



UO‘K 621.311.22:536.24

[https://doi.org/10.70769/2181-2284.ME.3\(24\).2026.17](https://doi.org/10.70769/2181-2284.ME.3(24).2026.17)**ISSIQLIK ELEKTR STANSIYALARIDA ISSIQLIK TASHLAMALARINI
UTILIZATSIYA QILISH USULLARI (TUTUN GAZLARI)****Xujakulov Saydulla Mirzayevich** – texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori, professor<https://orcid.org/0000-0001-6947-6750> e-mail: saidbek1973@mail.ru**Rustamov Temir Abdurasul o‘g‘li** – магистр<https://orcid.org/0009-0002-4044-7248> e-mail: temir.rustamov@uzgtl.com**Mirzayev Shohrux Saydulla o‘g‘li** - talaba

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. Kirish. Ushbu tadqiqot issiqlik elektr stansiyalarida (IES) tutun gazlari issiqligini utilizatsiya qilishning zamonaviy usullarini tahlil qilishga bag‘ishlangan. Amalda qo‘llanilib kelinayotgan bug‘ turbinali issiqlik elektr stansiyalarini foydali ish koeffitsiyentini oshirishga qaratilgan ilmiy izlanishlarni kuchaytirish jahon energetikasi oldida turgan dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Tadqiqotning maqsadi bug‘ turbinali qurilmalarning tutun gazlari bilan issiqlik yo‘qotishlarini kamaytirish usullarini aniqlash va issiqlik sxemalarini ishlab chiqish, samaradorligini baholashdan iborat.

Usullar va materiallar: Tadqiqot jarayonida Organik Renkin Sikli (ORS), absorbsion issiqlik nasosli tizimlari (AIN/OAIN), past bosimli ekonomayzerlar (PBE), issiqlik quvurlari asosidagi issiqlik almashtirgichlar (IQIA) va termoelektrik generatorlar (TEG) asosiy texnologiyalar sifatida tahlil qilindi.

Natijalar: tadqiqot qilish asosida OAIN tizimlari tutun gazidagi mavjud va yashirin issiqlikning 80-95% gacha qismini utilizatsiyalash imkonini beradi, ORS tizimi esa 8-12% issiqlik samaradorligi bilan 220 Vt dan 15 MVt gacha quvvat ishlab chiqarishi mumkin. Absorbsion issiqlik nasosli tizimlar uchun 1,4-2,5 yillik o‘z-o‘zini qoplash muddati bilan eng yuqori iqtisodiy ko‘rsatkich qayd etildi.

Xulosa. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, issiqlik elektr stansiyasining issiqlik tashlamalarini utilizatsiyalash bo‘yicha ishlab chiqilgan tavsiyalar ilmiy tadqiqotlarni davom ettirish uchun asos bo‘lib xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: tutun gazi; issiqlikni utilizatsiyalash; organik Renkin sikli; absorbsion issiqlik nasosi; past bosimli ekonomayzer; termoelektrik generator; energiya samaradorligi; CO₂ tashlamalari.

Дата поступления: 15.06.2026. После обработки: 12.07.2026 Принято печать: 23.09.2026

For citation: Khuzhakulov S.M., Rustamov T.A., Mirzayev Sh.S. Methods for Utilization of Heat Wastes in Thermal Power Plants (Flue Gases). *Muqobil energetika*. 2026. 3(24). pp. 131-137.

