



UDC: 662.997

doi.10.70769/2181-284.ME.2(23).2026.6

GELIOISSIQXONADA QUYOSH SUV KOLLEKTORLI ISSIQ POLLI ISITISH TIZIMINING MATEMATIK MODELI VA ENERGIYA SAMARADORLIGI TAHLILI

Uzoqov G'ulom Norboyevich - texnika fanlari doktori, professor,

<https://orcid.org/0009-0005-7386-8075> e-mail: uzoqov66@mail.ru

Ibragimov Umidjon Xikmatullayevich - texnika fanlari doktori, professor,

<https://orcid.org/0009-0008-0582-6713> e-mail: ibragimov_u@rambler.ru

Xusenov Aslam Aktam o'g'li - assistent

<https://orcid.org/0009-0008-1906-3577> e-mail: xusenovaslan@gmail.com

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

Annotatsiya. Kirish. Gelioissiqxonalarda energiya sarfini kamaytirish va qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan samarali foydalanish bugungi kunda dolzarb masalalardan biri hisoblanadi.

Usul va materiallar. Tadqiqotlarda o'lchami $8,6 \times 5,8$ m bo'lgan gelioissiqxona tanlanib, issiq polli isitish tizimi uchun PEX Ø16 mm quvurlar serpantin shaklida tuproq ostiga joylashtirildi. Issiqlik almashinuvi jarayonlarini tavsiflash uchun tuproq va ichki havo uchun energiya balansini tenglamalari tuzildi hamda oldinga Eyler usuli asosida diskret matematik model ishlab chiqildi. Tizimning gidravlik parametrlarini aniqlashda suv sarfi, bosim yo'qotishlari va issiqlik yuklamalari hisoblandi.

Natijalar. Tadqiqot natijalariga ko'ra, tuproq harorati $20,9-27,6^{\circ}\text{C}$ oralig'ida o'zgarib, bodring ildiz zonasi uchun optimal $22-25^{\circ}\text{C}$ harorat rejimi ta'minlandi. Ichki havo harorati IPIT hisobiga o'rtacha $4,0-6,3^{\circ}\text{C}$ ga oshgani hamda quyosh energiyasi umumiy issiqlik yuklamasining $15,4-50,5\%$ qismini qoplagani aniqlandi.

Xulosa. Quyosh suv kollektori issiq polli isitish tizimi gelioissiqxonada energiya tejamkor va ekologik xavfsiz isitishni ta'minlash imkonini berdi. Ishlab chiqilgan matematik model tizimning issiqlik rejimini baholash va optimal konstruktiv parametrlarini aniqlashda samarali vosita ekanligi bilan ahamiyatlidir. Tadqiqot natijalari gelioissiqxonalarda qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish hisobiga barqaror mikroiklim yaratish va energiya samaradorligini oshirish mumkinligini ko'rsatdi.

Kalit so'zlar: gelioissiqxona, quyosh suv kollektori, issiq polli isitish tizimi, issiqlik almashinuvi, energiya samaradorligi, matematik model, suvli issiqlik akkumulyatori, issiqlik yuklamasi.

Дата поступления: 15.05.2026. После обработки: 18.05.2026 Принято печать: 22.06.2026

For citation: Uzakov G.N., Ibragimov U.Kh., Xusenov A.A. Mathematical Model and Energy Efficiency Analysis of a Solar Water Collector-Based Underfloor Heating System in a Solar Greenhouse. *Alternative energy*. 2026. 2(23). pp. 67-78.

UDC 662.997

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЁПЛОГО ПОЛА С СОЛНЕЧНЫМ ВОДЯНЫМ КОЛЛЕКТОРОМ В ГЕЛИОТЕПЛИЦЕ

Узаков Гулом Норбоевич - доктор технических наук, профессор,

<https://orcid.org/0009-0005-7386-8075> e-mail: uzoqov66@mail.ru

Ибрагимов Умиджон Хикматуллаевич - доктор технических наук, профессор



<https://orcid.org/0009-0008-0582-6713> e-mail: ibragimov_u@rambler.ru

Хусенов Аслам Актам угли – ассистент

<https://orcid.org/0009-0008-1906-3577> e-mail: xusenovaslan@gmail.com

Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. Введение. Снижение энергопотребления в гелиотеплицах и эффективное использование возобновляемых источников энергии в настоящее время являются одними из актуальных задач.

