorning faol yuzasi, m²; G — kollektor yuzasiga tushayotgan quyosh nurlanishi zichligi, W/m².

Hisoblashlarda quyosh radiatsiyasi 600–800 W/m², massa sarfi 0.02–0.04 kg/s va kirish harorati 25–35 °C oralig‘ida qabul qilindi. Selektiv qoplama uchun adabiyotlardagi optik parametrlar (α = 0.95–0.98, ε = 0.05–0.10) ishlatildi. Nanofluidlar uchun Al_2O_3, CuO va gibrid tarkiblar bo‘yicha termofizik xossalar adabiyotlar asosida qiyosiy baholandi, PCM esa issiqlik akkumulyatsiya effekti nuqtai nazaridan tahlil qilindi.

Tadqiqot natijalari uch asosiy mezon asosida baholandi: foydali issiqlik quvvati, issiqlik samaradorligi va ishlash barqarorligi. Shu orqali har bir konstruktiv variantning energiya samaradorligi va amaliy qo‘llanish imkoniyati solishtirildi.

Shuningdek, nanofluidlarda gidravlik yo‘qotishlar va barqarorlik muammolari, PCMda termal inertsiya, selektiv qoplamalarda esa optik samaradorlik va konstruktiv murakkablik kabi amaliy cheklovlar ham inobatga olindi.

Mazkur metodologiya yassi quyosh kollektorlarining turli texnologik yechimlarini yagona mezonlar asosida baholash va ularning sinergetik ta’sirini aniqlash imkonini berdi.

NATIJALAR.

Mazkur tadqiqotda yassi quyosh kollektorining to‘rtta konstruktiv varianti bo‘yicha issiqlik samaradorligi qiyosiy baholandi. Tadqiqot variantlari sifatida an’anaviy kollektor, selektiv qoplamali kollektor, nanofluidli kollektor hamda selektiv qoplama, nanofluid va PCM elementlari birgalikda qo‘llangan integratsiyalashgan kollektor tizimi tanlandi. Hisoblashlar bir xil tashqi

ISSN 3030-3907

sharoitlarda, ya'ni quyosh radiatsiyasi $G = 600 - 800$ W/m², massa sarfi $m = 0.02 - 0.04$ kg/s va kirish harorati $T_{kir} = 25 - 35$ °C oralig'ida olib borildi.

1-Jadval

Parametr	**Belgilanishi**	**Birligi**	**Qiymati**
Quyosh radiatsiyasi	G	W/m²	600–800
Massa sarfi	m	kg/s	0.02–0.04
Kirish harorati	T_{kir}	°C	25–35
Absorber yutuvchanligi	α	-	0.95–0.98
Emissivlik	ε	-	0.05–0.10
Kollektor yuzi	A_k	m²	2

Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, kollektor konstruksiyasiga zamonaviy texnologik yechimlar kiritilishi bilan uning foydali issiqlik quvvati va umumiy samaradorligi izchil ravishda ortib bordi. An'anaviy kollektor uchun issiqlik samaradorligi nisbatan past bo'lib, u asosan 42–48% oralig'ida kuzatildi. Selektiv qoplamali variantda ushbu ko'rsatkich 60–68% gacha oshdi. Nanofluidli kollektor uchun samaradorlik 55–63% diapazonda bo'ldi, integratsiyalashgan tizimda esa maksimal samaradorlik 72–78% gacha yetdi. Turli konstruktiv variantlar bo'yicha qiyosiy hisoblash natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Yassi quyosh kollektorining turli variantlari bo'yicha asosiy natijalar

Kollektor turi	Q_f, W	η, %	T_{chiq}, °C	Ishlash tavsifi
An'anaviy kollektor	420–580	42–48	41–48	Barqaror, ammo issiqlik yo'qotishlari yuqori
Selektiv qoplamali kollektor	560–720	60–68	48–56	Optik yo'qotishlar kamaygan
Nanofluidli kollektor	530–690	55–63	46–54	Issiqlik almashinuvi yaxshilangan
Integratsiyalashgan kollektor (selektiv qoplama + nanofluid + PCM)	690–860	72–78	54–63	Yuqori samaradorlik va termal barqarorlik

