



UO‘K 621.383; 621.472

QUYOSH QURILMALI VA ISSIQLIK NASOSLI AVTONOM ISSIQXONANI ISSIQLIK BALANSINI TADQIQ QILISH

Raxmatov Obid Ibod o‘g‘li - assistentORCID: 0009-0008-2886-6822 e-mail: raxmatov_obid@mail.ru

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

Annotatsiya. Kirish. Jahonda kontinental o‘zgaruvchan iqlim sharoitlarida zamonaviy issiqxonalarni energiya samaradorligini oshirishda qayta tiklanadigan energiya manbalari qurilmalari asosidagi avtonom energiya ta‘minoti tizimini ishlab chiqishga yo‘naltirilgan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Ushbu yo‘nalishda, jumladan, issiqxonalar joylashgan hudud iqlim sharoitidan kelib chiqib issiqxonalarining maqbul konstruksiyasi va oriyentatsiyasini aniqlash matematik modellarini va energiya balans tenglamalarini ishlab chiqish, issiqxonalarda quyosh qurilmalari asosidagi energiya ta‘minoti tizimlarining samaradorligini oshirish va tadqiq qilish bo‘yicha olib borilayotgan ilmiy izlanishlar ustuvor hisoblanadi.

Usul va materiallar. Avtonom issiqxonada ichki havo harorati bir nechta tashqi va ichki faktorlarga bog‘liq o‘zgaruvchidir. Bu omillar issiqxonada devorlari va shifti orqali tushuvchi quyosh nurlanishi miqdori, tabiiy yoqilg‘i va elektr energiyasida ishlaydigan issiqlik manbai, yoritish chiroqlari, tabiiy ventilyatsiya va havoning infiltratsiyasi miqdori, konstruktiv issiqlik yo‘qotish miqdori, tuproq orqali yo‘qotiladigan issiqlik miqdori, o‘simliklar iste‘mol qiladigan issiqlik miqdorlariga bog‘liq.

Natijalar. Qarshi shahrida joylashgan foydali yuzasi 50 m² bo‘lgan ikki qiya konstruksiyali issiqxonaning 2023-yil 15-noyabrdan 2024-yil 15-martga qadar bo‘lgan davrda issiqlik yuklamasi atrof-muhit harorati, quyosh radiatsiyasi va issiqxonada issiqlik yo‘qotishlarni inobatga olib aniqlanadi. Natijalarga ko‘ra, ushbu mavsumda issiqxonada 14800 kWh issiqlik energiyasi iste‘mol qilishi tadqiq qilindi. Bunda 11160 kWh issiqlik energiyasi issiqlik nasosi, 3160 kWh quyosh issiqlik kollektori, 400 kWh issiqlik qozonidan va qolgani quyosh nurlanishi orqali ta‘minlandi.

Xulosa. Issiqxonani isitish mavsumi davomida an‘anaviy isitish qurilmalari uchun sarf bo‘ladigan tabiiy gaz 1835 m³ va shartli yoqilg‘i 2260 t.sh.yo tejalishiga, ushbu tabiiy gaz yonganda atrof-muhitga ajraladigan 3395 kg CO₂ kamaytirishga erishildi. Issiqxonada energiya ta‘minoti tizimining iqtisodiy samaradorlik ko‘rsatkichlari baholandi. Bunga ko‘ra sof joriy qiymat 138.7 mln. so‘m, foydaning ichki me‘yori 10%, foyda indeksi 2,03 va qoplash muddati 6,4 yilni tashkil qilishi aniqlandi.

Kalit so‘zlar: avtonom issiqxonada, atrof-muhit harorati, quyosh radiatsiyasi, quyosh issiqlik kollektori, issiqlik nasosi, modellashtirish, issiqlik balansi, muvofiqlik testlari.

Дата поступления: 23.01.2025. После обработки: 20.02.2025 Принято печать: 24.03.2025

For citation: Raxmatov O.I. Solar heat pump system for power supply of autonomous greenhouses. *Alternative energy*. 2025. 1(16). pp. 31-39. (In Uz.)

УДК 621.383; 621.472

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА АВТНОМНОЙ ТЕПЛИЦЫ С СОЛНЕЧНО-ТЕПЛОНАСОСНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Рахматов Обид Ибод угли – ассистентORCID: 0009-0008-2886-6822 E-mail: raxmatov_obid@mail.ru



Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. Введение. Во всем мире ведутся исследования по разработке автономной системы энергоснабжения на основе возобновляемых источников энергии для повышения энергоэффективности современных теплиц в условиях резко континентального климата. В этом направлении проводятся научные исследования по разработке математических моделей и уравнений энергетического баланса для определения оптимальной конструкции, и ориентации теплиц с учетом климатических условий района их расположения, а также по совершенствованию и исследованию эффективности систем энергоснабжения теплиц на основе солнечной энергии.

Методы и материалы. Температура внутри автономной теплицы меняется в зависимости от ряда внешних и внутренних факторов. Эти факторы зависят от количества солнечной радиации, проникающей через стены и потолок теплицы, источника тепла, работающего на природном топливе и электричестве, освещения, объема естественной вентиляции и инфильтрации воздуха, объема конструктивных теплопотерь, объема потерь тепла через почву и объема тепла, потребляемого растениями.

