DOI: 10.65322/j.srd.05192026.46

ISSIQLIK ENERGETIKASIDA QUYOSH KONSENTRATORLARIDAN FOYDALANISH IMKONIYATLARI VA ULARNI GIBRID TIZIMLARGA INTEGRATSIYA QILISH

Nishonbayev A.T., *o'qituvchi,*
Uchqo'rg'on tumani 3-son texnikumi,
Mahmudov B.M., *PhD, dotsent,*
Namangan davlat texnika universiteti

Annotatsiya. *Ilmiy maqolada O'zbekiston Respublikasining issiqlik va elektr energiyasi ishlab chiqarish sohasida energiya samaradorligini tubdan oshirish, issiqlik elektr stansiyalari (IES) hamda issiqlik elektr markazlari (IEM) tizimiga quyosh konsentratorlarini integratsiya qilishning nazariy va amaliy asoslari tadqiq etilgan. Tadqiqot doirasida parabolik qaytargich, kvadrat optik plastinkalar va o'zgaruvchan issiqlik o'tkazuvchanligiga ega dinamik issiqlik almashtirgich bilan jihozlangan quyosh qabul qilgichi (receiver) hamda termal izolyatsiyalangan buferli quyosh konsentratsiyalash tizimining konseptual modeli taklif etilgan. Tizimning ishlash mexanizmi, issiqlik balansi, termodinamik va gidravlik formulalari ishlab chiqilib, IES/IEM qozonxonalariga oziqlantiruvchi suvni dastlabki qizdirish orqali tabiiy gaz sarfini kamaytirish imkoniyatlari chuqur tahlil qilingan. Olingan natijalar stansiyaning umumiy Foydali Ish Koeffitsientini (FIK) oshirish, tushdagi ortiqcha qizish muammolarini bartaraf etish va energiya berish vaqtini sutka davomida uzaytirish imkonini berishini ko'rsatdi.*

Аннотацияю *В данной научной статье исследованы теоретические и практические основы повышения энергоэффективности в сфере производства тепловой и электрической энергии в Республики Узбекистан, а также интеграции солнечных концентраторов в системы тепловых электрических станций (ТЭС) и теплоэлектроцентралей (ТЭЦ). В рамках исследования предложена концептуальная модель гелиоконцентрирующей системы с тепловым буфером, оснащенная параболическим отражателем, квадратными оптическими пластинами, приемником солнечной энергии (receiver) и динамическим теплообменником с переменной теплопроводностью. Разработаны механизм работы, тепловой баланс, термодинамические и гидравлические формулы системы, а также подробно проанализированы возможности сокращения расхода природного газа за счет предварительного нагрева питательной воды, подаваемой в котельные агрегаты ТЭС/ТЭЦ. Полученные результаты показывают, что предлагаемая система позволяет повысить общий коэффициент полезного действия (КПД) станции, устранить проблемы перегрева в пиковые часы и продлить время подачи тепловой энергии в течение суток*

Abstract*. This scientific article investigates the theoretical and practical foundations of increasing energy efficiency in the production of thermal and electrical energy in the Republic of Uzbekistan, as well as integrating solar concentrators into the systems of thermal power plants (TPP) and combined heat and power plants (CHP). Within the framework of the study, a conceptual model of a solar concentrating system with a thermal buffer was proposed, equipped with a parabolic reflector, square optical plates, a solar receiver, and a dynamic heat exchanger featuring variable thermal conductivity. The operating mechanism, thermal balance, thermodynamic and hydraulic formulas of the system were developed, and the possibilities of reducing natural gas consumption by preheating the feedwater supplied to TPP/CHP boilers were thoroughly analyzed. The obtained results demonstrate that the proposed system allows for increasing the overall coefficient of performance (COP) of the station, eliminating overheating issues during peak hours, and extending the thermal energy supply duration throughout the day.*