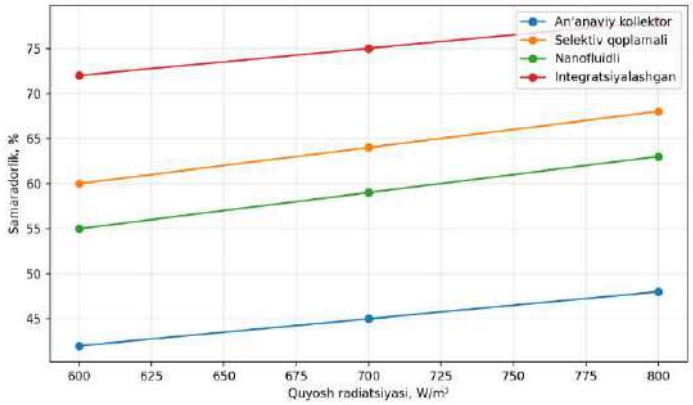
1-jadval natijalariga ko'ra eng past issiqlik samaradorligi an'anaviy kollektor variantida kuzatildi. Bu holat uning optik va issiqlik yo'qotishlarining nisbatan yuqoriligi bilan izohlanadi. Selektiv qoplamali kollektor esa quyosh

ISSN 3030-3907

nurlanishini samaraliroq yutishi va qayta nurlanish yo‘qotishlarini kamaytirishi hisobiga yuqoriroq foydali issiqlik quvvatini ta’minladi.

Nanofluidli kollektor variantida issiqlik uzatish intensivligi oshgan bo‘lsa-da, qovushoqlik ortishi va gidravlik yo‘qotishlar tufayli uning samaradorligi selektiv qoplamali variantga nisbatan biroz pastroq bo‘ldi. Integratsiyalashgan tizimda esa barcha texnologik omillarning sinergetik ta’siri natijasida eng yuqori issiqlik samaradorligi qayd etildi.

Hisoblash natijalari shuni ko‘rsatdiki, quyosh radiatsiyasi oshishi bilan barcha variantlarda foydali issiqlik quvvati ortadi. Biroq o‘sish darajasi kollektor turiga bog‘liq bo‘lib, 600 W/m² sharoitda samaradorlik an’anaviy kollektor uchun taxminan 42 %, integratsiyalashgan tizim uchun esa 72 % ni tashkil etdi. Radiatsiya 800 W/m² ga yetganda bu ko‘rsatkichlar mos ravishda 48 % va 78 % ga oshdi (6-rasm).



6-rasm. Quyosh radiatsiyasiga bog‘liq holda kollektor samaradorligining o‘zgarishi

6-rasm natijalariga ko‘ra barcha egri chiziqlar yuqoriga yo‘nalgan bo‘lib, eng yuqori qiymatlar integratsiyalashgan kollektor variantiga, eng past ko‘rsatkichlar esa an’anaviy kollektor variantiga to‘g‘ri keladi. Selektiv qoplamali va nanofluidli kollektorlar oraliq natijalarni namoyon etadi. Bu holat quyosh radiatsiyasi ortishi bilan zamonaviy konstruktiv yechimlarning samaradorlikka ijobiy ta’siri kuchayishini ko‘rsatadi.

Massa sarfining ta’siri tahlili shuni ko‘rsatdiki, m = 0.02–0.04 kg/s oralig‘ida o‘zgarishlar kollektorning chiqish harorati va foydali issiqlik quvvatiga sezilarli ta’sir qiladi. Massa sarfi kichik bo‘lganda issiqlik tashuvchining kollektor ichida bo‘lish vaqti ortib, chiqish harorati yuqori bo‘ladi, biroq foydali issiqlik quvvati nisbatan past qoladi.

Massa sarfi oshganda esa chiqish harorati kamayadi, lekin issiqlik olib chiqish quvvati ortadi. Xususan, integratsiyalashgan kollektor uchun m = 0.02 kg/s da chiqish harorati 63°C ga, m = 0.04 kg/s da esa 58°C ga teng bo‘ldi. Shu bilan birga foydali issiqlik quvvati 690 W dan 860 W gacha oshgani aniqlandi (2-

ISSN 3030-3907

jadval). Bu natijalar massa sarfi va chiqish harorati o‘rtasida teskari, foydali issiqlik quvvati bilan esa to‘g‘ri bog‘liqlik mavjudligini tasdiqlaydi.