Результаты. Тепловая нагрузка двухскатной теплицы полезной площадью 50 м², расположенной в городе Карши, на период с 15 ноября 2023 года по 15 марта 2024 года определены с учетом изменения температуры окружающего воздуха, солнечной радиации и теплопотерь в теплице. По результатам установлено, что в отопительном сезоне теплица потребляет 14 800 кВт·ч тепловой энергии. Из них 11 160 кВт·ч тепловой энергии было выработано тепловым насосом, 3 160 кВт·ч — солнечным тепловым коллектором, 400 кВт·ч — водогрейным котлом, а остальная часть — за счет солнечного излучения.

Заключение. За отопительный сезон в теплицах было использовано 1835 м³ природного газа и 2260 т.у.т. топлива было сэкономлено для традиционных отопительных приборов, а при сжигании природного газа было сокращено количество выбросов CO₂ на 3395 кг. Оценены показатели экономической эффективности системы энергоснабжения теплицы. Соответственно, чистая приведенная стоимость составляет 138,7 млн. Определено, что внутренняя норма доходности составляет 10%, индекс прибыли — 2,03, срок окупаемости — 6,4 года.

Ключевые слова: автономная теплица, температура окружающей среды, солнечная радиация, солнечный тепловой коллектор, тепловой насос, моделирование, тепловой баланс, испытания на соответствие.

UDC 621.383; 621.472

SOLAR HEAT PUMP SYSTEM FOR POWER SUPPLY OF AUTONOMOUS GREENHOUSES

Rakhmatov Obid Ibod ugli - assistant

ORCID: 0009-0008-2886-6822 E-mail: raxmatov_obid@mail.ru

Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. Introduction. Research is being conducted worldwide to develop an autonomous energy supply system based on renewable energy sources to improve the energy efficiency of modern greenhouses in the conditions of a sharply continental climate. In this direction, scientific research is being conducted to develop mathematical models and energy balance equations to determine the optimal design and orientation of greenhouses taking into account the climatic conditions of the area where they are located, as well as to improve and study the efficiency of solar energy-based greenhouse energy supply systems.





Methods and materials. *The temperature inside a stand-alone greenhouse varies depending on a number of external and internal factors. These factors depend on the amount of solar radiation penetrating through the walls and ceiling of the greenhouse, the heat source operating on natural fuel and electricity, lighting, the amount of natural ventilation and air infiltration, the amount of structural heat loss, the amount of heat loss through the soil, and the amount of heat consumed by the plants.*

Results. *The heat load of a gable greenhouse with a useful area of 50 m², located in the city of Karshi, for the period from November 15, 2023 to March 15, 2024 was determined taking into account changes in ambient temperature, solar radiation and heat loss in the greenhouse. According to the results, it was found that during the heating season, the greenhouse consumes 14,800 kWh of thermal energy. Of this, 11,160 kWh of thermal energy was generated by a heat pump, 3,160 kWh by a solar thermal collector, 400 kWh by a hot water boiler, and the rest by solar radiation*

Conclusion. *During the heating season, 1835 m³ of natural gas were used in the greenhouses and 2260 t.e. fuel was saved for traditional heating devices, and when burning natural gas, the amount of CO₂ emissions was reduced by 3395 kg. The economic efficiency indicators of the greenhouse energy supply system were estimated. Accordingly, the net present value is 138.7 million. It was determined that the internal rate of return is 10%, the profit index is 2.03, the payback period is 6.4 years.*

Keywords: *autonomous greenhouse, ambient temperature, solar radiation, solar thermal collector, heat pump, modeling, heat balance, compliance testing.*

Kirish

Jahonda zamonaviy issiqxonalarning energiya tejamkor quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi avtonom energiya ta'minoti tizimini ishlab chiqishga alohida e'tibor berilmoqda. Dunyoda aqlli issiqxonalarni rivojlantirish dasturlariga ko'ra, 2022-yilda 1,7 milliard AQSh dollariga baholangan qayta tiklanadigan energiya manbalari asosidagi issiqxonalarning global bozori 2030-yilga kelib 3,6 milliard AQSh dollari miqdoriga yetishi va 2022-2030- yillardagi tahlil davrida yillik o'sish surati 9,5 foizga oshishi kutilmoqda [1]. Avtonom issiqxonalarni issiqlik va elektr ta'minoti tizimida tabiiy yoqilg'i manbalariga asoslangan energetik qurilmalar va tizimlardan foydalanish ekologik va iqtisodiy samaradorlikni pasayishiga olib kelmoqda. Shu sababli, energiya samarador quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi avtonom energiya ta'minoti tizimi issiqxonalarda qo'llanilishi muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

Jahonda kontinental o'zgaruvchan iqlim sharoitlarida zamonaviy issiqxonalarni energiya samaradorligini oshirishda qayta tiklanadigan energiya manbalari qurilmalari asosidagi avtonom energiya ta'minoti tizimini ishlab chiqishga yo'naltirilgan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda.

Ushbu yo'nalishda, jumladan, issiqxonalar joylashgan hudud iqlim sharoitidan kelib chiqib issiqxonalarning maqbul konstruksiyasi va orientatsiyasini aniqlash matematik modellarini va energiya balans tenglamalarini ishlab chiqish, issiqxonalarda quyosh qurilmalari asosidagi energiya ta'minoti tizimlarining samaradorligini oshirish va tadqiq qilish bo'yicha olib borilayotgan ilmiy izlanishlar ustuvor hisoblanadi. Shu sababli, hozirgi vaqtda issiqxonalarning iqlim sharoitlariga moslashtirilgan energiya samarador quyosh va issiqlik nasosli avtonom energiya taminoti tizimini ishlab chiqish va energetik parametrlarini ilmiy asoslashga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Avtonom issiqxonalarning muqobil energiya manbalari asosidagi energiya ta'minoti tizimini ishlab chiqish bo'yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar tahlil qilindi.