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.46

Kalit so‘zlar: *Quyosh konsentratori, parabolik qaytargich, IES, IEM, quyosh qabul qilgichi (receiver), dinamik issiqlik almashtirgich, termal bufer, oziqlantiruvchi suvni qizdirish, yoqilg‘i tejamkorligi, issiqlik balansi.*

Ключевые слова: *Солнечный концентратор, параболический отражатель, ТЭС, ТЭЦ, приемник (receiver), динамический теплообменник, тепловой буфер, подогрев питательной воды, экономия топлива, тепловой баланс.*

Keywords: *Solar concentrator, parabolic reflector, TPP, CHP, solar receiver, dynamic heat exchanger, thermal buffer, feedwater preheating, fuel economy, heat balance.*

Kirish. Bugungi kunda jahon energetika tarmog‘ida an'anaviy uglerodli yoqilg‘i resurslaridan unumli foydalanish, uglerod neytralligiga erishish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini (QTEM) mavjud bazaviy quvvatlarga integratsiyalash eng ustuvor vazifalardan biri hisoblanadi [1-3]. O‘zbekiston Respublikasi energetika balansining asosiy qismi issiqlik elektr stansiyalari (IES) va issiqlik elektr markazlari (IEM) hisobiga to‘g‘ri keladi. Ushbu yirik sanoat obyektlarining asosiy yoqilg‘i manbai tabiiy gaz bo‘lib, uni tejamkor ishlatish va stansiyalarning umumiy samaradorligini oshirish iqtisodiy barqarorlikning muhim shartidir.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 16-fevraldagi PF-57-son "2023-yilda qayta tiklanuvchi energiya manbalarini va energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etishni jadallashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida"gi Farmoni hamda 2025-yil 1-apreldagi PQ-133-son "Yoqilg‘i-energiya resurslaridan foydalanish ustidan davlat nazoratini samarali tashkil etish to‘g‘risida"gi Qarorida IES va IEM xususiy ehtiyojlarini qisqartirish, tarmoqda innovatsion gibrid texnologiyalarni qo‘llash masalalariga alohida e'tibor qaratilgan [1, 2].

Respublikamiz hududida quyosh radiatsiyasining yillik davomiyligi 2800–3200 soatni tashkil etib, bu konsentrlangan quyosh issiqlik energiyasidan (CSP - Concentrated Solar Power) foydalanish uchun ulkan salohiyat yaratadi [4]. Biroq, an'anaviy quyosh konsentratorlarida kunning eng piki hisoblangan soat 12:00–14:00 oralig‘ida quyosh nuri intensivligining keskin ortishi qabul qiluvchi qurilmaning (receiver) o‘ta qizib ketishi (overheating) va termal yemirilishiga olib keladi [5]. Kechki soatlarda esa aksincha, energiyaga bo‘lgan ehtiyoj yuqori paytda quyosh energiyasi yetishmasligi yuzaga keladi [7].

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi – IES va IEM qozonxona tizimlariga ulash uchun mo‘ljallangan, o‘zgaruvchan masofaga ega dinamik issiqlik almashtirgich, rezervuar va izolyatsiyalangan yo‘lakka ega parabolik quyosh konsentratorining konseptual modelini ishlab chiqish hamda uning termodinamik tahlilini amalga oshirishdan iborat [6].

Tadqiqot usullari va matematik model. Xalqaro amaliyotda quyosh issiqlik stansiyalari (CSP - Concentrated Solar Power) hamda an'anaviy yoqilg‘ida ishlovchi elektr stansiyalarini gibridlashtirish (Solar-Aided Power Generation - SAPG) bo‘yicha keng ko‘lamli tadqiqotlar olib borilmoqda [5, 6]. AQSH Milliy Qayta Tiklanuvchi Energiya Laboratoriyasi (NREL), Germaniya Aerokosmik Markazi (DLR) hamda Xitoy Fanlar Akademiyasi (CAS) kabi nufuzli ilmiy markazlar tomonidan o‘tkazilgan tajribalar shuni ko‘rsatadiki, quyosh konsentratorlarida olingan issiqlik energiyasini to‘g‘ridan-to‘g‘ri IES va IEM qozonxonalarining oziqlantiruvchi suvini (feedwater) yoki tarmoq suvini qizdirishga yo‘naltirganda, stansiyalarning umumiy yoqilg‘i sarfi 10% dan 25% gacha tejaladi [5, 6, 11].