УДК 621.311.22:536.24

**МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ВЫБРОСОВ НА ТЕПЛОВЫХ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ (ДЫМОВЫЕ ГАЗЫ)****Худжакулов Сайдулла Мирзаевич** – PhD, профессор,<https://orcid.org/0000-0001-6947-6750> e-mail: saidbek1973@mail.ru**Рустамов Темир Абдурасул оглы** – магистр<https://orcid.org/0009-0002-4044-7248> e-mail: temir.rustamov@uzgtl.com**Мирзаев Шохрух Сайдулла оглы** - студент

Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан



Аннотация. Введение. Данное исследование посвящено анализу современных методов утилизации тепла дымовых газов на тепловых электростанциях (ТЭС). Укрепление научных исследований, направленных на повышение полезной эффективности используемых в настоящее время паротурбинных тепловых электростанций, является одной из актуальных задач, стоящих перед мировым энергетическим сектором. Целью исследований, являются выявление методов снижения теплотерь с дымовыми газами паротурбинных электростанций, а также разработка и оценка эффективности тепловых схем.

Методы и материалы: В ходе исследования в качестве основных технологий были проанализированы органический цикл Ренкина (ОРЦ), абсорбционные теплонасосные системы (АТН/ОАТН), экономайзеры низкого давления (ЭНД), теплообменники с тепловыми трубами (ТОТТ) и термоэлектрические генераторы (ТЭГ).

Результаты: На основе проведенного исследования установлено, что системы АТН позволяют утилизировать до 80-95% доступного и скрытого тепла дымовых газов, а система ОРЦ может генерировать мощность от 220 Вт до 15 МВт с тепловым КПД 8-12%. Наивысшие экономические показатели были зафиксированы для абсорбционных тепловых насосов со сроком окупаемости 1,4–2,5 года.

Заключение. По результатам исследования разработанные рекомендации по утилизации тепловых отходов тепловых электростанций служат основой для дальнейших научных исследований.

Ключевые слова: дымовые газы; утилизация тепла; органический цикл Ренкина; абсорбционный тепловой насос; экономайзер низкого давления; термоэлектрический генератор; энергоэффективность; выбросы CO₂

UDC 621.311.22:536.24

METHODS FOR UTILIZATION OF HEAT WASTES IN THERMAL POWER PLANTS (FLUE GASES)

Khuzhakulov Saydulla Mirzayevich – PhD in Technical Sciences, Professor,
<https://orcid.org/0000-0001-6947-6750> e-mail: saidbek1973@mail.ru

Rustamov Temir Abdurasul ugli – Master,
<https://orcid.org/0009-0002-4044-7248> e-mail: Temir.Rustamov@uzgtl.com

Mirzayev Shohrukh Saydulla ugli - Student

Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. Introduction. This study is devoted to the analysis of modern methods of utilizing flue gas heat in thermal power plants (TPPs). Strengthening scientific research aimed at increasing the useful efficiency of steam turbine thermal power plants currently in use is one of the urgent issues facing the world energy sector. The purpose of the study is to identify methods for reducing heat losses with flue gases of steam turbine units and to develop and evaluate the efficiency of thermal schemes.

Usul va materiallar. During the research, the Organic Rankine Cycle (ORC), absorption heat pump systems (AHP/OAHP), low-pressure economizers (LPE), heat pipe heat exchangers (HPHE) and thermoelectric generators (TEG) were analyzed as the main technologies.

Results: Based on the research, OAHP systems allow recovering up to 80-95% of the available and latent heat in flue gases, while the ORC system can generate power from 220 W to 15 MW with a thermal efficiency of 8-12%. The highest economic performance was recorded for absorption heat pump systems with a payback period of 1.4-2.5 years.

Conclusion. According to the results of the study, the developed recommendations for the utilization of thermal power plant heat waste serve as the basis for further scientific research.