Методы и материалы. В исследованиях была выбрана гелиотеплица размером $8,6 \times 5,8$ м, а трубы PEX Ø16 мм системы тёплого пола были уложены под почвой в форме серпантина. Для описания процессов теплообмена были составлены уравнения энергетического баланса для почвы и внутреннего воздуха, а также разработана дискретная математическая модель на основе метода Эйлера вперёд. При определении гидравлических параметров системы были рассчитаны расход воды, потери давления и тепловые нагрузки.

Результаты. Согласно результатам исследования, температура почвы изменялась в диапазоне $20,9-27,6^{\circ}\text{C}$, при этом для корневой зоны огурца был обеспечен оптимальный температурный режим $22-25^{\circ}\text{C}$. Установлено, что температура внутреннего воздуха за счёт системы тёплого пола повысилась в среднем на $4,0-6,3^{\circ}\text{C}$, а солнечная энергия покрывала $15,4-50,5\%$ общей тепловой нагрузки.

Заключение. Система тёплого пола с солнечным водяным коллектором обеспечила возможность энергосберегающего и экологически безопасного отопления в гелиотеплице. Разработанная математическая модель имеет важное значение как эффективный инструмент для оценки теплового режима системы и определения её оптимальных конструктивных параметров. Результаты исследования показали возможность создания стабильного микроклимата и повышения энергетической эффективности в гелиотеплицах за счёт использования возобновляемых источников энергии.

Ключевые слова: гелиотеплица, солнечный водяной коллектор, система тёплого пола, теплообмен, энергетическая эффективность, математическая модель, водяной тепловой аккумулятор, тепловая нагрузка.

UDC 662.997

MATHEMATICAL MODEL AND ENERGY EFFICIENCY ANALYSIS OF A SOLAR WATER COLLECTOR-BASED UNDERFLOOR HEATING SYSTEM IN A SOLAR GREENHOUSE

Uzakov Gulam Norboyevich - DSc, Professor,

<https://orcid.org/0009-0005-7386-8075> e-mail: uzoqov66@mail.ru

Ibragimov Umidjon Khikmatullayevich - DSc, Professor,

<https://orcid.org/0009-0008-0582-6713> e-mail: ibragimov_u@rambler.ru

Xusenov Aslam Aktam ugli - Assistant

<https://orcid.org/0009-0008-1906-3577> e-mail: xusenovaslan@gmail.com

Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. Introduction. Reducing energy consumption in solar greenhouses and the efficient use of renewable energy sources are among the urgent issues today.

Methods and materials. In the study, a solar greenhouse with dimensions of 8.6×5.8 m was selected, and PEX Ø16 mm pipes for the underfloor heating system were installed under the soil in a serpentine pattern. To describe the heat transfer processes, energy balance equations for the soil and indoor air were developed, and a discrete mathematical model based on the forward Euler



method was created. Water flow rate, pressure losses, and heat loads were calculated to determine the hydraulic parameters of the system.

Results. According to the research results, the soil temperature varied within the range of 20.9-27.6°C, ensuring the optimal temperature regime of 22-25°C for the cucumber root zone. It was determined that the indoor air temperature increased by an average of 4.0-6.3°C due to the underfloor heating system, while solar energy covered 15.4-50.5% of the total heat load.

Conclusion. The solar water collector-based underfloor heating system provided energy-efficient and environmentally safe heating in the solar greenhouse. The developed mathematical model is significant as an effective tool for evaluating the thermal regime of the system and determining its optimal design parameters. The research results demonstrated the possibility of creating a stable microclimate and improving energy efficiency in solar greenhouses through the use of renewable energy sources.

Keywords: solar greenhouse, solar water collector, underfloor heating system, heat transfer, energy efficiency, mathematical model, water heat accumulator, heat load.

