

Date: 3rd October-2026

ISSIQLIK TASHLAMALARINING ENERGETIK VA EKSERGETIK
XUSUSIYATLARINI TADQIQ QILISH

Xujakulov Saydulla Mirzayevich

To'raqulov Samandar Sami o'g'li

Qarshi davlat texnika universiteti, "Uzbekistan GTL" MChJ



Issiqlik energetik obyektlarida hosil bo'ladigan issiqlik tashlamalarining miqdoriy va sifat xususiyatlarini aniq baholash ulardan ikkilamchi energetik resurs sifatida samarali foydalanishning asosiy shartlaridan biri hisoblanadi. Issiqlik tashlamasining faqat miqdori – ya'ni unda mavjud issiqlik energiyasi – uning amaliy qiymatini to'liq ifodalamaydi. Bir xil miqdordagi issiqlik turli harorat darajasida mavjud bo'lsa, uning ish bajarish, elektr energiyasi ishlab chiqarish yoki texnologik jarayonda foydalanish imkoniyati keskin farq qilishi mumkin.

Shu nuqtai nazardan issiqlik tashlamalarini baholashda termodinamik qonuniyatlarga asoslangan energetik va eksergetik yondashuvlardan teng holatda foydalanish maqsadga muvofiq. Energetik tahlil issiqlik oqimining miqdorini aniqlasa, eksergetik tahlil mazkur energiyaning atrof-muhit parametrlariga nisbatan qancha qismi foydali ishga aylantirilishi mumkinligini belgilaydi.

So'nggi tadqiqotlarda issiqlik tashlamalarining potensialini baholashda manba harorati bilan bir qatorda iste'molchining harorat ehtiyoji, issiqlik oqimining uzluksizligi, quvvati va texnologik mosligi ham hisobga olinishi lozimligi ta'kidlanmoqda. J. Oh va boshq. tomonidan chop qilingan kompleks sharhlarda issiqlik potensialini talabga bog'liq holda baholash va issiqlik manbasi bilan iste'molchini muvofiqlashtirishga asoslangan yondashuvlar taklif etilgan [1].

Issiqlik tashlamasining energetik potentsiali, avvalo, uning massaviy sarfi, solishtirma issiqlik sig'imi va harorat darajasi bilan belgilanadi. Bir fazali oqim uchun atrof-muhitning shartli tayanch harorati T_0 ga nisbatan mavjud issiqlik miqdori quyidagicha aniqlanishi mumkin:

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p(T - T_0). \quad (1)$$

Agar issiqlik tashlamasining kirish va chiqish holatlari ma'lum bo'lsa, amalda foydalaniladigan issiqlik miqdori:

$$\dot{Q}_{rec} = \dot{m}c_p(T_{in} - T_{out}) \quad (2)$$

ko'rinishida aniqlanadi.

Bu tenglama issiqlik tashlamasidan issiqlik almashtirgich orqali qancha issiqlik olish mumkinligini baholashda qo'llaniladi. Biroq $\dot{Q}_{rec}$ ning katta bo'lishi har doim ham ushbu oqimning yuqori texnologik qiymatga ega ekanligini anglatmaydi. Masalan, katta massaviy sarfga ega 40–60 °C li suv oqimi katta issiqlik miqdorini tashishi mumkin, ammo uni to'g'ridan-to'g'ri yuqori haroratli texnologik jarayonda ishlatish imkoniyati cheklangan bo'ladi.

Shu sababli issiqlik tashlamasining energetik xususiyatini ikki asosiy ko'rsatkich bilan tavsiflash maqsadga muvofiq:

Date: 3rd October-2026

$$E_Q = \dot{m}c_p\Delta T \quad (3)$$

– issiqlikning miqdoriy potentsiali;

$$q_Q = c_p\Delta T \quad (4)$$

– oqimning solishtirma issiqlik potentsiali.

Bu ko'rsatkichlar issiqlik tashlamalarini manbalar bo'yicha dastlabki saralash imkonini beradi.