Keywords. flue gas; heat recovery; organic Rankine cycle; absorption heat pump; low-pressure economizer; thermoelectric generator; energy efficiency; CO₂ emissions



1. Kirish

Jahon energetikasi oldidagi dolzarb muammolardan biri, issiqlik energetik qurilmalar energiya samaradorligini oshirish va issiqxona gazlari chiqindilarini kamaytirish masalasi bugungi kunda katta ahamiyat kasb etmoqda. Issiqlik elektr stansiyalari (IES) elektr energiyasiga bo'lgan talabning taxminan 38-40% ini ta'minlashda, ularning issiqlik samaradorligi odatda 30-42% ni tashkil etadi, ya'ni yoqilg'i energiyasining katta qismi atrof-muhitga yo'qotiladi [1]. Ushbu yo'qotishlar ichida tutun gazlari orqali issiqlik yo'qotilishi - qozon qurilmasidagi issiqlik yo'qotishlarining eng muhim ahamiyatga ega tarkibiy qismi hisoblanib, yoqilg'i energiyasining 4-8% ini tashkil etadi [2, 7]. Qattiq yoqilg'ili qozonlarda havo qizdirgichidan keyingi tutun gazi harorati taxminan 150 °C ga yetadi [2]. Haroratning 10-15 °C kotarilishi bilan qozon samaradorligi 1% ga pasayadi va elektr stansiyadagi ko'mir sarfi 3-4 g/(kVt*s) ga oshadi. Shu sababli, tutun gazi issiqligini utilizatsiya qilish eng samarali energiya tejash va karbonatli chiqindilarini kamaytirish usullaridan biriga aylangan [3]. Mamlakatimizda 2023-yilda IESlar tomonidan jami 60,75 mlrd. kVt*soat elektr energiyasi ishlab chiqarilgan. 2030-yilga borib elektr energiyasiga bo'lgan talab 2 barobarga ortishi kutilmoqda. Bu esa mavjud IES larning samaradorligini keskin oshirish zaruriyatini keltirib chiqaradi. O'zbekiston Respublikasining amaldagi energiya samaradorligi dasturiy hujjatlari doirasida IES larda zamonaviy issiqlikni utilizatsiyalash texnologiyalarini joriy etish strategik ahamiyat kasb etadi.

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi, IESlarda tutun gazi issiqligini utilizatsiya qilishning zamonaviy texnologiyalarini tizimli tahlil qilish, ularning samaradorligi va iqtisodiy ko'rsatkichlarini baholash, hamda optimal texnologik yechimlarni tavsiya etishdan iborat [4, 5, 6].

2. Materiallar va usullar (Methods and materials)

2.1. Adabiyotlar tahlili metodologiyasi

Ushbu tadqiqotda, 2020-2025-yillar davomida Scopus va Web of Science (WoS) ma'lumotlar bazalarida indekslangan ilmiy maqolalar tizimli ko'rib chiqilgan. Jami 160 dan ortiq maqola dastlabki bosqichda aniqlandi. Empirik natijalar va texnik-iqtisodiy tahlilni o'z ichiga olgan 15 ta asosiy maqola tanlab olindi [6].

2.2. Texnologiyalarni baholash metodikasi

Har bir texnologiyani baholashda quyidagi ko'rsatkichlar qo'llanildi: (1) utilizatsiyalanadigan issiqlik quvvati (MVt); (2) issiqlik samaradorligi (%); (3) kapital xarajatlar (\$/kVt); (4) kapital xarajatlarning o'z-o'zini qoplash muddati (yil); (5) CO₂ tashlamalarini kamaytirish salohiyati. Iqtisodiy tahlillar uchun termodinamik va eksergetik tahlil usullari qo'llanildi. Hisob-kitoblarda O'zbekistondagi yirik IES lar - Sirdaryo, Toshkent, Navoiy va Talimarjon IESlarining texnik ko'rsatkichlari asos sifatida qabul qilindi.

2.3. Termodinamik hisoblash asoslari

Tutun gazining issiqlik potensialini baholash uchun energetik balans tenglamasi tuzildi:

$$Q_{tg} = m_{tg} * c_p * (T_{kir} - T_{chiq}) + m_b * r \quad (1)$$

bu yerda: Q_{tg} – tutun gazidan ajraladigan issiqlik quvvati (kVt); m_{tg} – tutun gazining massaviy sarfi (kg/s); c_p – issiqlik sig'imi (kJ/(kg*K)); T_{kir} va T_{chiq} – kirish va chiqish haroratlari (°C); m_b – bug' oqimi sarfi (kg/s); r – bug'ning solishtirma bug'lanish issiqligi (kJ/kg).