Kirish

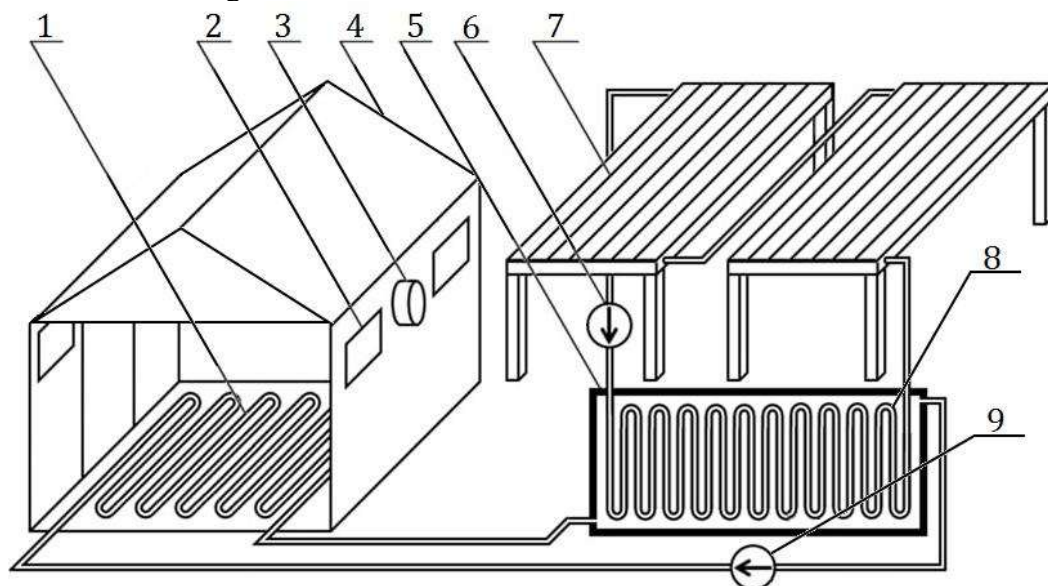
Gelioissiqxonalarda energiya tejankor va ekologik xavfsiz isitish tizimlarini qo'llash zamonaviy qishloq xo'jaligining dolzarb yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Quyosh suv kollektorli issiq polli isitish tizimlari (QSK-IPIT) tuproq haroratini barqaror saqlash orqali gelioissiqxonada qulay mikroiklim yaratib, hosildorlikni oshirish imkonini beradi. Shu sababli QSK-IPIT tizimining issiqlik almashinuvi jarayonlarini matematik modellashirish, energiya samaradorligini baholash va optimal konstruktiv parametrlarini aniqlash muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi. Issiqxonalarini ekspluatatsiya qilish jarayonida sarflanadigan energiya miqdori ham juda yuqori. Ko'pgina hollarda energiya xarajatlari ishchi kuchi xarajatlaridan keyin ikkinchi o'rinda turadi [1]. Shu sababli, issiqxonalar yordamida oziq-ovqat ishlab chiqarishni kengaytirish bilan birga global iqlim o'zgarishiga salbiy ta'sirni kamaytirish uchun ushbu sohada yuqori samaradorlikka ega va qayta tiklanuvchi energiya manbalariga asoslangan texnologiyalarni joriy etish zarurati tobora ortib bormoqda. Turli iqlim sharoitlarida faoliyat yurituvchi an'anaviy issiqxonalar uchun dolzarb bo'lgan isitish va sovitish ehtiyojlarini qondirish maqsadida bir nechta texnologiyalarni birgalikda qo'llash, jumladan issiqlik nasoslaridan foydalanish yondashuvi tobora ko'proq o'rganilmoqda. Tadqiqotchilar maksimal energiya samaradorligiga erishish va energiya sarfini kamaytirish uchun faol va passiv texnologiyalar kombinatsiyasidan foydalanmoqda [2, 3]. Bargach va boshqalar [4] qishloq xo'jaligi issiqxonalarini isitish uchun qo'llaniladigan ikki xil quyosh tizimining eksperimental tahlilini amalga oshirgan. Birinchi tizim polietilen qoplamali issiqxona tashqarisiga o'rnatilgan yassi plastinali quyosh kollektorlariga asoslangan. Ikkinchi tizim esa metilen ko'kning (blue of methylene) selektiv yutilish xususiyatidan foydalangan holda shaffof alveolyar polietilen kollektorlar orqali issiqlik tashuvchi suyuqlik yordamida issiqxona ichida joylashtirilgan bo'lib, shisha tomli issiqxonada sinovdan o'tkazilgan. Har ikkala tizim bo'yicha tajribalar bir necha kun davomida parallel ravishda bajarilgan. Ushbu ishda birinchi tizim bilan isitilgan plastik issiqxona bo'yicha olingan eksperimental natijalar hamda ikkinchi tizim bilan isitilishi modellashirilgan ayni issiqxona uchun hisoblangan natijalar asosida tizimlarning ishlash samaradorligi taqqoslangan. Nayak va Tiwarilar [5] Hindistonning Dehli shahrida joylashgan issiqxonaga integratsiyalashgan fotoelektr-termal (PV/T) va yer-havo issiqlik almashinish qurilmasi tizimining turli iqlim sharoitlarida yillik issiqlik va eksergiya ko'rsatkichlarini baholagan. Tadqiqot Srinagar, Mumbai, Jodhpur, Yangi Dehli va Bangalor shaharlarining iqlim sharoitlarini qamrab olgan. Natijalar quyosh radiatsiyasi intensivligi va quyoshli soatlar soni yuqori bo'lgani sababli Jodhpur shahrida yillik umumiy issiqlik energiyasi $29156,8 \text{ kVt} \cdot \text{soat}$, yillik elektr tejalishi $1185 \text{ kVt} \cdot \text{soat}$ va yillik eksergiya $1366,4 \text{ kVt} \cdot \text{soat}$ eng yuqori ekanini ko'rsatgan. Shu bilan birga, energiyani qoplash muddati Jodhpur uchun eng qisqa 16,7 yil, Srinagar uchun esa eng uzun 21,6 yil bo'lgan. Attar va boshqalar [6] Tunis iqlim sharoitlariga moslashtirilgan issiqxonalar uchun quyosh suv isitish tizimining ishlash samaradorligini baholagan. Tizim umumiy yuzasi 4 m^2 bo'lgan ikki dona quyosh kollektori, 200 litrli issiqlik saqlash baki va issiqxonaga integratsiyalashgan kapillyar polipropilen