Energiyaning miqdori uning sifatini to'liq belgilamaydi. Issiqlik energiyasining foydali ishga aylanish qobiliyati haroratning atrof-muhit haroratiga nisbatan qanchalik yuqori ekanligi bilan belgilanadi. Shuning uchun issiqlik tashlamalarining haqiqiy energetik qiymatini aniqlashda eksergiya tushunchasi muhim ahamiyatga ega.

Bir fazali, kinetik va potentsial energiya o'zgarishlari e'tiborga olinmaydigan oqim uchun fizik eksergiyaning soddalashtirilgan ifodasi:

$$\dot{E}x_{ph} = \dot{m}c_p \left[(T - T_0) - T_0 \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) \right]. \quad (5)$$

Bu yerda $\dot{E}x_{ph}$ – issiqlik tashlamasining fizik eksergiya oqimi, kVt.

Ushbu ifodadan ko'rinib turibdiki, harorat T ning T_0 ga yaqinlashishi bilan eksergiya miqdori tez kamayadi. Demak, past haroratli issiqlik tashlamasi katta energetik resursga ega bo'lishi mumkin, ammo uning eksergetik salohiyati nisbatan kichik bo'ladi.

Issiqlik manbasining samaradorlik ko'rsatkichi (Karno sikli):

$$\varphi_c = 1 - \frac{T_0}{T} \quad (6)$$

ko'rinishida ifodalanib, issiqlikning maksimal nazariy ishga aylanish chegarasini baholash imkonini beradi.

Shunga ko'ra:

$$\dot{E}x_Q \approx \dot{Q} \left(1 - \frac{T_0}{T} \right). \quad (7)$$

Mazkur ifoda issiqlik tashlamalarini «energiya miqdori» va «energiya sifati» bo'yicha bir vaqtda baholash uchun qulay hisoblanadi.

Masalan, atrof-muhit harorati $T_0 = 25^\circ\text{C}$ deb qabul qilinganda, 100°C haroratli suv oqimining nazariy Karno sikli taxminan 0,20 ni, 400°C haroratli gaz oqiminiki esa taxminan 0,56 ni tashkil etadi. Demak, yuqori haroratli oqimning har bir kilovati past haroratli oqimning har bir kilovatiga nisbatan yuqoriroq ish bajarish qobiliyatiga ega.

Shu bilan birga, real qurilmalarda eksergiyaning to'liq o'zlashtirilishi mumkin emas. Issiqlik almashtirishdagi harorat farqi, gidravlik qarshiliklar, bosim yo'qotishlari, issiqlikning atrof-muhitga tarqalishi va texnologik moslikning yetarli emasligi eksergiya destruksiyasiga olib keladi.

Issiqlik tashlamalarini baholashda energetik va eksergetik potentsiallarni alohida ko'rib chiqish yetarli emas. Ular o'rtasidagi nisbat manbaning energetik sifatini tavsiflaydi:

$$\eta_{ex,Q} = \frac{\dot{E}x_Q}{\dot{Q}}. \quad (8)$$

Soddalashtirilgan holda:



Date: 3rd October-2026

$$\eta_{ex,Q} \approx 1 - \frac{T_0}{T}. \quad (9)$$

Ushbu ko'rsatkichni shartli ravishda issiqlik tashlamasining termodinamik sifat koeffitsiyenti sifatida qabul qilish mumkin.

Shunda issiqlik tashlamalarini baholashda quyidagi uchta ko'rsatkichni birgalikda qo'llash maqsadga muvofiq:

1. issiqlik oqimi $\dot{Q}$ – resursning miqdoriy imkoniyatini;
2. eksergiya oqimi $\dot{E}x$ – resursning sifat va ish bajarish imkoniyatini;
3. eksergetik sifat koeffitsiyenti $\eta_{ex,Q}$ – issiqlik energiyasining ishga aylanish qobiliyatini ifodalaydi.

Bunday yondashuv issiqlik tashlamalarini faqat «kVt» yoki «GJ/soat» ko'rinishida baholashdan ko'ra, ulardan qaysi texnologik maqsadda foydalanish maqsadga muvofiqligini aniqroq belgilash imkonini beradi.