Eksergetik samaradorlik uchun:

$$\eta_{ex} = \frac{W_{f,q}}{Q_{tg} * \left(1 - \frac{T_{th}}{T_{tg}}\right)} \quad (2)$$

bu yerda: $W_{f,q}$ – foydali quvvat (kVt); T_{th} – atrof-muhit harorati (K); T_{tg} – tutun gazi harorati (K) [9].

3. Natijalar (Results)

3.1. Asosiy texnologiyalarning tavsifi

Adabiyotlar tahlili asosida tutun gazi issiqligini utilizatsiya qilishning quyidagi asosiy usullari aniqlandi (1-rasm) [1, 2, 7]:

1. Past bosimli ekonomayzerlar (PBE). Wang va boshq. [7] ning 1000 MVt quvvatli qattiq yoqilg'ili IESda o'tkazilgan tadqiqotida PBE ning yillik sof foydasi 2,6 mln. AQSH dollarini tashkil etib, kapital xarajatlar 1,5 yil ichida qoplanishi ta'kidlangan.



2. Organik Renkin Sikli (ORS). Kim va boshq. [3] laboratoriya miqyosida ORS tizimini sinab ko'rib, 140 °C li tutun gazidan 220 Vt qo'shimcha elektr quvvati ishlab chiqarishga erishdi, issiqlik samaradorligi 9,4% ni tashkil etadi.

3. Absorbtsion issiqlik nasosli tizimlar (AIN/OAIN). Zhang va boshq. [1] yangi ochiq absorbtsion issiqlik nasosi (OAIN) tizimini optimizatsiya qilib, yoqilg'i sarfini 0,5-2,2% ga kamaytirgan. Li va boshq. [2] tomonidan ishlab chiqilgan nol-energiya iste'moliga ega AIN (NEAIN) tizimi yiliga 17 218 t.sh.yo.ga ekvivalent issiqlikni tejaydi va 39451 tonna CO₂ tashlamalarni kamaytiradi.

4. Issiqlik quvuri asosidagi issiqlik almashtirgich (IQIA). Kang va boshq. [11] tadqiqotida IQIA ning issiqlik uzatish zichligi qovurg'alangan quvurli issiqlik almashtirgich (QQIA) ga nisbatan hajm birligi uchun 3,24 barobar yuqori ekanligi isbotlangan. IQIA issiqlikdan foydalanish darajasini 11,0% ga oshirishi, ta'minot suvi haroratini 6,9 °C ga ko'tarishi va qozon qurilmasining FIKni ~1,28% ga yaxshilashi aniqlandi [11].

5. Termoelektrik generatorlar (TEG). Kubenova va boshq. [15] – raqamli modellashirish asosida TEG uchun uch xil qanotlar konstruksiyasini taqqosladi. "Devordan-devorgacha" qanotlar konstruksiyasi 13 590,53 Vt issiqlikdan 161 Vt elektr quvvati ishlab chiqarishda eng samarali bo'lganligi aniqlandi.

6. Keramik membrana kondensatorlari. Liang va boshq. [13] ko'mir kuli asosidagi, g'ovak o'lchami 20 nm bo'lgan quvurli keramik membranalarini sinab ko'rgan. Membrana kondensatorlari tutun gazidan ham issiqlik, ham suv bug'ini bir vaqtning o'zida regeneratsiyalash imkonini beradi. Yang va boshq. [14] IAIN tizimida 14,18-38,9 t/soat va FIAIN tizimida 362 t/soat suv tiklanishini qayd etgan.