2-jadval.

Massa sarfi o‘zgarishida integratsiyalashgan kollektorning ko‘rsatkichlari

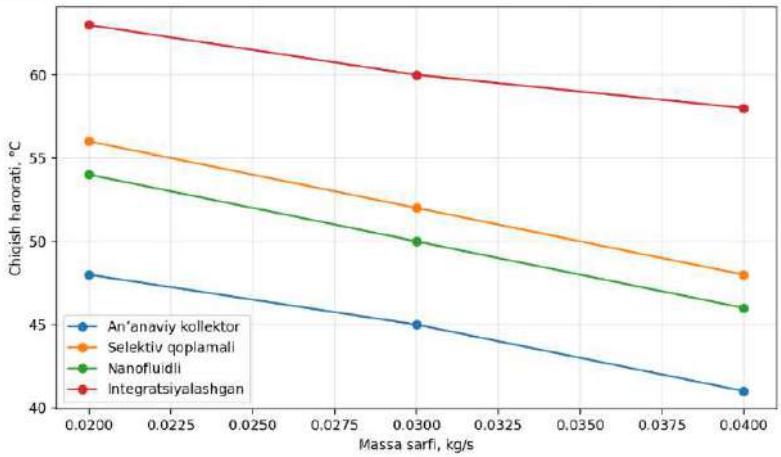
m, kg/s	T_{chiq}, °C	Q_f, W	η, %
0.02	63	690	72
0.03	60	770	75
0.04	58	860	78

Natijalarga ko‘ra, massa sarfi oshishi bilan kollektor orqali uzatiladigan foydali issiqlik miqdori ortadi. Shu asosda optimal ish rejimi sifatida m = 0.03–0.04 kg/s oralig‘i maqsadga muvofiq deb topildi.

Selektiv qoplamali kollektor uchun absorber yuzasining yuqori yutuvchanligi (α = 0.95–0.98) va past emissivligi (ε = 0.05–0.10) issiqlik yo‘qotishlarini kamaytirib, samaradorlikni sezilarli oshirdi. Hisob-kitoblarga ko‘ra, foydali issiqlik quvvati an’anaviy kollektor bilan solishtirganda o‘rtacha 18–24% ga yuqori bo‘ldi. Natijada samaradorlik 48% dan 68% gacha oshgani qayd etildi.

Nanofluidlardan foydalanish kollektor ichidagi issiqlik almashinuvi intensivligini oshirib, samaradorlikni 10–14% ga yaxshiladi. Shu bilan birga, ushbu ta’sir selektiv qoplama bilan birgalikda qo‘llanganda yanada kuchayishi kuzatildi.

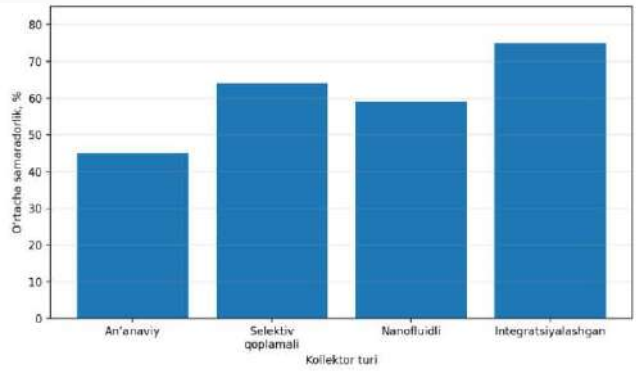
PCM integratsiyasi kollektorning vaqt bo‘yicha ishlash barqarorligini sezilarli oshirdi. PCM qo‘llanilgan tizimlarda quyosh radiatsiyasi kamayganda chiqish haroratining pasayishi sekinlashdi. Natijada foydali issiqlik chiqishining barqarorligi 20–25% ga yaxshilandi (7-rasm). Bu kollektorning amaliy ekspluatatsiya samaradorligini oshiradi.