issiqlik almashinish qurilmasidan iborat bo'lgan. Modellastirish jarayonida kollektorlarni ketma-ket va parallel ulashning barcha mumkin bo'lgan variantlari ko'rib chiqilgan. Bundan tashqari, tizim samaradorligiga ta'sir etuvchi parametrlar-kirish oqim tezligi, bak hajmi va kollektor yuzasi ham alohida tahlil qilingan. Natijalar bak hajmi oshgani sari kollektor chiqishidagi harorat pasayishini ko'rsatgan. Shu bilan birga, yuqori oqim tezligi issiqlik qatlamlanishi hodisasini kamaytirib, tizim umumiy samaradorligini oshirgan. Tadqiqotchilar issiqlik almashinish qurilmasiga kirish oqimini kamaytirish isitishdagi yo'qotishlarni qisqartirish uchun samarali usul ekanini qayd etgan. Yuqoridagi tadqiqotlar natijalari issiqxonalarda qayta tiklanuvchi energiya manbalariga asoslangan isitish tizimlarini qo'llash energiya samaradorligini oshirish va issiqlik yo'qotishlarini kamaytirishda muhim ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatadi. Shu asosda mazkur tadqiqotda gelioissiqxona uchun quyosh suv kollektorli issiq polli isitish tizimining konstruktiv yechimi, ishlash prinsipi hamda uning issiqlik almashinuvi jarayonlari tahlil qilinadi.

Tizimning konstruktiv yechimi va ishlash prinsipi

Hozirgi kunda gelioissiqxonalarda quyosh energiyasidan foydalanish, isitish tizimlarini tejamkor, ekologik xavfsiz va barqaror tashkil etish imkonini bermoqda. Quyosh suv kollektorlariga asoslangan issiq polli isitish tizimlari (QSK-IPIT) past haroratli isitish tizimlari bo'lib, issiqlikning bir tekis taqsimlanishini hamda o'simliklar uchun qulay mikroiklimni ta'minlaydi. Bunday tizimlarning samaradorligini baholash, issiqlik quvvati va ishlash rejimlarini aniqlash, shuningdek ularni issiqlik nasosi bilan birgalikda qo'llash imkoniyatlarini tahlil qilishda matematik modellastirish muhim ahamiyatga ega. QSK-IPITning fizik modeli issiqlik energiyasini yig'ish, uzatish va taqsimlash jarayonlarini tavsiflaydi hamda quyosh suv kollektori (QSK), suvli issiqlik akkumulyatori (SIA), sirkulyatsion nasos, issiq polli isitish tizimi (IPIT), tuproq qatlamlari va issiqxona ichki havo muhitidan tashkil topgan. Ushbu modelda issiqlik energiyasi QSKda olinadi, SIAda saqlanadi va sirkulyatsion nasos yordamida IPIT orqali tuproq qatlamiga uzatiladi. Tuproqdan issiqlik konduktiv va konvektiv almashinuv orqali issiqxona ichki havo muhitiga beriladi. Tizim yopiq konturda ishlovchi past haroratli isitish tizimi bo'lib, uning strukturaviy sxemasi 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Quyosh suv kollektorli issiq polli isitish tizimi sxemasi: 1-issiqlik polli isitish tizimi; 2-shamollatish tuynugi; 3-ventilyator; 4-gelioissiqxona; 5-suvli issiqlik akkumulyator; 6, 9-sirkulyatsion nasos; 7-quyosh suv kollektori; 8-zmeevik quvur.