3.2. Texnologiyalarning qiyosiy tahlili

IESlarda hosil bo'ladigan tutun gazlarining issiqligidan samarali foydalanish bo'yicha ko'plab tadqiqotlar o'tkazilgan. Asosan bu tadqiqotlarda taklif qilingan texnologiyalarda talab qilinadigan parametrlarga – texnologik samara beradigan issiqlik quvvati, erishiladigan maksimal samaradorlik, kapital xarajatlar hamda texnologiyaning o'zini-o'zi qoplash muddatlari kabilar kiritilgan. Texnologiyalarning aksariyati, IESdagi issiqlik tashlamalaridan ikkilamchi foydalanishga qaratilgan texnologiyalar hisoblanadi.

Taklif etilgan zamonaviy texnologiyalarni bir-biriga qiyosiy tahlil qilish orqali samaradorlik ko'rsatkichlarini baholash va tanlash imkoniyatiga ega bo'lishimiz mumkin. Quyidagi 1-jadvalda tutun gazi issiqligini utilizatsiya qilishning asosiy texnologiyalari qiyosiy tahlili keltirilgan. Ko'rib chiqilgan adabiyotlar asosida to'plangan ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, OAIN va AIN tizimlari eng yuqori issiqlik samaradorligini ta'minlaydi (80-95%), eng qisqa o'zini qoplash muddatini esa to'la ochiq absorbtsion issiqlik nasosi ta'minlaydi - 1,4 yilgacha [1, 4, 5].

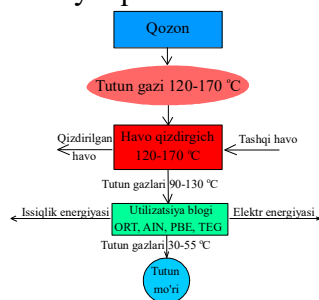
1-jadval.

IESlarida tutun gazlari issiqligini utilizatsiya qilish texnologiyalarining qiyosiy tahlili

Texnologiya turi	Issiqlik quvvati (MVt)	Samaradorlik (%)	Kapital xarajat (\$/kVt)	O'z-o'zini qoplash muddati (yil)	Manba
Past bosimli ekonomayzer (PBE)	5-25	72-85	120-180	2-4	[2, 7]
Organik Renkin Sikli (ORS)	2-15	8-12	800-1500	5-8	[3, 10]
Absorbtsion issiqlik nasosi (AIN)	10-50	80-95	200-400	1.4-3	[5, 8]
Issiqlik quvuri iss. almashtirgich (IQIA)	3-18	70-83	300-600	3-5	[11, 12]
Termoelektrik generator (TEG)	0,5-5	3-7	1000-3000	7-12	[25]
Keramik membrana kondensatori	2-8	60-75	400-700	3-6	[13]
Ochiq absorbtsion iss. nasosi (OAIN)	15-65	85-95	180-350	1,4-2,5	[1, 4]



3.3. Tutun gazi issiqligini utilizatsiya qilish sxemasi



1-rasm. IESda tutun gazi issiqligini utilizatsiya qilish sxemasi.

3.4. O'zbekiston IES larida utilizatsiya potentsiali

O'zbekistondagi yirik IES larni texnik tahlil qilish natijasida (2-jadval) ularning tutun gazi harorati 100-170 °C oralig'ida ekanligini aniqlandi. Sirdaryo IES kabi 3000 MVt quvvatli stansiyada 180-250 MVt issiqlik potentsiali utilizatsiya qilinmasdan tashlab yuboriladi. Toshkent IES da modernizatsiya loyihalari doirasida Italiya va Xitoy sheriklarining ishtiroki bilan IES quvvati 990 MVt ga oshirilishi rejalashtirilgan bo'lib, bu yangi utilizatsiya imkoniyatlarini yaratadi.

2-jadval.