D.Xu va boshqalar Xitoy hududlarida o'rnatilgan quyosh issiqxonalarda quyosh radiatsiyasi maksimal bo'lishini ta'minlashda issiqxonalarning oriyentatsiya va strukturalarining optimal ko'rsatgichlarini aniqlash bo'yicha tadqiqotlar olib borgan. Tadqiqotda quyosh radiatsiyasini issiqxonaga maksimal tushishi issiqxona balandigiga bog'liqligi o'rganilgan.

Shenyang kenglik 42° optimal oriyentatsiya 7°...9° ga tengligi yig'indi quyosh radiatsiyasi va issiqxona o'lchamlariga bog'liq holda hisoblangan. Natijalar shuni ko'rsatadiki, issiqxonaning

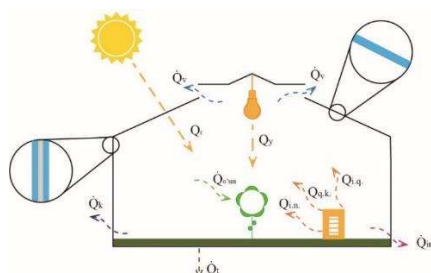
oriyentatsiyasini sozlash orqali yiliga 1200 kg ko‘mir va 432 000 kJ elektr energiyasini tejash imkonini bergan [2]. B.S. Rasaxodjayev [3] ichki va tashqi havo haroratiga qarab o‘zgartiriladigan korpusli quyosh issiqxonalarini tekshirish masalalari ko‘rib chiqilgan. Natijalarga ko‘ra issiqlik yuklamasi umumiy foizga nisbatan bir qiyalikli quyosh issiqxonalarida 27% va ikki qiyalikli quyosh issiqxonalarida 37% ni tashkil qilgan. Tashqi havo haroratiga qarab, quyosh issiqxonasi ichidagi haroratni saqlab turish uchun isitish balandligini o‘zgartirish, ya’ni issiqxona ichidagi isitish balandligini kamaytirish yoki oshirish kerakligi asoslangan. Bu energiya sarfini minimallashtirish va quyosh issiqxonalarida ichidagi havoni optimal isitishni ta’minlaydi.

J.S. Axatov [4] va boshqalar ilmiy ishlarida fazalarni o‘zgartirish materiallariga asoslangan issiqlik akkumulyatorlari bo‘lgan quyosh issiqxonasining issiqlik xususiyatlari tadqiq qilingan. Hajmi kichraytirilgan issiqxonalar tabiiy sharoitda eksperimental ravishda o‘rganilib, hisoblash va eksperimental tadqiqotlar amalga oshirilgan.

Tadqiqotning maqsadi keskin o‘zgaruvchan iqlim sharoitlarida ikki qiya konstruksiyali issiqxonalarining quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi avtonom energiya ta’minoti tizimini ishlab chiqish va samaradorligini asoslashdan iborat.

Usullar va materiallar

Avtonom issiqxona ichki havo harorati bir nechta tashqi va ichki faktorlarga bog‘liq o‘zgaruvchidir. Bu omillar issiqxona devorlari va shifti orqali tushuvchi quyosh nurlanishi miqdori, tabiiy yoqilg‘i va elektr energiyasida ishlaydigan issiqlik manbai, yoritish chiroqlari, tabiiy ventilyatsiya va havoning infiltratsiyasi miqdori, konstruktiv issiqlik yo‘qotish miqdori, tuproq orqali yo‘qotiladigan issiqlik miqdori, o‘simliklar iste’mol qiladigan issiqlik miqdorlariga bog‘liq. 1-rasmda avtonom issiqxonaning issiqlik balansini tuzishda yuqorida keltirilgan kattaliklarning barchasi inobatga olindi.



1-rasm. Avtonom issiqxonaning issiqlik balansini hisobiy sxemasi

Figure 1. Calculation scheme for the heat balance of an autonomous greenhouse

Q_r – quyosh radiatsiyasining issiqlik miqdori; $Q_{i.n}$ – issiqlik nasosining issiqlik miqdori; Q_y – yoritish chiroqlarining issiqlik miqdori; $Q_{q.k}$ – quyosh issiqlik kollektori; $Q_{i.q}$ – issiqlik qozoni; Q_v – tabiiy ventilyatsiya orqali yo‘qotilgan issiqlik miqdori; Q_{inf} – havoning infiltratsiyasi orqali yo‘qotilgan issiqlik miqdori; Q_{sh} – issiqxona shifti orqali yo‘qotilgan issiqlik miqdori; Q_d – issiqxona devorlari orqali yo‘qotilgan issiqlik miqdori; Q_a – issiqxona asosi orqali yo‘qotilgan issiqlik miqdori; Q_t – tuproq orqali yo‘qotilgan issiqlik miqdori; $Q_{o.sm}$ – o‘simliklar orqali yo‘qotilgan issiqlik miqdori.