QSK-IPITning ishlash prinsipi quyidagicha. Quyosh nurlanishi ta'sirida QSKda (7) issiqlik energiyasi hosil bo'lib, ishchi suyuqlik (suv) qiziydi. Qizigan suv sirkulyatsion nasos (6) yordamida SIAda (5) uzatiladi va unda issiqlik zaxirasi to'planadi. SIAda saqlangan issiq suv keyinchalik sirkulyatsion nasos (9) orqali IPIT (1) quvurlariga yo'naltiriladi. IPIT orqali issiqlik issiqxona tuprog'iga va havo muhitiga bir tekisda uzatiladi, bu esa o'simliklar uchun qulay mikroiklimni



ta'minlaydi. Issiqxonadagi havo almashinuvi shamollatish tuynugi (2) va ventilyator (3) yordamida tartibga solinadi. Quyosh nurlanishi yetarli bo'lmagan holatlarda ham SIAda to'plangan issiqlik hisobiga tizim barqaror ishlaydi. Shu tariqa, gelioissiqxona sharoitida energiya tejamkor, ekologik xavfsiz va uzluksiz isitish jarayoni ta'minlanadi.

Usul va materiallar

Yuqoridagi 1-rasmda ko'rsatilgan QSK-IPIT tizimining samaradorligi, avvalo, tuproq qatlamida shakllanadigan harorat rejimi bilan belgilanadi. QSK-IPITli gelioissiqxona sharoitida bodring yetishtirishda tuproqning harorat rejimi muhim agrotexnik omillardan hisoblanadi. Tadqiqotlar natijalariga ko'ra, bodring ildiz tizimining faol rivojlanishi va o'simlikning normal o'sishi uchun tuproqning optimal harorati $22-25^{\circ}\text{C}$ bo'lishi lozim [7]. Tuproq harorati 18°C dan past bo'lganda ozuqa moddalarining o'zlashtirilishi susayadi, o'sish sekinlashadi va hosildorlik kamayadi. Shu sababli gelioissiqxonalarda bodring yetishtirishda tuproq haroratini optimal darajada ushlab turish yuqori va sifatli hosil olishning muhim sharti hisoblanadi. O'lchami $8,6 \times 5,8 \text{ m}$ bo'lgan gelioissiqxonada bodring yetishtirishda ekinlarni joylashtirish sxemasini to'g'ri tanlash yuqori hosildorlik va qulay mikroiklimni ta'minlaydi. Amaliy tajribalar va agrotexnik tavsiyalarga ko'ra, gelioissiqxona maydonining 70-80% qismida ekinlar joylashtirish, qolgan qismini esa yo'laklar va texnik xizmat ko'rsatish zonalariga ajratish eng optimal variant hisoblanadi. Mazkur issiqxonada $1,0 \text{ m}$ kenglikdagi markaziy yo'lak tashkil etilib, qolgan $4,8 \text{ m}$ kenglikdagi maydon bodring ekish uchun ajratildi. Ushbu kenglik issiqxonaning har ikki tomonida $2,4 \text{ m}$ dan ekish zonalariga bo'lindi. Har bir ekish zonasida 3 tadan bodring qatori va jami 6 ta qator hosil qilindi. Bodring qatorlari orasidagi masofa 75 sm , o'simliklar orasidagi masofa esa $30-35 \text{ sm}$ qilib belgilandi [8]. Qatorlarning uzunligi $8,2 \text{ m}$ ni tashkil etadi. Issiqlikning bir tekis taqsimlanishini ta'minlash maqsadida IPIT bodring qatorlari ostidan serpantin (ilonizi) shaklida joylashtiriladi. Quvurlar tuproq yuzasidan 30 sm chuqurlikda yotqiziladi, quvurlar orasidagi masofa esa 25 sm , quvur va devor orasidagi masofa 20 sm qabul qilinadi. Bunday joylashtirish issiqlikning ildiz zonasiga yo'naltirilgan holda uzatilishini va tuproq qatlamida sovuq zonalar hosil bo'lmasligini ta'minlaydi. IPIT quvurlarining uzunligi quyidagicha aniqlanadi: qator uzunligi $l_1 = 8,2 \text{ m}$, serpantin bo'yicha quvur oralig'i $a = 0,25 \text{ m}$, bir tomon uchun qamrab olinadigan kenglik $B = 2,0 \text{ m}$ bo'lsa, quvur joylashtiriladigan foydali maydon:

