



UO'K 621.577

doi.10.70769/2181-284.ME.2(23).2026.17

AVTONOM ENERGIYA TIZIMLARIDA ISSIQLIK NASOSLARIDAN
FOYDALANISHNING ZAMONAVIY HOLATI TAHLILIIsmoilov Sherzod G'ayratovich¹ – doktorant (PhD),<https://orcid.org/0009-0009-9190-7276> e-mail: ismoilovsherzod53@gmail.comDavlonov Xayrulla Allamurotovich¹ – PhD, dotsent<https://orcid.org/0000-0001-7444-9853> e-mail: davlonov88@mail.ru

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi sh., O'zbekiston

Annotatsiya. Kirish. Ushbu maqolada avtonom energiya tizimlarida issiqlik nasoslaridan foydalanishning zamonaviy holati, ularning energiya samaradorligi va ekologik afzalliklari tahlil qilingan.

Materiallar va usullar. Tadqiqot ishida bozorda mavjud issiqlik nasoslarining turlari, ularning past potentsialli issiqlik manbalaridan foydalanish ko'rsatkichlari hamda mexanik siqilishli kompressorlarning bozordagi ulushlari qiyosiy tahlil qilingan.

Natijalar. O'tkasilgan tahlil natijalariga ko'ra kichik o'lchamdagi binolar, avtonom tizimlar uchun rotorli yoki spiralsimon kompressorlaridan foydalanish hamda ularning manbasi sifatida O'zbekiston sharoitida havo mabasini olish taklif qilingan

Xulosa. Issiqlik nasoslarini aholi zich joylashgan hududlarda hamda infratuzilma obyektlaridan uzoqda joylashgan yoki ularga ulanmagan avtonom tizimlarda qo'llash yuqori samaradorlikka ega hisoblanadi.

Kalit so'zlar: Avtonom energiya, issiqlik nasosi, COP (samaradorlik ko'effitsiyenti), past potentsialli energiya, kompressor turlari, rotorli, spiralsimon (scroll), ekologik barqarorlik.

Дата поступления: 01.04.2026. После обработки: 10.05.2025 Принято печать: 22.06.2026

For citation: Ismoilov Sh.G., Davlonov Kh.A. Analysis of the Current State of the Use of Heat Pumps in Autonomous Energy Systems. Alternative Energy. 2026. 2(23). pp. 183-188. (In Uz.)

UDC 621.577

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF THE USE OF HEAT PUMPS IN
AUTONOMOUS ENERGY SYSTEMS

Ismoilov Sherzod Gayratovich – Doctoral Student (PhD),

<https://orcid.org/0009-0009-9190-7276> e-mail: ismoilovsherzod53@gmail.com

Davlonov Khairulla Allamurotovich – Associate Professor, PhD

<https://orcid.org/0000-0001-7444-9853> e-mail: davlonov88@mail.ru

Karshi State Technical University, 180100, Karshi, Uzbekistan

Abstract. Introduction. This article analyzes the current state of the use of heat pumps in autonomous energy systems, their energy efficiency and environmental benefits.

Materials and methods. There is also a comparative analysis of the types of heat pumps available on the market, their indicators for the use of low-potential heat sources, as well as the market share of mechanical compression compressors.

Results. Based on the results of the analysis, it is proposed to use rotary or spiral compressors for small-sized buildings and autonomous systems, and to obtain air as a source in the conditions of Uzbekistan.

Conclusion. The use of heat pumps in densely populated areas and in autonomous systems located far from or not connected to infrastructure facilities can be highly efficient.



Keywords: autonomous energy, heat pump, COP (efficiency coefficient), low potential energy, compressor types, rotor, scroll, environmental stability.

УДК 621.577

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Исмоилов Шерзод Гайратович – докторант (PhD),

<https://orcid.org/0009-0009-9190-7276> e-mail: ismoilovsherzod53@gmail.com

Давлонов Хайрулла Алламуротович – PhD, доцент

<https://orcid.org/0000-0001-7444-9853> e-mail: davlonov88@mail.ru

Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

Абстрактный. Вступление. В данной статье анализируется современное состояние использования тепловых насосов в автономных энергетических системах, их энергоэффективность и экологические преимущества.

Материалы и методы. Представлены сравнительный анализ типов тепловых насосов, представленных на рынке, их показателей использования низкопотенциальных источников тепла, а также доли рынка компрессоров механического сжатия.