O'zbekistondagi yirik IESlarning asosiy ko'rsatkichlari va tutun gazi issiqligini utilizatsiya qilish potentsiali

IES nomi	Quvvat (MVt)	Yoqilg'i	Tutun gazi, T (°C)	Utilizatsiya potentsiali (MVt)
Sirdaryo IES	3000	Tabiiy gaz	120-150	180-250
Toshkent IES	1860	Tabiiy gaz	130-155	110-160
Navoiy IES	2151	Tabiiy gaz	125-145	130-190
Talimarjon IES	3200	Tabiiy gaz	100-130	120-200
Angren IES	286	Ko'mir	140-170	20-35

3.5. ORC tizimida ishchi suyuqliklari tahlili

Organik Renkin Sikli uchun ishchi jismlarni tanlash tizim samaradorligiga bevosita ta'sir qiladigan omil hisoblanadi [3, 10]. 3-jadvalda asosiy ishchi jismlar tavsifi keltirilgan. R245fa va n-pentan qattiq yoqilg'ili IESlarda tutun gazi harorati (90-150 °C) uchun mos ish jismi hisoblanadi. Ekologik jihatdan R1234yf va R1234ze optimal variant bo'lib, ularning GIPga ta'siri minimal darajada [10].

3-jadval.

ORS tizimida qo'llaniladigan asosiy ish jismlarining issiqlik fizik va ekologik xususiyatlari

Ishchi suyuqligi	Qaynash har-ti, t (°C)	Kritik harorat, t (°C)	Ozon parchalash potentsiali	GIP (100 yil)	Manba
R245fa	15,1	154,0	0	1030	[10]
R134a	-26,4	101,1	0	1430	[3, 10]
R1234yf	-29,4	94,7	0	4	[10]
R1234ze	-19,0	109,4	0	6	[10]
n-Pentan	36,1	196,5	0	~0	[3]

4. Muhokama (Discussion)

4.1. Texnologiyalar samaradorligini taqqoslash

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, tutun gazi issiqligini utilizatsiya qilishning turli texnologiyalari har xil sharoitlar uchun turlicha afzalliklarga ega [6]. Yang va boshq. [14] tomonidan taklif etilgan FIAIN (flash-issiqlik almashtirgich-issiqlik nasosi) va IAIN (issiqlik almashtirgich-issiqlik nasosi) tizimlari tahlili shuni ko'rsatdiki, IAIN tizimi FIAIN tizimiga nisbatan 16,15-25,75 MVt ko'proq past haroratli issiqlik tashlamalarini rekuperatsiyalash, 2,37 yillik o'z o'zini qoplash muddati bilan iqtisodiy ustunlikka ega. Tizimga qozon va issiqlik almashtirgich integratsiyalashuvi eksergetik samaradorlikni 40% ga oshiradi.



Tutun gazidan issiqlik va suvni bir vaqtning o'zida utilizatsiya qilish konsepsiyasi alohida ahamiyat kasb etmoqda. 600 MVt quvvatli elektr stansiyasida 16% hajmdagi suv bug'ini o'z ichiga olgan 150 °C haroratli tutun gazini qayta ishlash orqali 4-6 MVt elektr energiyasi va 50% suv olishga erishiladi. Bu esa suv resurslarining tejami jihatidan, jumladan cho'llashgan mintaqalarda joylashgan O'zbekiston IES lari uchun, alohida ahamiyatga ega.

4.2. Iqtisodiy va ekologik samaradorlik

Li va boshq. [2] tahlilida nol energiya sarfli absorbsion issiqlik nasos (NEAIN) tizimining dastlabki investitsiya qiymati 15,21 mln. yuan yoki 26,8 mlrd so'm bo'lganda, yillik ko'mir tejilishi, taqriban 31 mlrd so'mni tashkil etadi. Yillik 67136 tonna suv rasurslarini tejash va 39451 tonna CO₂ tashlamalarini qisqartirishga erishiladi. Yang va boshq. [14] tadqiqotida OAIN tizimi orqali ko'mir sarfini 36-49% ga kamaytirishga erishilgan. O'zbekiston Sirdaryo IES kabi 3000 MVt quvvatli stansiyada bu ko'rsatkichlarni tatbiq etish yiliga 200-350 mln. AQSH dollariga teng iqtisodiy foyda keltirishi mumkin.