$$A_f = l_1 \cdot B = 8,2 \cdot 2,0 = 16,4 \text{ m}^2$$

Quvurning umumiy uzunligi:

$$L = \frac{A_f}{a} = \frac{16,4}{0,25} = 65,6 \text{ m}$$

Montaj zahirasi 10% qabul qilinganda:

$$L = 65,6 + 0,1 \cdot 65,6 = 72,2 \text{ m}$$

Quvur qatorlari soni:

$$n = \frac{B}{a} = \frac{2,0}{0,25} = 8$$

IPITda quvur diametri kontur uzunligi va gidravlik yo'qotishlar asosida tanlanadi. Mazkur gelioissiqxonada har bir isitish konturining uzunligi $72,2 \text{ m}$ ni tashkil etgani sababli PEX $\varnothing 16 \text{ mm}$ quvurlar yetarli suv sarfini ta'minlaydi va bosim yo'qotishlari ruxsat etilgan chegaralarda bo'ladi. PEX quvur kross-bog'langan polietilendan tayyorlanib, yuqori haroratga chidamliligi, egiluvchanligi va uzoq xizmat muddati sababli IPITlarida keng qo'llaniladi. Shu sababli ko'rib chiqilayotgan IPIT uchun PEX $\varnothing 16 \text{ mm}$ quvur diametri optimal tanlov hisoblanadi [9]. IPITlarida PEX quvurlar orqali issiqlik tashuvchining harakat tezligi va bosim yo'qotishlari tizimning gidravlik barqarorligi hamda energiya samaradorligini belgilovchi asosiy omillardan hisoblanadi. Amaliy tavsiyalarga ko'ra, past haroratli IPITlarida suvning ruxsat etilgan tezligi $0,2-0,6 \text{ m/s}$ oralig'ida bo'lishi lozim [10]. Hisoblashlarda o'rtacha $w = 0,4 \text{ m/s}$ qiymat qabul qilinadi. Ushbu tezlikda suv oqimining massaviy sarfi quyidagicha aniqlanadi:

$$G = w \cdot A_{q,i} \cdot \rho = 0,4 \cdot 1,13 \cdot 10^{-4} \cdot 1000 = 0,034 \text{ kg/s} \quad (1)$$

bu yerda quvurning ichki diametri $d_{q,i} = 0,012 \text{ m}$, ko'ndalang kesim yuzasi:

$$A_{q,i} = \pi d_{q,i}^2 / 4 = 3,14 \cdot 0,012^2 / 4 = 1,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (2)$$



Quvurlardagi bosim yo'qotishi:

$$\Delta P = \lambda \frac{L_{um}}{d_{q,i}} \frac{\rho w^2}{2} = 0,025 \cdot \frac{72,2}{0,012} \frac{1000 \cdot 0,4^2}{2} = 12,0 \text{ kPa} \quad (3)$$

bu yerda λ -gidravlik qarshilik koeffitsienti (PEX quvurlar uchun 0,02-0,03).

Olingan natija IPITlar uchun ruxsat etilgan 10-20 kPa bosim yo'qotishlari oralig'ida bo'lib, tizimning sirkulyatsion nasos yordamida barqaror va energiya tejamkor ishlashini ta'minlaydi. Natijada, tanlangan gidravlik parametrlar IPITning tuproq qatlamida issiqlikning bir tekis taqsimlanishini ta'minlab, bodring ildiz zonasida barqaror 22-25°C harorat rejimini shakllantirishga xizmat qiladi. Tizimning haqiqiy samaradorligi, avvalo, bodring yetishtirish uchun tuproq yuzasida zarur bo'lgan barqaror harorat rejimini ta'minlash qobiliyati bilan belgilanadi. Tuproq bir vaqtning o'zida issiqlikni qabul qiladi, saqlaydi va uzatuvchi muhit vazifasini bajaradi. Tuproq uchun energiya balansi tenglamasiga asoslangan dinamik modelni ishlab chiqishda quyidagi asosiy issiqlik oqimlari hisobga olinadi: quyosh nurlanishi orqali uzatilayotgan issiqlik, tuproq osti IPIT orqali uzatiladigan issiqlik, issiqxona havosi bilan konvektiv issiqlik almashinuvi, tuproqning pastki qatlamlariga o'tkaziladigan issiqlik, bug'lanish jarayoniga sarflanadigan issiqlik va ichki havodan tashqi muhitga uzatilgan issiqlik. Shu asosda tizim ikkita $t_t(\tau)$ va $t_{i,h}(\tau)$ o'zgaruvchi bilan ifodalanadi.