Результаты. Исходя из результатов анализа, предлагается использовать роторные или спиральные компрессоры для малогабаритных зданий и автономных систем, а также применение воздуха в качестве источника в условиях Узбекистана.

Вывод. Использование тепловых насосов в густонаселенных районах и в автономных системах, расположенных вдали от объектов инфраструктуры или не подключенных к ним, повышает эффективность системы.

Ключевые слова: автономная энергетика, тепловой насос, КПД, низкопотенциальная энергия, типы компрессоров, ротор, спираль, экологическая стабильность.

Kirish

Energiya inson hayoti uchun kerak bo'lgan eng muhim omillardan biri hisoblanadi. Lekin, energiya hosil qilish jarayonida an'anaviy energiya manbalaridan foydalanilishi hisobga olinsa atrof-muhitga katta miqdorda zaharli gazlar ajralib chiqadi. Bu esa so'ngi vaqtlarda kuchayib borayotgan keskin iqlim o'zgarishlariga o'zining ta'sirini o'tkazmasdan qolmaydi [1]. Aholi sonining hamda uning yashash tarzidagi bo'layotgan o'zgarishlar energiya iste'molining yanada oshishiga ta'sir qiladi. Shu bilan bir qatorda, shuni aytish joizki, energiya turlari ichida o'zining eksergetik ko'rsatkichlari hamda boshqa turdagi energiya turlariga oson aylanishi bilan elektr energiyasi alohida o'rin tutadi. Elektr energiyasi issiqlik elektr stansiyalarida ishlab chiqariladi va uni iste'molchilarga yetkazish uchun taqsimlash va uzatish tarmoqlarini talab qiladi. Amalyotdagi kuzatishlar shuni ko'rsatadiki, yoqilg'ining dastlabki energiyasining 30-40% miqdorigina iste'molchilarga uzatiladi qolgani esa ishlab chiqarish va uzatish tarmoqlarida yo'qotiladi [2]. Shuning uchun binolarni isitish va issiq suv hosil qilish uchun tabiiy gaz yoki ko'mirni to'g'ridan - to'g'ri yoqish elektr energiya isitkichlari bilan isitishga qaraganda 30- 40% samaraliroq hisoblanadi. Lekin, tabiiy gaz va ko'mir yonganda atrofda havo sifatining buzilishini kuzatish mumkin. Bu esa aholi zich yashovchi shaharlar havosining ifloslanishiga olib keladi va insonlar hayotiga havf tug'dirishi mumkin. Shuni hisobga olib, muqobil energiya manbalari asosida ishlovchi va binoning issiqlik va sovuqlik taminotini to'la qondirishi mumkin bo'lgan issiqlik nasosi texnologiyasiga bo'lgan talab so'ngi yillarda butun dunyoda katta qiziqish uyg'otmoqda.

Issiqlik nasoslari issiqlik energiyasini bir muhitdan ikkinchi muhitga ko'chirish uchun xizmat qiladi. Bunda issiqlik nasosining kompressor malum bir miqdorda elektr energiyasini iste'mol qiladi. Issiqlik nasoslarining isitish samaradorligini ko'rsatuvchi asosiy ko'rsatkichlardan biri bu uning COP (coefficient of performance) qiymati hisoblanadi. Bu ko'rsatkich birlik elektr