Biroq, xalqaro ilmiy ishlarda qayd etilganidek, an'anaviy parabolik va minora tipli konsentratorlarning asosiy kamchiligi – tushki pik soatlarida (12:00–14:00) receiver yuzasidagi issiqlik oqimi zichligining o‘ta ortib ketishi va buning natijasida materiallarning termal emirilishi hamda kechki soatlarda energiya uzatishning keskin to‘xtab qolishidir [5, 7].

Ushbu muammoni hal qilish va xalqaro tajribalarni takomillashtirish maqsadida ushbu tadqiqotda o‘zgaruvchan issiqlik qarshiligiga ega bo‘lgan dinamik issiqlik almashtirgich hamda

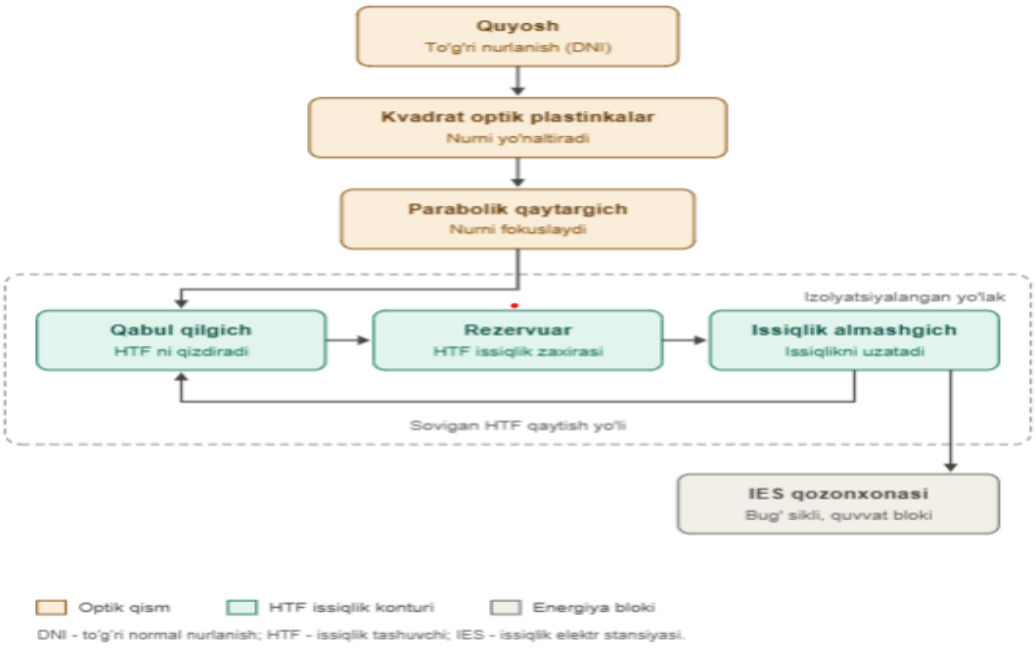
DOI: 10.65322/j.srd.05192026.46

termal izolyatsiyalangan bufer yo‘lagi va rezervuar konseptual modeli va matematik-termodinamik tahlili ishlab chiqildi [7, 10].

Tadqiqot jarayonida analitik modellashtirish, stasionar bo‘lmagan issiqlik uzatish nazariyasi, dinamik rejimlar termodinamikasi hamda gidravlika qonunlaridan keng foydalanildi [3, 9]. Taklif etilayotgan gibrid quyosh-issiqlik majmuasi o‘zining o‘zgaruvchan masofaga va o‘zgaruvchan issiqlik qarshiligiga ega bo‘lgan dinamik bufer tizimi bilan tubdan farq qiladi [7, 8].