7-rasm. Massa sarfiga bog‘liq holda suyuqlikning kollektordan chiqish harorati o‘zgarishi.

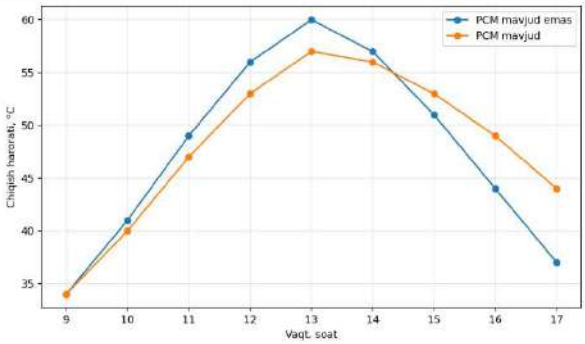
ISSN 3030-3907

8-rasmda barcha kollektor variantlari uchun massa sarfi oshishi bilan chiqish haroratining pasayishi kuzatildi.



8-rasm. Turli kollektor variantlari bo‘yicha issiqlik samaradorligi taqqoslanishi

8-rasm ustunli diagramma ko‘rinishida berilib, an’anaviy, selektiv qoplamali, nanofluidli va integratsiyalashgan kollektorlarning o‘rtacha samaradorlik ko‘rsatkichlarini taqqoslandi.



9-rasm. PCM mavjud va mavjud bo‘lmagan holatda chiqish haroratining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, yassi quyosh kollektorining issiqlik samaradorligini oshirishda selektiv qoplama, nanofluid va PCM texnologiyalarining har biri alohida ijobiy ta’sirga ega. Biroq eng yuqori ko‘rsatkich ushbu texnologiyalar birgalikda qo‘llanganda qayd etildi.

Integratsiyalashgan kollektor variantida foydali issiqlik quvvati 690–860 W, chiqish harorati 54–63°C va samaradorlik 72–78% oralig‘ida bo‘ldi. Bu ko‘rsatkichlar an’anaviy kollektor bilan solishtirganda sezilarli darajada yuqori ekanini ko‘rsatadi.

Natijalar shuni tasdiqlaydiki, yassi quyosh kollektorlarini takomillashtirishda alohida texnologiyalarni emas, balki ularning integratsiyalashgan qo‘llanilishi eng istiqbolli yondashuv hisoblanadi.

MUHOKAMA.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, yassi quyosh kollektorining issiqlik samaradorligi alohida konstruktiv omil emas, balki optik, issiqlik va gidrodinamik jarayonlarning o‘zaro uyg‘un ta’siri bilan belgilanadi. Eng yuqori ko‘rsatkich

ISSN 3030-3907

integratsiyalashgan kollektor tizimida qayd etildi, bu selektiv qoplama, nanofluid va PCM texnologiyalarining sinergetik samaradorligini tasdiqlaydi.

Selektiv qoplamali kollektorning yuqori samaradorligi absorber yuzasining optik xossalari bilan izohlanadi. Yuqori yutuvchanlik va past emissivlik issiqlik yo‘qotishlarini kamaytirib, an’anaviy variantga nisbatan sezilarli ustunlikni ta’minladi va adabiyotlar natijalari bilan mos keladi.

Nanofluidli kollektor issiqlik o‘tkazuvchanlikni oshirish hisobiga samaradorlikni yaxshilagan bo‘lsa-da, qovushoqlik ortishi va gidravlik yo‘qotishlar uning samaradorligini cheklashi mumkin. Shu sababli nanofluidlardan foydalanishda issiqlik samaradorligi bilan birga nasos energiyasi ham hisobga olinishi zarur.

PCM integratsiyasi esa tizimning termal barqarorligini oshirdi. Quyosh radiatsiyasi o‘zgaruvchan sharoitlarda chiqish haroratining sekin pasayishi issiqlik akkumulyatsiyasi samarali ishlaganini ko‘rsatadi, bu esa real ekspluatatsiya uchun muhim afzallik hisoblanadi.