energiya miqdoriga qancha issiqlik energiyasi ishlab chiqarilganini ko'rsatadi. Issiqlik nasosining COP qiymati $1.15/\eta$ (η – elektr stansiya FIKi) dan katta qiymatni qabul qilsa, uni hosil qilgan issiqlik energiyasi yoqilg'ini dastlabki energiyasiga nisbatan ko'proq bo'ladi [3]. Agar $\eta \approx 0,4$ deb qabul qilsak, COP qiymati 2.875 qiymatni qabul qiladi. Tadqiqotlarda esa issiqlik nasosi COP qiymat 3 – 8 oralig'ida ekanligi ta'kidlanadi. Bu esa issiqlik nasoslari tabiiy gaz hamda ko'mirga nisbatan energetik jihatdan samaraliroq ekanligini ko'rsatadi. Albatta tabiiy gaz hamda ko'mir narxining elektr energiyasidan arzonligi ularni iqtisodiy jihatdan jozibadorligini oshiradi. Lekin, so'ngi yillarda ko'pchilik dunyo mamlakatlarida aholiga beriladigan tabiiy gaz narxining ko'tarilishi, CO₂ yig'imlarining joriy qilinishi hamda issiqlik nasoslarini xaridi uchun davlat subsidiyalarining berilishi mavjud vaziyatning issiqlik nasosi tomon ijodiy o'zgarayotganligini ko'rsatmoqda. Jumladan, Yevropa mamlakatlari hozirda tabiiy gazli isitkichlarni yuqori samaradorlikka ega issiqlik nasoslari bilan almashtirmoqda va buning natijasida 2050-yilga kelib energiyani 60% ga tejash hamda ajralib chiqayotgan CO₂ miqdorini taxminan 90% ga qisqartirish kutilmoqda [3,4]. Shuningdek, 2050-yilga kelib qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanilgan holda olinadigan dastlabki energiya ulushi 70% ga yetishi kutilmoqda. Bu ko'rsatkich 2015-yilda 15% ni tashkil qilgan [5]. Issiqlik nasolarining avtonom tizimlarni issiqlik va sovuqlik bilan ta'minlashdagi ahamiyati ham katta. Buning asosiy sababi avtonom tizimlarga odatda tabiiy gaz quvurlari keltirilmagan bo'ladi va bunday tizimlar odatda elektr energiya ta'minoti sifatida quyosh panellaridan foydalanadi. Shuning uchun bunday tizimlarda issiqlik nasoslaridan foydalanish maqsadga muvofiq hisoblanadi [6,7].

Materiallar va usullar

2.1. Issiqlik nasosining taminot tizimlari

Issiqlik nasoslari past potentsialli energiya manbalaridagi mavjud issiqlik energiyasini binoni qizdirish yoki issiq suv tayyorlash uchun ishlatadi. Issiqlik nasosi ishlatadigan past potentsialli energiya manbalariga quydagilarni kiritish mumkin (1--rasm): atmosfera havosi (1), daryo va ko'l suvlari (2), yer osti suvlari (3), yer qatlamlari (4), oqova suvlari (5) hamda quyosh kollektorlari (6). Ko'rsatilgan har bir manba o'z afzallik va kamchiliklariga ega. Havo manbali issiqlik nasoslari bular ichida eng keng tarqalgani bo'lib 2025-yilda ular umumiy issiqlik nasolari bozorining 73% qismini tashkil qilgan [4]. Buning asosiy sababi sifatida ularning ixchamligini va arzonligini ko'rsatish mumkin. Lekin, havo manbali issiqlik nasoslarining ko'rsatkichlari sovuq iqlim sharoitida pasayadi. Albatta sovuq iqlim sharoitida ham ko'p bosqichli kompressorlar yordamida nisbatan yuqoriroq natijalarga erishish mumkin bo'lsada [3] bunday qurilmalarning qimmatligi ularni qo'llashni cheklaydi.

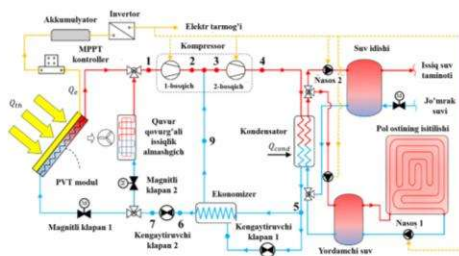


1-rasm. Past potentsialli issiqlik manbalarining turlari.

Shu sababdan yer sharining shimoliy hududlarida asosan geotermal manbali issiqlik nasolaridan foydalaniladi. Bunday manbalar turg'un haroratga ega bo'lganligi sababli ularning samaradorligi (COP qiymati) yuqori bo'lib o'tkazilgan tadqiqotlarda isitish rejimida 4,2, sovutish rejimida 4,7 qiymatga erishishi ko'rsatilgan [9]. Lekin, ularni dastlabki o'rnatish xarajatlari yuqori bo'lganligi sababli ular nisbat kamroq tarqalgan. 2025-yilda geotermal manbali issiqlik nasolari umumiy issiqlik nasoslari bozorining o'rtacha 12% ulushini tashkil qilgan [8]. Katta suv havzalariga yaqin hududlarda suv manbali issiqlik nasoslaridan foydalanish imkoniyati mavjud. Bunday turdagi issiqlik nasoslari odatda katta quvvatga ega bo'ladi va ularning 2025-yilda issiqlik nasosi bozoridagi ulushi 14% ga yaqin bo'lgan. Suv manbalari harorati, tashqi muhit haroratiga bog'liq ravishda o'zgarib turganligi sababli ularni boshqa turdagi manbalar bilan kombinatsiyalash mumkin. Issiqlik