Tadqiqot qilinayotgan avtonom issiqxonani issiqlik balansining matematik modeli quyidagi tenglamalar orqali ifodalanadi:

$$Q_r + Q_{i.n} + Q_{q.k} + Q_{i.q} = Q_v + Q_{inf} + Q_k + Q_t + Q_{o.sm} \quad (1)$$

Quyosh issiqlik qurilmasining (kollektor) issiqlik berish miqdori tashqi harorat va quyosh radiatsiyasiga bog‘liq quyidagi formula orqali aniqlanadi [5]:

$$Q_{q.k} = A_c \cdot F_R \cdot [Q_r \cdot \tau(\alpha) - U_L \cdot (t_k - t_t)] \quad (2)$$

bunda: A_c – quyosh issiqlik kollektorining umumiy yuzasi, 20 m²; F_R – issiqlikni yo‘qotish omili (0,8); U_L – umumiy isroflar koeffitsiyenti (8 W/m²·°C); $\tau(\alpha)$ – shishani issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti (0,65); t_k – quyosh issiqlik kollektorning o‘rtacha harorati, 60 °C; t_t – atrof-muhit harorati, °C [5].



Issiqxonaning konstruktiv chegarasi issiqxona shifti, devorlari va asosi orqali isrof bo'ladigan issiqlik miqdori quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_k = Q_d + Q_{sh} + Q_a \quad (3)$$

Issiqxona yon devorlari orqali isrof bo'ladigan issiqlik miqdori issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, yon devorlarning yuzasi, ichki va tashqi haroratlar farqiga bog'liq bo'lib, quyidagi matematik ifoda orqali aniqlanadi [6]:

$$Q_d = k_d \cdot \sum F_d \cdot (t_1 - t_2) \quad (4)$$

$$k_d = \left(\frac{1}{\alpha_1} + 2 \cdot \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} \quad (5)$$

$$\sum F_d = 2 \cdot h_2 \cdot L + 2 \cdot h_4 \cdot W + h_3 \cdot W \quad (6)$$

bunda: k_d – devorning issiqlik uzatish koeffitsiyenti, $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$; $\sum F_d$ – issiqxona devorlarining umumiy yuzasi, $[m^2]$; t_1 – issiqxonaning ichki harorati, $[^\circ C]$; t_2 – atrof-muhit harorati, $[^\circ C]$; α_1 va α_2 issiqlik berish koeffitsiyentlari, $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$.

Issiqxona asosi orqali isrof bo'ladigan issiqlik miqdori quyidagi matematik ifoda orqali aniqlaymiz:

$$Q_a = k_a \cdot \sum F_a \cdot (t_1 - t_2) \quad (7)$$

$$k_a = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} \quad (8)$$

$$\sum F_a = 2 \cdot h_1 \cdot L \quad (9)$$

bunda: k_a – issiqxona asosining issiqlik uzatish koeffitsiyenti, $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$; $\sum F_a$ – issiqxona asosining umumiy yuzasi, $[m^2]$.

Issiqxona shifti orqali isrof bo'ladigan issiqlik miqdori quyidagi matematik ifoda orqali aniqlaymiz:

$$Q_{sh} = k_{sh} \cdot \sum F_{sh} \cdot (t_1 - t_2) \quad (10)$$

$$k_{sh} = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} \quad (11)$$

$$\sum F_{sh} = 2 \cdot M \cdot L \quad (12)$$

bunda: k_{sh} – issiqxona shiftining issiqlik uzatish koeffitsiyenti, $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$; $\sum F_d$ – issiqxona shiftining umumiy yuzasi, $[m^2]$.

Issiqxonaning ichki yuzalardan konvektiv issiqlik uzatish koeffitsiyentini aniqlash ifodasi quyidagicha aniqlanadi (turbulent oqimlar uchun) [7]:

$$\alpha_1 = 0,1 \cdot \frac{\lambda_h}{L_p} \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,33} \quad 10^9 \leq Gr \cdot Pr \leq 10^{13} \quad (13)$$

bunda: L_p – tanlangan tomonning perimetr uzunligi, $[m]$; λ_h – havoning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, $[W/m \cdot ^\circ C]$.

Grasgof mezoni [8]:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta_h \cdot (T_1 - T_c) \cdot L_p^3}{(\frac{\mu_h}{\rho_h})^2} \quad (14)$$

Prandil mezoni:

$$Pr = \frac{\mu_h \cdot C_h}{\lambda_h} \quad (15)$$

bunda: C_h – havoning solishtirma issiqligi, $1005 J/kg \cdot ^\circ C$; g – erkin tushish tezlanishi, $9,81 m^2/s$.

Kinematik yopishqoqlik (v_{in}) dinamik yopishqoqlikning (μ_h) havo oqimi zichligi (ρ_h) nisbatiga teng va quyida formula orqali aniqlanadi:

$$v_{in} = \frac{\mu_h}{\rho_h} \quad (16)$$

bunda havo harorati $20 ^\circ C$ ga teng bo'lganda kinematik yopishqoqlik $1,6 \cdot 10^{-5} m^2/s$ ga teng bo'ladi.

Issiqxona konstruksiyasining qoplama harorati [9]:

$$T_c = \frac{T_1 + 2 \cdot T_2}{3} \quad (17)$$

Havo oqimining hajmli kengayish koeffitsiyenti [10]:

$$\beta_h = \frac{2}{T_1 + T_c} \quad (18)$$

Tashqi havo va issiqxonona qoplami o'rtasidagi konvektiv issiqlik berish koeffitsiyentini turbulent oqimlar uchun quyidagi tenglama bo'yicha hisoblash mumkin [10]:

$$\alpha_2 = 0,037 \cdot \frac{\lambda_h}{L_p} \cdot (Re)^{0,8} \cdot Pr^{0,33} \quad Re \geq 5 \cdot 10^5 \quad (19)$$

Reynolds mezonini:

$$Re = \frac{\rho_h \cdot v_{sh} \cdot L_p}{\mu_h} \quad (20)$$

bunda: v_{sh} – shamol tezligi, [m/s].