Tuproq uchun energiya balansi tenglamasi:

$$c_{p,t} \rho_t V_t \frac{dt_t}{d\tau} = Q_q + Q_{IPIT} - Q_{kv} - Q_{kd} - Q_{bug} \quad (4)$$

bu yerda $c_{p,t} = 1200 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$ -tuproqning issiqlik sig'imi; $\rho_t = 1600 \text{ kg/m}^3$ -tuproqning zichligi; $V_t = 32,8 \cdot 0,35 = 11,5 \text{ m}^3$ -gelioissiqlixonada issiqlik almashinuvida ishtirok etayotgan tuproq hajmi; $Q_q(\tau)$ -quyosh nurlanish intensivligi hisobiga tuproqqa uzatilayotgan issiqlik miqdori:

$$Q_q = I_q \cdot A_t \cdot \tau \cdot \alpha \quad (5)$$

bu yerda I_q -quyosh nurlanish intensivligi, Wt/m^2 ; $A_t = 32,8 \cdot \text{m}^2$ -tuproq yuzasi maydoni; $\tau = 0,8$ -shisha qoplamaning o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti; $\alpha = 0,75$ -tuproqning yutish koeffitsiyenti, demak:

$$Q_q = 19,68 \cdot I_q \quad (6)$$

Q_{IPIT} -IPIT asosida tuproqqa berilayotgan issiqlik miqdori:

$$Q_{IPIT} = m_s c_{p,s} (t_k - t_{ch}) \quad (7)$$

bu yerda m_s -issiqlik suv sarfi, kg/s ; $c_{p,s} = 4190 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$ -suvning solishtirma issiqlik sig'imi; t_k va t_{ch} -suvning kirish va chiqishdagi haroratlari, $^\circ\text{C}$; Q_{kv} -tuproqdan havoga uzatilayotgan konvektiv issiqlik miqdori:

$$Q_{kv} = h_{t-i,h} A_t (t_t - t_{i,h}) \quad (8)$$

bu yerda $h_{t-i,h} = 8 \text{ Wt/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ -tuproqdan ichki havoga konvektiv issiqlik berish koeffitsiyenti; t_t va $t_{i,h}$ -tuproq va gelioissiqlixona ichki havosining o'rtacha haroratlari, demak:

$$Q_{kv} = 262,4 (t_t - t_{i,h}) \quad (9)$$

Q_{kd} -tuproqning quyi qatlamiga uzatilayotgan konduktiv issiqlik miqdori:

$$Q_{kd} = \frac{\lambda_t}{\delta_{q,q}} A_t (t_t - t_{q,q}) \quad (10)$$

bu yerda $\lambda_t = 1,2 \text{ Wt/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$ -tuproqning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti; $\delta_{q,q} = 1,5 \text{ m}$ -issiqlik oqimi yo'nalishidagi ekvivalent qalinlik; $t_{q,q} = 12^\circ\text{C}$ -tuproqning quyi qatlami harorati, demak:

$$Q_{kd} = 26,24 (t_t - 12) \quad (11)$$

Q_{bug} -tuproq yuzasidan bug'lanishga sarflanadigan issiqlik miqdori:

$$Q_{bug} = k_b \cdot A_t (t_t - t_{i,h}) \quad (12)$$

bu yerda $k_b = 10 \text{ Wt/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ -bug'lanish intensivligi koeffitsiyenti, demak:

$$Q_{bug} = 328 (t_t - t_{i,h}) \quad (13)$$

Yuqorida keltirilgan (6), (7), (9), (11) va (13) ifodalarni (14) ifodaga qo'yib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$c_{p,t} \rho_t V_t \frac{dt_t}{d\tau} = 19,68 \cdot I_q + m_s c_{p,s} (t_k - t_{ch}) - 262,4 (t_t - t_{i,h}) - 26,24 (t_t - 12) - 328 (t_t - t_{i,h}) \quad (14)$$