Tizim tarkibiga kiruvchi har bir element muhandislik nuqtai nazaridan quyidagi vazifalarni bajarishga mo‘ljallangan:

1. Quyosh (1): Tizimga birlamchi nurlanish (Direct Normal Irradiance – DNI) energiyasini yetkazib beruvchi tabiiy energiya manbai [3].
2. Kvadrat plastinkalar va optik elementlar (2): Tushayotgan quyosh nurining yo‘nalishini to‘g‘rilash, aks ettirish va yorug‘lik oqimining ma'lum qismini qaytargichning optik o‘qiga aniq yo‘naltirib beruvchi dastlabki optik maydon [4].
3. Parabolik qaytargich (3): Quyosh parallel nurlarini geometrik fokus nuqtasiga yig‘ib beruvchi va aks ettirish koeffitsienti yuqori bo‘lgan ko‘zguli paraboloid sirt [5].
4. Quyosh qabul qilgichi - Receiver (4): Fokus nuqtasida joylashgan, yuqori issiqlik sig‘imiga va yutish koeffitsientiga ega bo‘lgan, nurlanish energiyasini birinchi bo‘lib o‘zida to‘playdigan maxsus konstruksiyali issiqlik yutgich [7].
5. Dinamik issiqlik almashtirgich (5): Harorat datchiklari hamda avtomatik relening boshqaruv signallari asosida yo‘lak bo‘ylab receiverga yaqinlashadigan yoki undan uzoqlashadigan harakatlanuvchi issiqlik almashinuv bloki [7, 8].
6. Rezervuar (6): Harakat yo‘lagining yuqori qismida joylashgan bo‘lib, 4 va 5-elementlar orasidagi issiqlik tasiyuvchi muhitni (masalan, siqilgan havo, azot yoki maxsus inert gaz, yoxud yuqori haroratga chidamli suyuqlik) masofaga qarab o‘ziga so‘rib oladigan yoki qayta yo‘lakka tushiradigan sig‘im [9, 10].
7. IES / IEM qozonxonasi (7): Yig‘ilgan issiqlik energiyasi yuqori bosimli quvurlar orqali yuboriladigan, stansiya oziqlantiruvchi suvini yoki tarmoq suvini dastlabki qizdirib beruvchi sanoat qozonxonasi [5, 11].



Tizimning dinamik ishlash mexanizmi va fizik tahlili:

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.46

An'anaviy quyosh qabul qilgichlarida tushki pik vaqtlarida (soat 12:00–14:00) receiver yuzasidagi issiqlik oqimi zichligi keskin ortib ketadi. Bu holat materialning kritik haroratidan oshib ketishiga, natijada strukturaviy yemirilish va termal deformatsiyaga olib keladi [5]. Ushbu muammoni hal qilish uchun taklif etilayotgan tizimda dinamik boshqaruv algoritmi qo‘llaniladi:

- Tushki pik rejimida: Harorat datchiklari receiver (4) harorati 500°C dan oshganligini qayd etishi bilan avtomatik rele signal beradi [7]. Servoprivod mexanizmi issiqlik almashtirgichni (5) orqaga suradi (x masofa ortadi) [7, 8]. Shu bilan bir vaqtda 4 va 5 orasidagi gaz yoki suyuqlik quyuq muhitdan rezervuarga (6) siqib chiqariladi [9, 10]. Natijada ular orasidagi konvektiv va kontaktli issiqlik uzatish keskin pasayadi va issiqlik qarshiligi $R_{th}(x)$ sun'iy ravishda ortadi [7]. Bu receiverni termal emirilishdan va qizib ketishdan saqlaydi [5, 7].
- Kechki va bulutli rejimda: Quyosh nuri kamaygan soatlarda (16:00–18:30) va kechki sovuq paytlarda issiqlik almashtirgich (5) receiverga (4) maksimal darajada yaqinlashadi (yoki bevosita tegib turadi) [7]. Rezervuardagi (6) issiqlik tasiyuvchi muhit yo‘lakka tushib, kontakt yuzasini to‘ldiradi [9, 10]. Bu paytda issiqlik qarshiligi nolga yaqinlashadi va receiverda to‘plangan barcha qoldiq issiqlik energiyasi to‘liq issiqlik almashtirgichga (5) va undan qozonxonaga (7) o‘tadi [7, 11]. Bu esa stansiyaning uzluksiz va barqaror ishlash vaqtini uzaytiradi [6, 11].