Issiqxonalarda infiltratsiyani kamaytirish isitish yuklamasi va energiya samaradorligiga ta'sir qiluvchi issiqxonaga tashqarisidan yoki undan chiqadigan havo miqdorini bildiradi. Infiltratsiya oqimini kamaytirish o'rtacha issiqxonani isitish xarajatlarini 3 dan 10% gacha tejash imkonini beradi. Infiltratsiya orqali isrof bo'ladigan issiqlik miqdori quyidagi matematik ifoda orqali aniqlanadi [11]:

$$Q_{inf} = \rho_h \cdot C_h \cdot N \cdot V \cdot (T_1 - T_2) \quad (21)$$

bunda: N – infiltratsiya darajasi shisha uchun $0,75 \text{ s}^{-1}$; V – issiqxonona hajmi, [m^3].

Issiqxonona shiftida o'rnatilgan derazalardan ventilyatsiya orqali isrof bo'ladigan issiqlik miqdori quyida bog'liqlik orqali aniqlanadi [12].

$$Q_V = \rho_h \cdot C_h \cdot V_v \cdot (t_1 - t_2) \quad (22)$$

Issiqxonona ekin maydonining tuprog'i va o'simliklar bilan issiqlik almashinuvi orqali isrof bo'ladigan issiqlik miqdorlari quyida matematik ifoda orqali aniqlanadi [13]:

$$Q_{tup} = \frac{\lambda_{tup}}{H_t} \cdot A_t \cdot (T_1 - T_t) \quad (23)$$

$$Q_{o'sm} = k_{o'sm} \cdot F_{o'sm} \cdot (T_{o'sm} - T_1) \quad (24)$$

bunda: H_t – harorat o'zgarish bo'lgan tuproq chuqurligi, [m]; A_t – tuproq maydoni, [m^2]; $k_{o's}$ – o'simliklarning issiqlik yutish koeffitsiyenti, $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{C}$; $F_{o'sm}$ – o'simliklar ekilgan maydon yuzasi, [m^2].

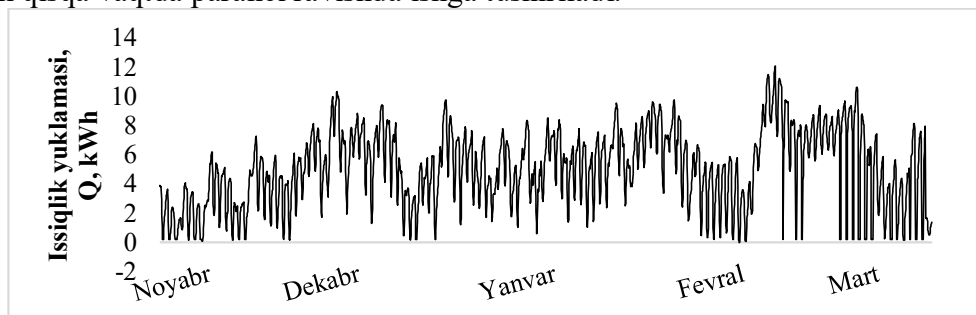
Issiqxonada sun'iy yorish chiroqlari orqali olinadigan issiqlik miqdori quyidagi tenglama orqali aniqlanadi [14]:

$$Q_y = W \cdot F_{hc} \cdot F_a \cdot A_{is,m} \quad (25)$$

bunda: W – issiqlik beruvchi chiroqlarning nominal quvvati, [W/m^2]; F_{hc} – issiqlik konvertatsiya koeffitsiyenti 0,6 ga teng; F_a – yorug'lik ta'minoti koeffitsiyenti, 0,9 ga teng; $A_{is,m}$ – issiqxonona maydoni, [m^2].

Natijalar

2-rasmda atrof-muhit harorati va quyosh radiatsiyasi o'zgarishiga bog'liq issiqxonaning issiqlik yuklamasi o'zgarish dinamikasi keltirilgan. Bunda issiqxonona ichidagi o'rtacha harorat 20°C qabul qilingan. Yanvar oyida harorat maksimal pasayishi hisobiga issiqlik yuklamasi 12 kWh gacha oshishi aniqlandi. Bunday vaqtlarda issiqxonani isitishda tabiiy yoqilg'ilarda ishlaydigan issiqlik qozonlarini qisqa vaqtda parallel ravishda ishga tushiriladi.

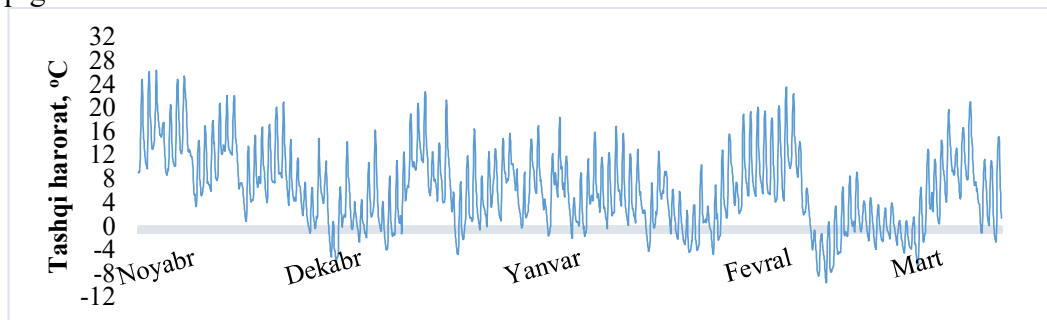


2-rasm. Issiqxonaning issiqlik yuklamasi o'zgarish dinamikasi
Figure 2. Dynamics of greenhouse heat load changes