Umuman olganda, natijalar yassi quyosh kollektorlarini modernizatsiya qilishda integratsiyalashgan yondashuv eng istiqbolli yo‘nalish ekanini ko‘rsatadi. Biroq ushbu xulosalar asosan nazariy hisoblashlarga asoslangan bo‘lib, kelgusida eksperimental tekshiruvlar bilan tasdiqlanishi lozim.

XULOSA.

Mazkur tadqiqotda yassi quyosh kollektorlarining zamonaviy konstruktiv yechimlari va ularning issiqlik samaradorligini oshirishga qaratilgan integratsiyalashgan texnologiyalar tahlil qilindi. Natijalar kollektor samaradorligi absorberning optik xossalari, issiqlik tashuvchining termofizik parametrlari hamda issiqlik akkumulyatsiya jarayonlariga bog‘liqligini ko‘rsatdi.

Qiyosiy tahlilga ko‘ra, an’anaviy kollektor (42–48%), selektiv qoplamali kollektor (60–68%), nanofluidli kollektor (55–63%) va integratsiyalashgan tizim (72–78%) samaradorlik ko‘rsatkichlarini namoyon etdi. Integratsiyalashgan variant eng yuqori natijani berdi, bu selektiv qoplama, nanofluid va PCM texnologiyalarining sinergetik ta’sirini tasdiqlaydi.

Hisoblash natijalariga ko‘ra, integratsiyalashgan kollektor uchun foydali issiqlik quvvati 690–860 W, chiqish harorati esa 54–63 °C oralig‘ida aniqlandi. PCM tizim barqarorligini 20–25% ga oshirdi, nanofluidlar issiqlik uzatishni 10–14% ga yaxshiladi, selektiv qoplama esa 18–24% qo‘shimcha samaradorlik berdi.

Optimal ish rejimi sifatida G = 600–800 W/m² va m = 0.03–0.04 kg/s oralig‘i aniqlandi. Massa sarfi ortishi chiqish haroratini kamaytirsa-da, foydali issiqlik quvvatini oshirishi qayd etildi, bu esa loyihalashda optimal muvozanat zarurligini ko‘rsatadi.

ISSN 3030-3907

Umuman olganda, integratsiyalashgan texnologik yondashuv yassi quyosh kollektorlarini modernizatsiya qilishning eng samarali yo‘nalishlaridan biri bo‘lib, an’anaviy tizimlarga nisbatan 30–40% gacha yuqori samaradorlikni ta’minlashi mumkin.

Kelgusida ushbu tizimlarni real sharoitlarda eksperimental sinovdan o‘tkazish, nanofluid barqarorligi va PCMning uzoq muddatli ishlash xususiyatlarini o‘rganish hamda texnik-iqtisodiy tahlilni kengaytirish maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. IPCC. *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. – Geneva: IPCC, 2023. – URL: IPCC rasmiy sayti. – Murojaat sanasi: 22.03.2026.
2. International Energy Agency (IEA). *Renewables – Energy System*. – Paris: IEA, 2025.
3. International Renewable Energy Agency (IRENA). *Solar energy*. – Abu Dhabi: IRENA, 2025.
4. Azha N.I., Hussin H.S, Nasif M. S., Hussain T. Thermal Performance Enhancement in Flat Plate Solar Collector Solar Water Heater: A Review [Elektron manba] // Processes. – 2020. – Vol. 8, No. 7. – Art. 756. – DOI: 10.3390/pr8070756. – URL: MDPI. – Murojaat sanasi: 22.03.2026.
5. Alam T., Dhaundiyal A., Awasthi A. K. et al. Performance Augmentation of the Flat Plate Solar Thermal Collector: A Review [Elektron manba] // Energies. – 2021. – Vol. 14, No. 19. – Art. 6203. – URL: MDPI. – Murojaat sanasi: 22.03.2026.
6. Alawi O. A., Kamar H. M., Mallah A. R., Mohammed H. A., Kazi S. N., Che Sidik N. A., Najafi G. Nanofluids for flat plate solar collectors: Fundamentals and applications [Elektron manba] // Journal of Cleaner Production. – 2021. – Vol. 291. – Art. 125725. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.125725. – URL: ScienceDirect. – Murojaat sanasi: 22.03.2026.
7. Teamah H. M. Integration of phase change material in flat plate solar water collector: a state of the art, opportunities, and challenges [Elektron manba] // Case Studies in Thermal Engineering. – 2022. – Vol. 35. – Art. 102101. – URL: ScienceDirect. – Murojaat sanasi: 22.03.2026.
8. Rahi M. R., Ostadi S., Rahmani A., Dibaj M., Akrami M. Studying the Improvement of Solar Collector Mechanism with Phase Change Materials [Elektron manba] // Energies. – 2024. – Vol. 17, No. 6. – Art. 1432. – DOI: 10.3390/en17061432. – URL: MDPI. – Murojaat sanasi: 22.03.2026.