4.3. Mamlakatimizdagi strategik yo'nalishlar

O'zbekiston IES larining texnik ko'rsatkichlari (tabiiy gaz yoqilg'isi, 100-170 °C li tutun gazi harorati) hisobga olinib, quyidagi texnologiyalar eng istiqbolli deb topildi: (1) OAIN/AIN tizimlari – eng qisqa o'zini qoplash muddati (1,4-2,5 yil) va eng yuqori issiqlik samaradorligi (85-95%) bilan; (2) PBE - nisbatan past kapital xarajatlar (120-180 \$/kVt) va ishonchli ekspluatatsiya tajribasi bilan; (3) ORS - qo'shimcha elektr quvvati ishlab chiqarish uchun, ayniqsa 100-150 °C diapazonidagi tutun gazi uchun xos hisoblanadi.

O'zbekiston IES larida tabiiy gaz asosiy yoqilg'i bo'lganligi sababli, kislotali kondensatsiya xavfi nisbatan past bo'lib, bu holatda tutun gazi haroratini (35-45 °C gacha) pasaytirish mumkin va issiqlikning katta qismini regeneratsiyalash imkoni tug'iladi.

5. Xulosa (Conclusion)

Amalga oshirilgan tadqiqotlar va ilmiy manbalarni o'rganish natijasida quyidagi xulosalarga kelindi.

1. Absorbsion issiqlik nasosin tizimlari (OAIN, AIN, NEAIN) tutun gazi issiqligini utilizatsiya qilishning eng samarali usuli bo'lib, 80-95% issiqlik regeneratsiyasini va 1,4-2,5 yillik o'zini qoplash muddatini ta'minlaydi.

2. ORS texnologiyasi tutun gazidan qo'shimcha quvvat ishlab chiqarish uchun istiqbolli hisoblanadi, texnologiya 8-12% issiqlik samaradorligi bilan 90-150 °C oralig'idagi past haroratli tutun gazi uchun ayniqsa mos keladi.

3. O'zbekistondagi yirik IES larida (Sirdaryo, Toshkent, Navoiy, Talimarjon) utilizatsiya qilinmagan tutun gazlarining issiqlik potentsiali 120-250 MWt ni tashkil etib, zamonaviy texnologiyalarni joriy etish yiliga sezilarli energiya va iqtisodiy foyda keltirishi mumkin.

4. Tutun gazidan issiqlik tashlamalari va suvni rekuperatsiyalash (ITSR) tizimlari O'zbekistondek cho'llashgan mintaqada suv tejamkorligini ta'minlash nuqtai nazaridan alohida ahamiyatga ega.

5. Kelajakda tadqiqotlar issiqlikni rekuperatsiyalash, sun'iy intellekt asosidagi boshqaruv tizimlari va muqobil energiya manbalari bilan integratsiyalash yo'nalishlarida olib borilishi maqsadga muvofiq.

Tadqiqot natijalariga ko'ra, issiqlik elektr stansiyasining issiqlik tashlamalarini utilizatsiyalash bo'yicha ishlab chiqilgan tavsiyalar ilmiy tadqiqotlarni davom ettirish uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar

- [1]. Zhang H., Dong Y., Lai Y., Zhang H., Zhang X. Waste heat recovery from coal-fired boiler flue gas: Performance optimization of a new open absorption heat pump. //Applied Thermal Engineering. - 2021. - Vol. 183. - P. 116111.
- [2]. Li Z., Xue S., Hu D., Teng D., Zhang S., Shen G. Performance Analysis of an Absorption Heat Pump System for Waste Heat and Moisture Cascade Recovery from Flue Gas. // ACS Omega. - 2022. - Vol. 7. - P. 24596-24605. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c02407>