Issiqlik tashlamalarining potensialini belgilash mezonlari. Issiqlik tashlamasining amaliy potentsiali faqat uning harorati bilan belgilanmaydi. Uning umumiy energetik qiymatini quyidagi parametrlar majmuasi bilan ifodalash mumkin:

$$\Pi_{WH} = f(T, \dot{m}, p, Q, Ex, \tau, C, \Delta T_{use}), \quad (10)$$

bu yerda: T – manba harorati; $\dot{m}$ – massaviy sarf; p – bosim; Q – issiqlik oqimi; Ex – eksergiya oqimi; τ – ishlash davomiyligi; C – kimyoviy tarkib va ifloslanish xususiyatlari; ΔT_{use} – manba va iste'molchi o'rtasidagi zarur harorat farqi.

Ayniqsa, issiqlik tashlamasining harorat darajasi va iste'molchining talab harorati o'rtasidagi nisbat muhim ahamiyatga ega. Agar manba harorati iste'molchi talab qiladigan haroratdan yetarlicha yuqori bo'lsa, issiqlikdan to'g'ridan-to'g'ri foydalanish mumkin. Aks holda issiqlik nasoslari, termokimyoviy transformatorlar yoki boshqa issiqlikni «yuqori darajaga ko'tarish» texnologiyalaridan foydalanish talab etiladi.

H.R. Rahbari va boshqalarning tadqiqotlarda sanoat issiqlik tashlamalarini bevosita texnologik jarayonga uzatish har doim ham mumkin emasligi va bunday holatlarda issiqlik darajasini oshiruvchi texnologiyalar, masalan issiqlik nasoslari, issiqlik quvurlari kabilarga ehtiyoj tug'ilishi ko'rsatilgan [2].

Past potentsialli issiqlik tashlamalari nisbatan past haroratga ega bo'lib, ularning atrof-muhitga nisbatan eksergetik qiymati ham kichik bo'ladi. Bunday oqimlarga, odatda, kondensatorning texnik sovitish suvi, issiq kondensat, kompressor va yordamchi qurilmalardan chiqadigan sovitish suvi, past haroratli tutun gazlari, texnologik oqova suvlar hamda boshqa past haroratli oqimlar kiradi.

Adabiyotlarda past potentsialli issiqlik uchun turli chegaralar qabul qilingan. Ayrim tadqiqotlarda $T < 100^\circ C$ past haroratli daraja sifatida qabul qilinsa, boshqa ishlar past darajani $T < 120^\circ C$ yoki hatto $T < 230^\circ C$ gacha kengaytirib talqin qiladi. Bu farq turli sanoat jarayonlarining texnologik talablari bilan bog'liq [3].

Shuning uchun tadqiqotlarimizda past potentsialli issiqlik tashlamasi deganda, birinchi navbatda, harorati taxminan $T < 100^\circ C$ bo'lgan va uni to'g'ridan-to'g'ri yuqori haroratli texnologik jarayonlarda qo'llash imkoniyati cheklangan oqimlarni qabul qilish maqsadga muvofiq.



Date: 3rd October-2026

Past potentsialli issiqlik tashlamalarining asosiy xususiyati – ularning miqdori katta bo‘lishiga qaramasdan, eksergetik sifati pastligidir. Shu sababli ulardan foydalanishda issiqlikni bevosita uzatishdan tashqari quyidagi texnologiyalar muhim ahamiyat kasb etadi:

- issiqlik nasoslari;
- issiqlik akkumulyatsiyasi;
- past haroratli issiqlik tarmoqlari;
- organik Renkin sikli;
- absorbsion va adsorbsion sovitish;
- issiqlikni kaskad usulda qayta ishlatish tizimlari.

G. Liu va boshqalarning ilmiy sharhlarida past darajali issiqlikni o‘zlashtirish uchun issiqlik nasoslari, energiyani akkumulyatsiyalash, past haroratli sikllar va boshqa texnologiyalarning rivojlanayotgani qayd etilgan [4].

Past potentsialli issiqlikni foydalanishda ayniqsa issiqlik nasosi muhim o‘rin tutadi. Unda past haroratli manbadan olingan issiqlik kompressor yoki boshqa tashqi energiya manbai hisobiga yuqoriroq harorat darajasiga ko‘tariladi:

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_L + \dot{W}_{HP}, \quad (11)$$

bu yerda $\dot{Q}_L$ – past potentsialli manbadan olingan issiqlik, $\dot{W}_{HP}$ – issiqlik nasosiga sarflangan ish, $\dot{Q}_H$ – yuqori haroratda iste’molchiga berilgan issiqlik.