3-rasmda 2023-yil 15-noyabrdan 2024-yil 15-martgacha bo'lgan davrda Qarshi shahrida atrof-muhit haroratining o'zgarish dinamikasi keltirilgan. Bunda harorat o'zgarishi 1 soat vaqt

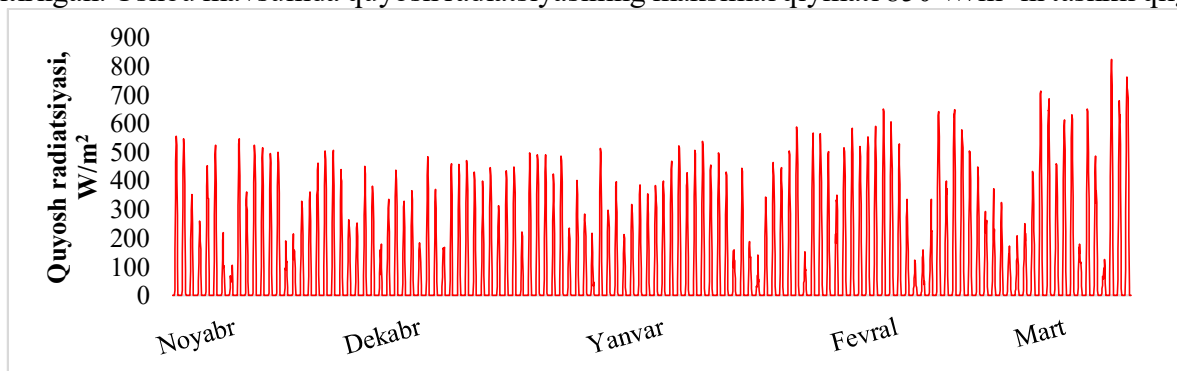


intervalida aniqlangan. Ushbu mavsumda maksimal harorat 26 °C va minimal harorat -10 °C ni tashkil qilgan.



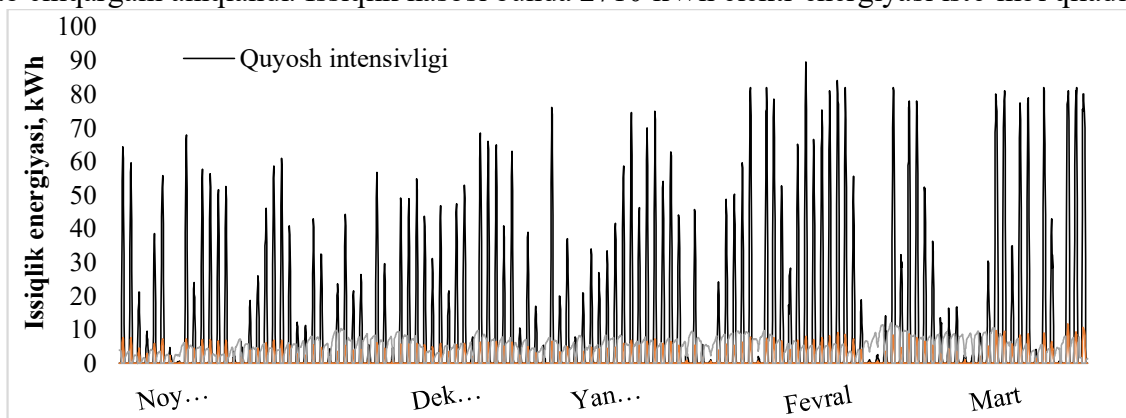
3-rasm. Atrof-muhit haroratining o‘zgarish dinamikasi
Figure 3. Dynamics of changes in ambient temperature

4-rasmda quyosh radiatsiyasining o‘zgarish dinamikasi (Qarshi shahri, 2023-2024-y) keltirilgan. Ushbu mavsumda quyosh radiatsiyasining maksimal qiymati 850 W/m² ni tashkil qilgan.



4-rasm. Quyosh radiatsiyasining o‘zgarish dinamikasi
Figure 4. Dynamics of solar radiation changes