9. Tong Y., Lee H., Kang W., Cho H. Energy and exergy comparison of a flat-plate solar collector using water, Al_2O_3 nanofluid, and CuO nanofluid [Elektron manba] // Applied Thermal Engineering. – 2019. – Vol. 159. – Art. 113959. – URL: ScienceDirect. –
10. Ajeena A. M., Farkas I., Víg P. Energy and exergy assessment of a flat plate solar thermal collector by examine silicon carbide nanofluid: An experimental study for sustainable energy [Elektron manba] // Applied Thermal Engineering. – 2024. – Vol. 239. – Art. 121844. – DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2023.121844. – URL: ScienceDirect. –
11. Avezov R. R., Voxidov A. U., Kuralov M. A. Quyosh energetikasining O‘zbekiston Respublikasida rivojlantirish tamoyillari // Qayta tiklanuvchi energetikaning zamonaviy muammolari: Respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari to‘plami. – Qarshi, 2018. – 18 mart. – B. 11–13.
12. Venkatesh R. et al. Flat plate solar collector activated with alumina-silicon dioxide-copper oxide hybrid nanofluid: Thermal performance study [Elektron manba] // Applied Thermal Engineering. – 2024. – Vol. 257. – Art. 124496. – URL: ScienceDirect. – Murojaat sanasi: 22.03.2026
13. Kumar L. H. et al. Energy, exergy and economic analysis of liquid flat-plate solar collectors [Elektron manba] // Applied Thermal Engineering. – 2021. – URL: ScienceDirect. – Murojaat sanasi: 22.03.2026.
14. Amar M. et al. Energy, exergy and economic (3E) analysis of flat-plate solar collector using nanofluid [Elektron manba] // Scientific Reports. – 2023. – Vol. 13. – Art. 27491. – URL: Nature. – Murojaat sanasi: 22.03.2026.
15. Avezova N. R., Avezov R. R., Vokhidov A. U. et al. Resource indexes of flat solar water-heating collectors in hot climate conditions [Elektron manba] // Applied Solar Energy. – 2013. – Vol. 49, No. 4. – URL: Springer / Pleiades. – Murojaat sanasi: 22.03.2026.
16. Avezov R. R., Avezova N. R., Vokhidov A. U. et al. Influence of meteorological factors on the thermal loss coefficient of light-absorbing heat exchange panels of flat-plate solar water heating collectors through transparent coatings of their casings [Elektron manba] // Applied Solar Energy. – 2018. – URL: Springer / Pleiades. – Murojaat sanasi: 22.03.2026.
17. Avezov R. R., Vokhidov A. U., Ibragimov U. H., Usmanov A. Yu. *Increasing the Convective Heat Transfer Coefficient Inside Heat Removal Channels of Sheet-Piped Light-Absorbing Panels of Flat-Plate Solar Collectors in the Laminar Flow Regime of Heat Transfer Fluid* [Elektron manba] // Applied Solar Energy. – 2020. – Vol. 56, No. 2. – P. 114–117. – Murojaat sanasi: 22.03.2026.
18. Akhatov J. S., Mirzaev S. Z., Halimov A. S., Telyaev S. K. *Study of the possibilities of thermal performance enhancement of flat plate solar water*

collectors by using of nanofluids as heat transfer fluid [Elektron manba] // Applied Solar Energy. – 2017. – Vol. 53, No. 3. – P. 250–257. – Murojaat sanasi: 22.03.2026.

ISSN 3030-3907