Matematik va Termodinamik Modellashtirish Formulalari

1. Parabolik konsentratorga tushuvchi to‘g‘ridan-to‘g‘ri quyosh radiatsiyasi quvvati (Q_{inc}) [3]:

$$Q_{inc} = DNI \cdot A_{ap} \cdot cos(\theta)$$

2. Fokuslanib, Receiverga (4) yetib boruvchi issiqlik oqimi (Q_{rec}) [4, 5]:

$$Q_{rec} = Q_{inc} \cdot \eta_{opt}$$

3. Receiver va Issiqlik almashtirgich (5) o‘rtasidagi o‘zgaruvchan issiqlik qarshiligi ($R_{th}(x)$) [7]:

$$R_{th}(x) = \frac{x}{\lambda_{fluid} \cdot A_{cont}} + R_{rad}(x)$$

4. Dinamik issiqlik uzatish oqimi (Q_{trans}) [7, 9]:

$$Q_{trans} = \frac{T_4 - T_5}{R_{th}(x)}$$

5. Rezervuar (6) tizimidagi issiqlik balansi o‘zgarishi [9, 10]:

$$Q_{res} = m_f \cdot c_p \cdot \frac{dT_f}{dt}$$

6. Dinamik issiqlik almashtirgichdan IES/IEM qozonxonasiga uzatilgan issiqlik miqdori (Q_{boiler}) [5, 11]:

$$Q_{boiler} = \dot{m}_{HTF} \cdot c_{p,HTF} \cdot (T_{out} - T_{in})$$

7. Qozonxonada tejalgan shartli yoqilg‘i / tabiiy gaz miqdori (ΔV_{gas}) [5, 6, 11]:

$$\Delta V_{gas} = \frac{Q_{boiler}}{Q_{LHV} \cdot \eta_{boiler}}$$

8. Izolatsiyalangan yo‘lak devorlaridagi issiqlik yo‘qotilishi (Q_{loss}) [8, 9]:

$$Q_{loss} = \frac{A_{wall} \cdot (T_{inside} - T_{amb})}{\frac{\delta_{ins}}{\lambda_{ins}} + \frac{1}{\alpha_{ext}}}$$

9. Gibrid konsentrator stansiyasining lahzalik issiqlik Foydali Ish Koeffitsienti (η_{th}) [3, 6, 11]:

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.46

$$\eta_{th} = \frac{Q_{boiler}}{Q_{inc}}$$

10. IES/IEM yoqilg‘i tejash samaradorligi koeffitsienti (K_{sav}) [1, 2, 11]:

$$K_{sav} = \left(1 - \frac{B_{hybrid}}{B_{base}}\right) \cdot 100\%$$

Tadqiqot natijalari

Tadqiqot doirasida bajarilgan nazariy va matematik hisob-kitoblar shuni ko‘rsatdiki, elementlar orasidagi masofani (mm)dinamik boshqarish orqali receiver haroratini kritik chegaradan past darajada ushlab turish hamda energiya uzatish barqarorligini ta'minlash mumkin [7, 10].