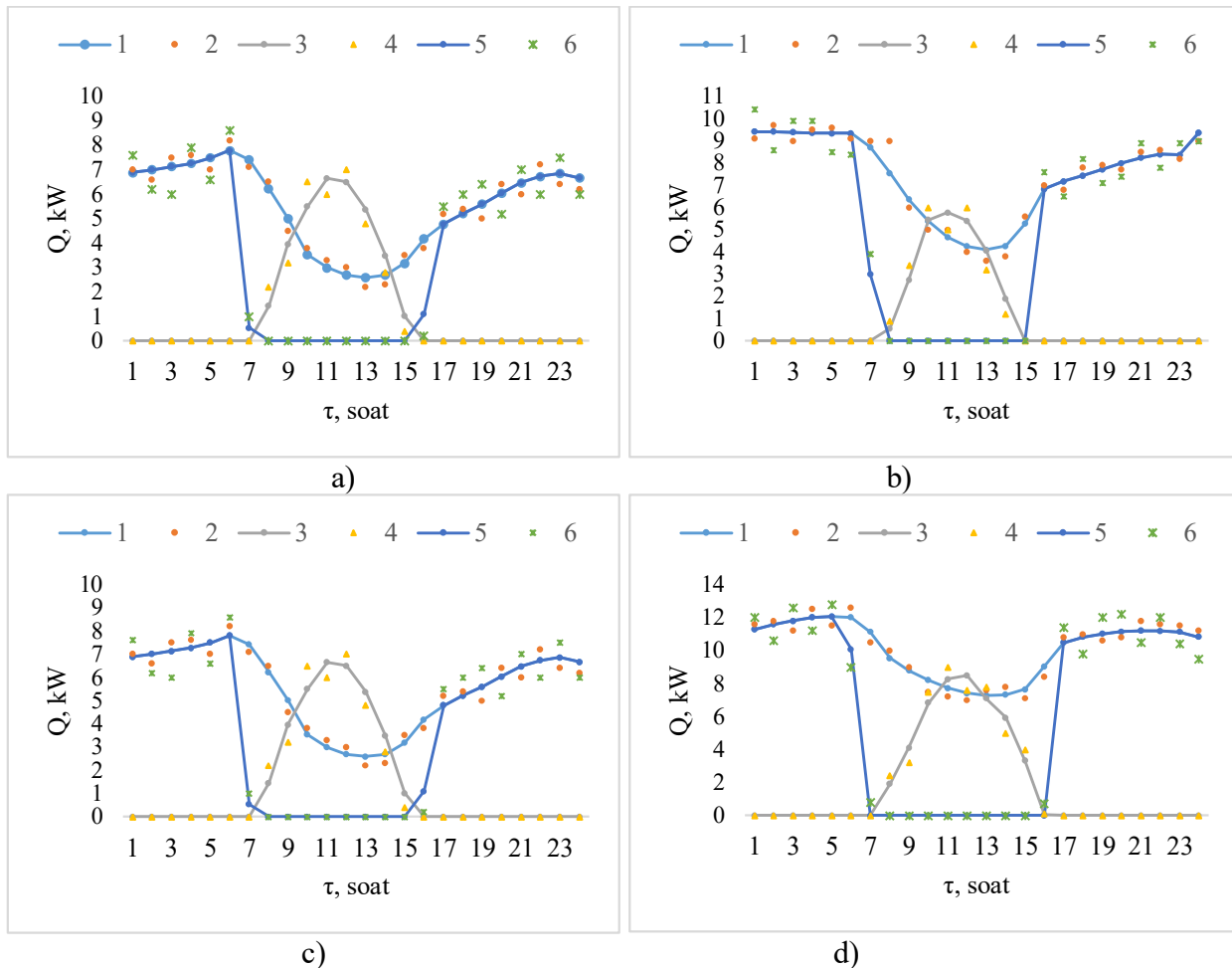
Hisoblashlar 2023-yil 15-noyabrdan 15-martgacha 1 soat vaqt intervalda amalga oshirilgan. Bunda shisha qoplamali foydali yuzasi 50 m² bo‘lgan issiqxona ichki harorati o‘rtacha 20°C qabul qilingan. Atrof-muhit harorati o‘zgarishi va issiqxonada issiqlik yo‘qotishlarni inobatga olib issiqxona ushbu mavsumda 14800 kWh issiqlik energiyasi iste’mol qilishi modellashtirildi. Issiqxonani quyosh bo‘lmagan vaqtlarda isitishda issiqlik nasosi 11150 kWh issiqlik energiyasi ishlab chiqargani aniqlandi. Issiqlik nasosi bunda 2710 kWh elektr energiyasi iste’mol qiladi.



5-rasm. Issiqxonani issiqlik energiya bilan ta’minlash grafigi
Figure 5. Graph of greenhouse heat energy supply

Atrof muhit-harorati yanvar oyida -8 °C dan tushib ketganda issiqxonada issiqlik yuklamasi 10 kWh dan 12 kWh gacha oshishini inobatga olib, ko‘mir yoqilg‘isida ishlashga mo‘ljallangan issiqlik qozonidan foydalanilgan. Qolgan issiqlik yuklamasi quyosh intensivligi va quyosh issiqlik kollektorlaridan foydalanib ta’minlangan.

6-rasmda 2023-yil 20-noyabr (a) va 20-dekabr (b), 2024-yil 20-yanvar va 20-fevral kunlari issiqxonada o'tkazilgan tajriba natijalari keltirilgan. Tajriba tadqiqotlari keltirilgan sanalarda 1 soat vaqt intervali bilan sutka davomida amalga oshirildi. 6-rasm (a) issiqxonada o'rnatilgan hududda soat 9⁰⁰ dan 17⁰⁰ gacha atrof-muhit harorati 18...22 °C bo'lishi aniqlandi va ushbu davrda issiqxonani isitishda to'liq quyosh radiatsiyasi orqali amalga oshirildi. Qolgan vaqtlarda harorat 10 °C pasayganda issiqxonani isitishda quyosh issiqlik kollektori va issiqlik nasoslaridan foydalanildi. 6-rasm (b) sutka davomida tashqi harorat -4...+8,5 °C gacha va issiqxonona yuklamasi 4,10...9,4 kWh gacha o'zgarishi aniqlandi. Ushbu davrda issiqxonani isitishda 178,5 kWh issiqlik energiyasi jumladan, quyosh bo'lmagan vaqtlarda issiqlik nasosidan 130,5 kWh va qolgan vaqtlarda quyosh issiqlik kollektorlaridan 48 kWh foydalanildi. 6-rasm (c) sutka davomida tashqi harorat -0,5...+12,5 °C gacha va issiqxonona yuklamasi 2,5...7,8 kWh gacha o'zgarishi aniqlandi. 20-yanvarda issiqxonani isitishda 132,35 kWh issiqlik energiyasi jumladan, quyosh bo'lmagan vaqtlarda issiqlik nasosidan 93,48 kWh, qolgan vaqtlarda quyosh radiatsiyasi va quyosh issiqlik kollektorlaridan 38,87 kWh foydalanildi. 6-rasm (d) sutka davomida tashqi harorat -9,5...+0,8 °C gacha va issiqxonona yuklamasi 7,28...12,1 kWh gacha o'zgarishi aniqlandi. 20-fevralda issiqxonani isitishda 242,56 kWh issiqlik energiyasi jumladan, quyosh bo'lmagan vaqtlarda issiqlik nasosidan 156,58 kWh, qolgan vaqtlarda quyosh radiatsiyasi va quyosh issiqlik kollektorlaridan 85,98 kWh foydalanildi.