- [3]. Kim Y.-M., Negash A., Shamsi S.S.M., Shin D.-G., Cho G. Experimental Study of a Lab-Scale Organic Rankine Cycle System for Heat and Water Recovery from Flue Gas in Thermal Power Plants. //Energies (MDPI). - 2021. - Vol. 14, No. 14. - P. 4328. <https://doi.org/10.3390/en14144328>
- [4]. Wang X., Zhuo J., Liu J., Li S. Thermo-economic analyses of the waste heat and water recovery system from flue gas by heat pump integrated with different heat utilization ways in coal-fired power plant. //Energy. - 2020. - Vol. 197. - P. 117253. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117253>
- [5]. Teng D., Chen O., Lu G., Bi D., Zhang Q., Li L. Research on Thermodynamic Characteristics of the Saturated Flue Gas Waste Heat Recovery to Reduce Turbine Extraction Steam. //ACS Omega. - 2023. - Vol. 8, No. 49. - P. 47183-47196. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c07437>
- [6]. Nyakuma B.B. Recovery and utilisation of waste heat from flue/exhaust gases: a bibliometric analysis (2010-2022). // Energy Reports. - 2023. - Vol. 9. - P. 5058-5070. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.04.032>
- [7]. Yang H., Li D., Li K., Wu W., Ren J. Design on a novel waste heat recovery system integrated with the bypass flue and outside primary air preheater for bitumite-fired power plants. // Energy. - 2024. - Vol. 289. - P. 129955. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.001129>
- [8]. Song J., Zhang H., Zhang Y., Ma Z., He M. Research progress on industrial waste heat recycling and seasonal energy storage. // AIMS Energy. - 2025. - Vol. 13, No. 1. - P. 147-187. <https://doi.org/10.3934/energy.2025006>
- [9]. Men Y., Liu X., Zhang T. A review of boiler waste heat recovery technologies in the medium-low temperature range. // Energy. - 2021. - Vol. 237. - P. 121560. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121560>
- [10]. Tan Z., Feng X., Wang Y. Performance comparison of different heat pumps in low-temperature waste heat recovery. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. - 2021. - Vol. 152. - P. 111634. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111634>
- [11]. Kang S., Kim K., Seo J.H., Lee J. Effective Waste Heat Recovery of Boiler Flue Gas Using a Heat Pipe Heat Exchanger: A Performance Comparison With Finned-Tube Economizer. // International Journal of Energy Research. - 2025. - Vol. 2025. - Article 8781810. <https://doi.org/10.1155/er/8781810>
- [12]. Chen O., Lu G., Bi D., Li L. Performance Analysis of a Compound Absorption Heat Pump System for Waste Heat and Moisture Recovery from Flue Gas. // ACS Omega. - 2025. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c06350>
- [13]. Liang D., Huang J., Zhang Y., Zhang Z., Chen H., Zhang H. Influence of dextrin content and sintering temperature on the properties of coal fly ash-based tubular ceramic membrane for flue gas moisture recovery. // Journal of the European Ceramic Society. - 2021. - Vol. 41. - P. 5696-5710. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2021.04.055>
- [14]. Yang B., Yuan W., Hou J., Zheng T. Flash-heat pump-heat exchanger (FHH) and heat exchanger-heat pump (HH) systems for flue gas heat recovery in coal-fired power plants. // Energy. - 2024. - Vol. 289. - P. 130011. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.130011>
- [15]. Kubenova M., Kuterbekov K., Bekmyrza K., Kabyshev A., Kabdrakhimova G., Atamurotov F., Ibrahim W. Exhaust waste heat recovery system using thermoelectric generator: a prospective of novel simulation technique toward low-carbon technology. //International Journal of Low-Carbon Technologies. - 2025. - Vol. 20. - P. ctac249. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctac249>