nasosining samaradorligini oshirish uchun yuqoriroq haroratli oqova suvlardan foydalanish mumkin. Albatta bunday manbalardagi asosiy muammo bu issiqlik almashgichning tez ifloslanishi hisoblanadi. Lekin ularning harorati 25°C dan yuqori bo'lganligi sababli yuqori samaradorlikka ega hisoblanadi. Umumiy foydalanishdagi hamomlar katta miqdordagi oqova suv manbalari hisoblanadi va ularning ifloslanish darajasi past. [10] ishda Xitoy hamomlaridan birida o'tkazilgan tadqiqotlarda havo, oqova suv hamda PVT modullar kombinatsiyalashgan issiqlik taminot tizimi yaratilgan va uning eski tizimga nisbatan samaradorligi 60% oshganligi aniqlangan. Bunday natijaga erishishda oqova suvning issiqlik energiyasi, PVT modullarning issiqligi hamda to'g'ri boshqaruv tizimi yaratilganligi muhim ahamiyat kasb etgan. So'ngi o'n yilliklarda elektr energiya ishlab chiqarish jarayonida fotovoltaik panellarning qo'llanilishi ko'paymoqda. Lekin, yuqori quyosh intensivligi tasirida panellar sirti qattiq qiziydi va ularning elektr samaradorligi pasayadi. Buni oldini olish uchun PVT texnologiyasi keng qo'llanilmoqda. Bunda PVT modul issiqlik nasosining bug'latkichi vazifasini bajaradi. Lekin, bunday issiqlik manbalarining asosiy kamchiligi ular issiqlik nasosini faqat quyosh intensivligi yetarli bo'lgan davrda issiqlik energiyasi bilan taminlashi mumkin. Bunday manbalar issiqlik nasosini kechasi yoki bulutli kunlarda issiqlik energiyasi bilan ta'minlay olmaydi. Bunday tizimlar odatda havo (2-rasm) yoki geotermal manbalar bilan kombinatsiyalashtiriladi [3].



2-rasm. PVT modul hamda havo manbali issiqlik nasosi asosidagi binolarni issiq suv ta'minoti va isitish tizimi.

2.2. Issiqlik nasosining ishlash prinsipi

Issiqlik nasoslarining ishlash prinsipiga ko'ra ularni quydagi ikki katta guruhga bo'lish mumkin:

1. Kompressori mexanik siqilish asosida ishlovchi issiqlik nasoslari. Ularga: porshenli, spiralli (scroll), rotorli, vintli hamda markazdan qochma turdagi kompressorlar kiradi.
2. Issiqlik asosida harakatga keltiriluvchi issiqlik nasoslari. Ularga: absorpsion, adsorbsion va injektorli issiqlik nasoslari kiradi.

Hozirda bozorda mavjud issiqlik nasoslarining asosiy qismini ($>98\%$) mexanik siqilishli issiqlik nasoslari bo'lganligi tufayli ularni odatda shunchaki issiqlik nasosi deb nomlashadi. Bunda siqilish yo'li issiqlik nasosining quvvatiga qarab tanlanadi. Quyida ularning bozordagi ulushi, qo'llanilishi hamda afzalliklari keltirilgan (1-jadval).

Issiqlik nasoslarida issiqlikni tashuvchi asosiy element sovutkich (freon) bo'lib, u kompressor, kondensator, kengaytiruvchi klapan (kapillyar nay) hamda bug'latkich orqali o'tib yopiq tizim hosil qiladi. Isitish mavsumida bu elementlarda sodir bo'ladigan jarayonlarni qarab chiqamiz.

Kompressor bug'latkichdan kelayotgan harorati past bo'lgan freon bug'ini izoentropik jarayonda siqadi. Buning natijasida freon bug'ining bosimi va harorati ko'tariladi.

Yuqori haroratli freon bug'i kondensator orqali binoga o'z issiqligini beradi va izobarik jarayonda o'zining fazaviy holatini o'zgartiradi. Natijada, kengaytiruvchi klapan yetib kelgan freon suyuq holatda bo'ladi.

Kengaytiruvchi klapan (drossel) yuqori bosimli kondensatorni hamda bug'latkichni o'zaro ulab turadi. U odatda kapillyar nay ko'rinishida yasaladi. Suyuq freon bug'latkichka o'tganda bosimning pastligi tufayli suyuq freon qaynashni boshlaydi. Natijada, suyuqlik va uning to'yingan bug'i harorati pasayadi. Drosselda odatda izoentalpik jarayon boradi.