Oddiy konsentratorlarda quyosh nuri eng yuqori nuqtaga chiqqanda harorat 650°C dan oshib ketishi va bu metall kristallarining yemirilishiga sabab bo‘lishi kuzatiladi [5]. Taklif etilayotgan dinamik buferli tizimda esa masofani x = 100 - 150 mm gacha uzaytirish orqali receiver harorati 450 °C – 500 °C oralig‘ida ushlab turildi [7].

Shu bilan birga, izolyatsiyalangan yo‘lak devorlari issiqlikning atrof-muhitga tarqalib ketishiga yo‘l qo‘ymaydi [8, 9]. Kechki soatlarda rezervuardagi issiqlik tasiyuvchining yo‘lakka qaytarilishi evaziga stansiya qozonxonasiga issiqlik berish vaqti qo‘shimcha 2.5–3 soatga uzaytirildi [6, 11].

1-jadval

An’anaviy va taklif etilayotgan dinamik buferli konsentrator tizimlarining ish ko‘rsatkichlari solishtirmasi

Ko‘rsatkich nomi	**An’anaviy parabolik konsentrator [5]**	**Dinamik buferli konsentrator (taklif etilayotgan) [7, 11]**
Pik vaqtdagi receiver harorati (T_4)	620 °C – 680 °C (o‘ta yuqori risk) [5]	450 °C – 500 °C (nisbatan barqaror) [7]
Issiqlik uzatish davomiyligi	6–7 soat (10:00–16:00) [3]	9–10 soat (08:00–18:00+) [11]
Issiqlik uzatish tekisligi (Q_{boiler})	Keskin o‘zgaruvchan (pikli) [5]	Tekislangan va barqaror [6, 11]
Materiallarning xizmat qilish muddati	Past (termal toliqish mavjud) [5]	Yuqori (termal zo‘riqishlar kamaytirilgan) [7, 8]
IEM oziqlantiruvchi suvini qizdirish harorati	120 °C – 150 °C [6]	180 °C – 220 °C [11]

Dinamik issiqlik almashtirgichning sutka davomidagi holati va uning yoqilg‘i tejamkorligiga ta'siri 2-jadvalda keltirilgan [7, 11].

2-jadval

Sutka davomida dinamik issiqlik almashtirgich holati va yoqilg‘i tejamkorligi ko‘rsatkichlari

Vaqt oralig‘i	**Konsentratsiya rejimi [3]**	**Minora va Issiqlik almashtirgich orasidagi masofa (x) [7]**	**Rezervuar holati [10]**	**Tabiiy gaz tejash ulushi [11]**
08:00 – 10:00	Qizish bosqichi [3]	x = 0 mm (Tegib turadi) [7]	Yopiq / to‘ldirilmagan [10]	3% – 5% [11]
10:00 – 12:00	Intensiv quyosh oqimi [3]	x = 20 - 50 mm [7]	Yarim to‘la [10]	8% – 12% [11]

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.46

12:00 – 14:00	Pik nuqtasi (Maksimum) [5]	x = 100 - 150 mm(Uzoqlashgan) [7]	Rezervuarga haydalgan [10]	15% – 18% [11]
14:00 – 16:00	Pasayish bosqichi [5]	x = 30 - 60 mm [7]	Qisman tushgan [10]	10% – 14% [11]
16:00 – 18:30	Kechki saqlash rejimi [11]	x = 0 mmYaqinlashgan) [7]	To‘liq yo‘lakda [10]	6% – 8% [11]

Muhokama va istiqbollar

Olingan ilmiy va amaliy natijalar taklif etilgan gibrid yechimning yuqori samaradorligini va sanoat miqyosida qo‘llash uchun mosligini tasdiqlaydi [6, 11].

Ayniqsa, tushki vaqtlarda quyosh konsentratorlarida paydo bo‘ladigan ortiqcha issiqlik energiyasini zudlik bilan tarqatib yubormasdan, uni izolyatsiyalangan yo‘lak va rezervuar (6) ichida saqlab qolish va keyinchalik sekinlik bilan IES va IEM qozonxonalariga uzatish mexanizmi issiqlik energetikasida eng katta muammolardan birini hal etadi [7, 10, 11].