6-rasm. Issiqxonada o'tkazilgan tajriba tadqiqot natijalari
1,3,5-hisoblash natijalari; 2,4,6-tajriba natijalari
Figure 6. Results of the greenhouse experiment
1,3,5-calculation results; 2,4,6-experiment results



Xulosa

Qarshi shahrida joylashgan foydali maydoni 50 m² bo'lgan ikki qiya konstruksiyali issiqxonaning 2023-yil 15-noyabrdan 2024-yil 15-martga qadar bo'lgan davrda issiqlik yuklamasi atrof-muhit harorati, quyosh radiatsiyasi va issiqxonada issiqlik yo'qotishlarni inobatga olib aniqlanadi. Natijalarga ko'ra, ushbu mavsumda issiqxona 14800 kWh issiqlik energiyasi iste'mol qilishi tadqiq qilindi. Bunda 11160 kWh issiqlik energiyasi issiqlik nasosi, 3160 kWh quyosh issiqlik kollektori, 400 kWh issiqlik qozonidan va qolgan quyosh nurlanishid orqali ta'minlandi.

Issiqxonani isitish mavsumi davomida an'anaviy isitish qurilmalari uchun sarf bo'ladigan tabiiy gaz 1835 m³ va 2260 t.sh.yo tejalishiga, ushbu tabiiy gaz yonganda atrof-muhitga ajraladigan 3395 kg CO₂ kamaytirishga erishildi. Issiqxona energiya ta'minoti tizimining iqtisodiy samaradorlik ko'rsatgichlari baholandi. Bunga ko'ra sof joriy qiymat 138.7 mln. so'm, foydaning ichki me'yori 10%, foyda indeksi 2,03 va qoplash muddati 6,4 yilni tashkil qilishi aniqlandi.

Adabiyotlar

- [1] <https://www.globenewswire.com/newsrelease/2023/12/11/2794082/28124/en/Smart-Greenhouse-Global-Strategic-Industry-Report-2023-2030-AgTech-Emerges-as-New-Buzzword-in-Agricultural-Growing-Adoption-of-IoT-Presents-Vast-Opportunities.html>
- [2] Xu D., Li Y. Et al. Effects of orientation and structure on solar radiation interception in Chinese solar greenhouse. PLOS ONE, 2020, 15(11):e0242002, pp.1-17.
- [3] Rasakhodzhaev B.S., Akhmadjanov U.Z., Boboeva M.O., Mashrapova I.R., Tokonova T.S.. Investigation of solar greenhouses with transformable (adjustable) body depending on indoor and outdoor air temperature. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2022, 1070, 012030, pp. 1-9.
- [4] Akhatov J.S., Halimov A.S. Numerical calculations of heat engineering parameters of a solar greenhouse dryer, Applied Solar Energy, 2015, Vol.51, No.2, pp. 107-111.
- [5] Santos B.M. et al. A solar collector design procedure for crop drying. Brazilian Journal of Chemical Engineering. Vol. 22, No. 02, 2005, pp. 277 – 284
- [6] Tataraki K.G. at el. Combined Cooling Heating and Power systems in greenhouses. Grassroots and retrofit design. Energy, 2019, 189(5):116283
- [7] Nems A., Nems M. and Swider K. Analysis of the Possibilities of Using a Heat Pump for Greenhouse Heating in Polish Climatic Conditions—A Case Study. Sustainability, 2018, 10, 3483; doi:10.3390/su10103483
- [8] Asgari N. at el. Energy Modeling and Techno-Economic Feasibility Analysis of Greenhouses for Tomato Cultivation Utilizing the Waste Heat of Cryptocurrency Miners. Energies 2023, 16, 1331. <https://doi.org/10.3390/en16031331>
- [9] Bakker J.C., Bot G.P., Challa H., Van de Braak N.J. Greenhouse Climate Control: An Integrated Approach; Wageningen Academic Publishers: Wageningen, The Netherlands, 1995; ISBN 978-90-8686-501-7.
- [10] Rutkowski K., Wojciech J.. Reducing heat consumption in greenhouses. In'zyniera Rolnicza 2008, 9, pp. 249–255.
- [11] Maslak K.. Thermal Energy Use in Greenhouses. Licentiate Thesis Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp 2015, pp.1-68
- [12] Dimitropoulou, A.-M.N. Maroulis, V.Z.; Giannini, E.N. A Simple and Effective Model for Predicting the Thermal Energy Requirements of Greenhouses in Europe. Energies 2023, 16, 6788. <https://doi.org/10.3390/en16196788>
- [13] Zabeltitz Ch. Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011. ISBN 978-3-642-14581-0
- [14] Tunc M., Venart S., Sollows K.. Bivalent (hybrid) heat pumpoil heating systems for greenhouses. J Heat Recover Syst, 1985;5(6):483–91.