Bug‘latkichga kirgan past haroratli ($< -20^{\circ}\text{C}$) freon tashqi muhitdan (-10°C) issiqlik yutib qaynaydi va izobarik jarayonda bug‘ holatga o‘tadi.

1-jadval

Mexanik harakatga keltiriluvchi issiqlik nasoslarining bozordagi ulushi.

Kompressor turi	Bozordagi taxminiy ulushi (dona hisobida)	Asosiy qo‘llanilish sohasi	Afzalliklari
Rotorli	~60–70%	Maishiy konditsionerlar, kichik quvvatli (10-15 kVt gacha) “havo-havoli” va “havo-suvli” issiqlik nasoslari.	Ishlab chiqarish tannarxi juda arzon, ixcham va inverterli boshqaruvga (tezlikni silliq o‘zgartirishga) mukammal mos keladi.
Spiralsimon (Scroll)	~20–25%	Katta xonadonlar uchun mo‘ljallangan issiqlik nasoslari, geotermal tizimlar, tijorat binolari (ofis, savdo markazlari).	Harakatlanuvchi qismlari kam, past ovozda ishlaydi, uzoq xizmat qiladi va qattiq sovuqda ham yuqori yuklamaga bardosh beradi.
Porshenli	~5–7%	Eski rusumdagi maishiy modellar, sovutgich vitrinalari va yuqori haroratli maxsus sanoat issiqlik nasoslari.	Tuzilishi oddiy, ta‘mirlash oson va yuqori bosim farqlarida ham yaxshi ishlaydi.
Vintli	~1–2%	Yirik tijorat va sanoat obyektlari, zavod-fabrikalar (100 kVt dan bir necha MVt gacha bo‘lgan quvvatlar).	Juda katta yuklama ostida yillar davomida to‘xtovsiz va ishonchli ishlashga qodir.
Markazdan qochma	< 1%	O‘ta yuqori quvvatli sanoat majmualari va markazlashgan shahar issiqlik tizimlari (IES / qozonxonalar).	Juda yuqori unumdorlikka (F.I.K) ega va katta hajmdagi sovutkichlarni haydashga mo‘ljallangan.

Ko‘rsatilgan jarayon siklik tarzda amalga oshirilaveradi. Bunda kompressor ma’lum miqdorda elektr energiyasini iste’mol qiladi. Issiqlik nasosining COP qiymati, kondensatorda ajralib chiqqan issiqlik miqdorini (Q_i) istemol qilingan elektr energiyaga (A) nisbati bilan aniqlanadi.

$$COP = \frac{Q_i}{A}$$

COP qiymati juda kompressor turi, bug‘latkich va kondensator haroratlar farqi, freon turi, issiqlik almashgichlarning tuzilishi kabi kopgina omillarga bog‘liq bo‘ladi va har bir vaziyatda alohida hisob qilinadi.

Natijalar

Tadqiqot va statistik ma’lumotlar tahlili natijasida quyidagilar aniqlandi:

- Issiqlik nasoslarining bozor ulushi: Issiqlik nasoslari bozorining mutlaq qismi - 98% dan ortig‘i mexanik siqilish (mexanik harakatga keltiriluvchi) asosida ishlovchi kompressorlarga to‘g‘ri keladi.

- Kompressorlar ko‘rsatkichlari: Mexanik issiqlik nasoslari ichida rotorli kompressorlar 60-70% ulush bilan birinchi o‘rinda, spiralsimon (scroll) kompressorlar esa 20-25% ulush bilan ikkinchi o‘rinda turadi. Porshenli (~5-7%), vintli (~1-2%) va markazdan qochma (<1%) kompressorlar asosan maxsus va yirik sanoat obyektlarida qo‘llaniladi.

- Manbalar bo‘yicha taqsimot: Past potensialli issiqlik manbalari ichida havo manbali issiqlik nasoslari eng keng tarqalgan bo‘lib, 2025-yilda umumiy bozorning 73% qismini tashkil etgan. Suv manbali tizimlar 14% ni, geotermal (yer qatlamlari, yer osti suvlari) manbali tizimlar esa 12% ulushni egallagan.