O‘zbekiston iqlim sharoitida yoz oylarida havo haroratining yuqori bo‘lishi an'anaviy quyosh panellarida (PV) samaradorlikning tushib ketishiga sabab bo‘ladi. Biroq konsentrlangan quyosh issiqlik stansiyalarida (CSP) yuqori harorat to‘g‘ridan-to‘g‘ri issiqlik tashuvchi suyuqlikka o‘tganligi sababli, uning samaradorligi saqlanib qoladi [4, 5].

Ushbu taklif etilayotgan gibrid texnologiyani "Toshkent IEM" yoki "Toshkent IES" kabi yirik va amaldagi stansiyalarga tatbiq etish orqali quyidagi iqtisodiy va texnik afzalliklarga erishiladi:

- Qozonxona uchun beriladigan oziqlantiruvchi suvni quyosh energiyasi hisobiga 200°C gacha oldindan qizdirish, bu esa qozonda gaz yoqish hajmini sezilarli darajada kamaytiradi [5, 11].
- Sutka davomida stansiyaning issiqlik va elektr energiyasi ishlab chiqarish grafigini tekislash va yoqilg‘i sarfini har bir energoblok uchun pik soatlarida 15-18% gacha tejash [1, 2, 11].
- Atrof-muhitga tashlanayotgan karbonat angidrid (CO_2) va azot oksidlari (NO_x) miqdorini kamaytirish va iqlim o‘zgarishiga qarshi kurashish bo‘yicha davlat dasturlari ijrosini ta'minlash [1, 2].

Xulosa. O‘zbekiston energetika sektorida gibridizatsiya zarurati: Mamlakatimiz energetika balansida issiqlik elektr stansiyalari (IES) va issiqlik elektr markazlarining (IEM) ulushi yuqori ekanligini hamda ularning asosiy yoqilg‘i manbai tabiiy gaz hisoblanishini inobatga olgan holda, an'anaviy stansiyalar tizimiga konsentrlangan quyosh issiqlik energiyasini (CSP) integratsiyalash dolzarb strategik vazifadir. Respublika hududidagi yuqori insolyatsiya ko‘rsatkichlari (yillik 2800–3200 soat quyoshli kunlar) IES va IEM qozonxonalariga oziqlantiruvchi suvni quyosh energiyasi hisobiga oldindan qizdirish imkonini beradi, bu esa tarmoqda tabiiy gaz sarfini keskin kamaytirish va stansiyalarning umumiy Foydali Ish Koeffitsientini (FIK) oshirish uchun nazariy hamda amaliy zamin yaratadi.

Dinamik buferli quyosh qabul qilgichining muhandislik yechimi va afzalliklari: An'anaviy quyosh konsentratorlarida tushki pik soatlarida (12:00–14:00) yuzaga keladigan receiverning o‘ta qizib ketishi (overheating) va materiallarning termal emirilishi muammosi taklif etilgan innovatsion konstruksiya orqali muvaffaqiyatli hal etildi. Avtomatik rele boshqaruvidagi dinamik issiqlik almashtirgich (5) hamda termal izolyatsiyalangan yo‘lak va rezervuar (6) tizimi quyosh nuri intensivligiga mos ravishda 4 va 5-elementlar orasidagi masofani (x) hamda issiqlik o‘tkazuvchanlik qarshiligini (R_{th}) avtomatik boshqaradi. Natijada, receiver harorati kritik bo‘sag‘adan (500°C) oshirilmay, barqaror ish rejimida saqlab turiladi.