Shu sababli past potentsialli issiqlik tashlamalarini «foydasiz» resurs deb baholash ilmiy jihatdan noto‘g‘ri. Ularning qiymati manba va iste’molchi o‘rtasidagi harorat farqi hamda issiqlik nasosining energetik samaradorligi bilan belgilanadi.

O‘rtacha potentsialli issiqlik tashlamalari past darajali oqimlarga nisbatan yuqori harorat va eksergetik sifatga ega bo‘lib, ulardan to‘g‘ridan-to‘g‘ri yoki minimal qo‘shimcha o‘zgartirishlar orqali foydalanish imkoniyatlari kengroq.

Amaliyotda bunday oqimlarga taxminan 100–400 °C diapazonidagi issiqlik manbalari kiritilishi mumkin. Biroq bu chegara ham shartli hisoblanadi. Ayrim sanoat tasniflarida 120–230°C past, 230–650°C o‘rta va 650°C dan yuqori haroratlar yuqori daraja sifatida qabul qilinadi [3].

Yuqori potentsialli issiqlik tashlamalari yuqori haroratga va yuqori eksergetik sifatga ega bo‘lib, ulardan mexanik ish yoki elektr energiyasi olish, yuqori haroratli texnologik jarayonlarni ta’minlash va boshqa energetik maqsadlarda foydalanish imkoniyati katta.

Texnologik tasnif nuqtai nazaridan yuqori potentsialli oqimlar uchun $T > 400^\circ\text{C}$ yoki ayrim tasniflarda $T > 650^\circ\text{C}$ chegaralari qo‘llanadi [3].

Issiqlik energetikasi obyektlarida yuqori potentsialli tashlamalarga:

- gaz turbinasining yuqori haroratli chiqish gazlari;
- yoqilg‘i yonish mahsulotlari;
- yuqori haroratli texnologik gazlar;
- yuqori haroratli bug‘ va bug‘-gaz aralashmalari;
- yuqori haroratli metallurgik va texnologik jarayonlardan chiqadigan gazlar kirishi

mumkin.

Bunday manbalarda issiqlik energiyasining eksergetik qismi yuqori bo‘lgani uchun ulardan foydalanishda past haroratli iste’molchini tanlash har doim ham ratsional



Date: 3rd October-2026

hisoblanmaydi. Masalan, 500–700°C haroratli gaz oqimini faqat issiq suv tayyorlash uchun ishlatish yuqori sifatli energiyaning past sifatli energiyaga aylantirilishiga va yo‘qotishlarning ortib ketishiga olib kelishi mumkin.

ADABIYOTLAR:

1. Jinwoo Oh, Ukmin Han, Yujun Jung, [Yong Tae Kang](#), [Hoseong Lee](#). Advancing waste heat potential assessment for net-zero emissions: A review of demand-based thermal energy systems. [Renewable and Sustainable Energy Reviews](#). [Volume 202](#), September 2024, 114693. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114693>.
2. [Hamid Reza Rahbari](#), [Brian Elmegaard](#), [Evangelos Bellos](#), [Christos Tzivanidis](#), [Ahmad Arabkoohsar](#). Thermochemical technologies for industrial waste heat recovery: A comprehensive review. [Renewable and Sustainable Energy Reviews](#). [Volume 215](#), June 2025, 115598. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115598>
3. Zixiang Su, Mingliang Zhang, Peihang Xu, Zhongkai Zhao, Zhiping Wang, [Haozhong Huang](#), [Tiancheng Ouyang](#). Opportunities and strategies for multigrade waste heat utilization in various industries: A recent review. [Energy Conversion and Management](#). [Volume 229](#), February 2021, 113769. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113769>.
4. Guokun Liu, Dongxu Ji, [Christos N. Markides](#). Progress and prospects of low-grade thermal energy utilization technologies. [Applied Thermal Engineering](#). 1 October 2024. 123859. [Volume 254](#). <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.123859>.