- Iqtisodiy va energetik samaradorlik: Issiqlik nasoslarining COP qiymati 3–8 oralig'ida bo'lib, elektr stansiyalarining FIK ko'rsatkichlari hisobga olinganda ham, tabiiy gaz va ko'mirga nisbatan energetik jihatdan ancha samarali ekanligi ko'rsatildi. Issiqlik nasoslari tarqalishida ko'pgina davlatlar qo'llab quvvatlash mexanizimlarinijoriy qilganligi sababli global issiqlik nasoslari bozori hajmi o'sishda davom etib 2026-yilda 91.5 mlrd AQSH dollariga yetishi va har yili o'rtacha 10% ga o'sib borishi bashorat qilinmoqda.

Keltirilgan natijalar kichik binolar hamda avtonom tizimlarda rotor yoki spiral ko'rinishidagi kompressorlardan foydalanish samarali ekanligini hamda ularning manbasi sifatida havo yoki kombinatsiyalashgan tizimlardan foydalanish maqbul yechim bo'lishi mumkinligini ko'rsatadi. Boshqaruv tizimi hamda invertorli texnologiyalarning ham to'g'ri tanlanishi tizimning samaradorligini sezilarli darajada oshiradi.

Xulosa

O'tkazilgan umumiy tahlillar asosida quyidagi dastlabki xulosalarga kelindi:

- kuzatilgan havo sifati buzilishining oldini olish hamda CO₂ chiqindilarini kamaytirishda uchun eng avvallo aholi zich joylashgan hududlarda an'anaviy isitish tizimlarini issiqlik nasoslariga bosqichma-bosqich almashtirish eng samarali yechim hisoblanadi;
- tabiiy gaz tarmoqlari yetib bormagan hududlarda quyosh panellari (PV/PVT modullari) va issiqlik nasoslarining kombinatsiyalashgan tizimlarini qo'llash avtonom binolarni issiqlik va sovuqlik bilan uzluksiz ta'minlash imkonini beradi;
- hozirgi kunda ixchamligi, ishlab chiqarish tannarxi arzonligi va inverterli boshqaruvga mosligi tufayli rotorli va spiralsimon kompressorli havo manbali issiqlik nasoslari jahon bozorida yaqin yillar ichida ham o'z yetakchiligini saqlab qoladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1]. Carvalho A.D. Ground source heat pump carbon emissions and primary energy reduction potential for heating in buildings in Europe: Results of a case study in Portugal // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – Vol. 45. – P. 755–768. – DOI: 10.1016/j.rser.2015.02.034.
- [2]. Aba M.M. Comparative review of hydrogen and electricity as energy carriers for the energy transition // International Journal of Hydrogen Energy. – 2024. – Vol. 57. – P. 660–678.
- [3]. Yao J., Zheng S., et al. Performance improvement of vapor-injection heat pump system by employing PVT collector/evaporator for residential heating in cold climate region // Energy. – 2021. – Vol. 219. – Art. 119636. – DOI: 10.1016/j.energy.2020.119636.
- [4]. Global Heat Pumps Market Size & Share Analysis – Growth Trends and Forecast (2026–2031). – Available at: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/heat-pumps-market>
- [5]. Sachs J.D., Lafortune G., Fuller G. Sustainable Development Report 2024: The SDGs and the UN Summit of the Future. – Dublin: Dublin University Press, 2024. – DOI: 10.25546/108572.
- [6]. Khosravi F. Cooling is hotting up in the UK // Energy Policy. – 2023. – Vol. 174. – Art. 113456.
- [7]. Aguilar J. A multi-HVAC system autonomic management architecture for smart buildings // IEEE Access. – 2019. – DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2937639.
- [8]. Heat Pump Market Size 2025–2032: Regional Adoption Trends, Drivers, Energy Efficiency Heat Pumps & Geothermal Heat Pump Demand Growth and Competitive Landscape. – Available at: <https://www.mmrstatistics.com/reports/486411/heat-pump-market> (accessed: 2025.10.10)
- [9]. Karim A. Latest trends and new approaches in ground source heat pump systems: A comprehensive review of performance, sustainability, and future directions // Geothermics. – 2026. – Vol. 134. – Art. 103515. – DOI: 10.1016/j.geothermics.2025.103515.
- [10]. Han C. Annual performance analysis of solar-assisted raw-water source heat pumps at low water temperatures // Energy. – 2024. – Vol. 291. – Art. 130386.
- [11]. World Compressor Market: An Overview. – Available at: https://www.bsria.com/uk/news/article/world_compressor_market_an_overview/
- [12]. Uzakov G.N., Toshmamatov B.M., Khusenov A.A., Nurmanov Sh.Kh. Geothermal systems for autonomous heat supply of local facilities // Alternative Energy. – 2022. – Vol. 3, No. 3. – P. 41–46.