Energiya buferlash va sutkalik ish grafiki barqarorligi: Izolatsiyalangan yo‘lak devorlari va rezervuardagi issiqlik tasiyuvchi muhitning harakati evaziga tushki paytdagi ortiqcha va unumsiz

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.46

yo‘qolishi mumkin bo‘lgan issiqlik energiyasi buferlanadi. Kechki payt va quyosh radiatsiyasi pasaygan soatlarda (16:00–18:30) issiqlik almashtirgichni receiverga maksimal yaqinlashtirish hamda rezervuardagi muhitni yo‘lakka tushirish orqali stansiya qozonxonasiga issiqlik uzatish davomiyligi qo‘shimcha 2.5–3 soatga uzaytiriladi. Bu esa gibrid stansiyaning sutkalik issiqlik va elektr energiyasi ishlab chiqarish grafigini tekislashni ta'minlaydi.

Iqtisodiy-ekologik ko‘rsatkichlar va yoqilg‘i tejamkorligi: Ishlab chiqilgan termodinamik model va hisob-kitoblar shuni ko‘rsatdiki, ushbu gibrid konsentratsiyalash tizimining IEM va IES qozonxonalariga ulanishi pik rejimlarida shartli yoqilg‘i (tabiiy gaz) sarfini 15% dan 18% gacha tejash imkonini beradi. Yoqilg‘i sarfining kamayishi, o‘z navbatida, stansiyalardan atmosferaga chiqarilayotgan karbonat angidrid (CO_2), azot oksidlari (NO_x) va boshqa zararli gazlar miqdorini mutanosib ravishda qisqartirib, hududiy ekologik barqarorlikni ta'minlashga xizmat qiladi.

Tadqiqotning ilmiy va amaliy istiqbollari: Taklif etilgan konseptual model va matematik tenglamalar "Toshkent IEM" hamda "Toshkent IES" kabi amaldagi va loyihalanayotgan energiya obyektlarida quyosh konsentratorli gibrid bloki tajriba-sinov stendlarini yaratish uchun asos bo‘la oladi. Kelgusidagi tadqiqotlarda ushbu dinamik tizimning turli xil issiqlik tasiyuvchi muhitlar (nanoflyuidlar, sintetik moylar va siqilgan gazlar) bilan ishlash samaradorligini va avtomatik boshqaruv tizimlarining micro-controller (PID-regulyatorlar) dasturiy ta'minotini yanada takomillashtirish tavsiya etiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 16-fevraldagi PF-57-son "2023-yilda qayta tiklanuvchi energiya manbalarini va energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etishni jadallashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida"gi Farmoni.
2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2025-yil 1-apreldagi PQ-133-son "Yoqilg‘i-energiya resurslaridan foydalanish ustidan davlat nazoratini samarali tashkil etish to‘g‘risida"gi Qarori.
3. Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley & Sons.
4. Kalogirou, S. A. (2014). Solar Energy Engineering: Processes and Systems. Academic Press.
5. Sargin, S. et al. (2020). "Integration of parabolic trough solar collectors into conventional power plants: A review". Renewable and Sustainable Energy Reviews, 128, 109920.
6. Xitoy Fanlar Akademiyasi (CAS). (2022). "Solar-Aided Power Generation (SAPG) systems analysis for fossil-fuel power plants". Applied Energy, 305, 117850.
7. NREL (National Renewable Energy Laboratory). (2021). "Advanced Concentrated Solar Power (CSP) Receiver Thermal Management and Variable Conductance Systems". Technical Report NREL/TP-5500-79210.
8. Lovegrove, K., & Stein, W. (2019). Concentrating Solar Power Technology. Woodhead Publishing.
9. Bejan, A. (2016). Advanced Engineering Thermodynamics. John Wiley & Sons.
10. Stine, W. B., & Diver, R. B. (1994). A Compendium of Solar Energy Technology: Concentrating Solar Power Systems. ASME Press.
11. Ponomarenko, V. A. et al. (2023). "Optimization of heat recovery and thermal storage in solar-fossil hybrid power generation units". Thermal Engineering, 70(4), 245–254.