Yuqoridagi (14) issiqlik balansi tenglamasini sonli yechish uchun vaqt bo'yicha diskretlash amalga oshirildi, bunda birinchi tartibli oldinga Eyler sxemasi qo'llanildi. Dastlab o'xshash hadlarni birlashtiramiz:

$$c_{p,t}\rho_t V_t \frac{dt_t}{d\tau} = 19,68 \cdot I_q + m_s c_{p,s}(t_k - t_{ch}) - 590,4(t_t - t_{i,h}) - 26,24(t_t - 12)$$

Eyler usuli yordamida diskretlash:

$$\frac{dt_t}{d\tau} \approx \frac{t_t^{n+1} - t_t^n}{\Delta\tau}$$

$$c_{p,t}\rho_t V_t \frac{t_t^{n+1} - t_t^n}{\Delta\tau} = 19,68 \cdot I_q^{n+1} + m_s c_{p,s}(t_k^{n+1} - t_{ch}^{n+1}) - 590,4(t_t^{n+1} - t_{i,h}^{n+1}) - 26,24(t_t^{n+1} - 12)$$

Tenglamani ochamiz va t_t^{n+1} ga nisbatan yechamiz:

$$\left[\frac{c_{p,t}\rho_t V_t}{\Delta\tau} + 590,4 + 26,24 \right] t_t^{n+1} = \frac{c_{p,t}\rho_t V_t}{\Delta\tau} t_t^n + 19,68 \cdot I_q^{n+1} + m_s c_{p,s}(t_k^{n+1} - t_{ch}^{n+1}) + 590,4 t_{i,h}^{n+1} + 314,88$$

Yakuniy dinamik model:

$$t_t^{n+1} = \frac{\frac{c_{p,t}\rho_t V_t}{\Delta\tau} t_t^n + 19,68 \cdot I_q^{n+1} + m_s c_{p,s}(t_k^{n+1} - t_{ch}^{n+1}) + 590,4 t_{i,h}^{n+1} + 314,88}{\frac{c_{p,t}\rho_t V_t}{\Delta\tau} + 616,64} \quad (15)$$

Ichki havo uchun energiya balansi tenglamasi:

$$c_{p,i,h}\rho_{i,h} V_{i,h} \frac{dt_{i,h}}{d\tau} = Q_q + Q_{kn} - Q_k - Q_{sh} - Q_{inf} - Q_{bugr} \quad (16)$$

bu yerda $c_{p,i,h} = 1005 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$ -ichki havoning issiqlik sig'imi; $\rho_{i,h} = 1,205 \text{ kg/m}^3$ -ichki havoning zichligi; $V_{i,h} = 168,3 \text{ m}^3$ -gelioissiqxona hajmi; Q_q -quyosh nurlanish intensivligi hisobiga ichki havoga uzatilayotgan issiqlik miqdori; Q_{kv} -tuproqdan ichki havoga uzatilayotgan konvektiv issiqlik miqdori, (9), Q_k -gelioissiqxona konstruksiyasi orqali yo'qotilgan issiqlik miqdori; Q_{sh} -shamollatish orqali issiqlik yo'qotilishi; Q_{inf} -infiltratsiya orqali issiqlik yo'qotilishi; Q_{bugr} -bug'lanish orqali issiqlik yo'qotilishi, demak:

$$c_{p,i,h}\rho_{i,h} V_{i,h} \frac{dt_{i,h}}{d\tau} = 32I_q + 262,4(t_t - t_{i,h}) - 574,16(t_{i,h} - t_{t,h}) - 56,62n_{sh}(t_{i,h} - t_{t,h}) - 11,32(t_{i,h} - t_{t,h}) - 34e \quad (17)$$

O'xshash hadlarni birlashtiramiz va tenglamani soddalashtiramiz:

$$c_{p,i,h}\rho_{i,h} V_{i,h} \frac{dt_{i,h}}{d\tau} = 32I_q + 262,4t_t - (847,88 + 56,62n_{sh})t_{i,h} + (585,48 + 56,62n_{sh})t_{t,h} - 34e$$

Eyler usuli asosida diskretlash (implicit usul):

$$\frac{dt_{i,h}}{d\tau} = \frac{t_{i,h}^{n+1} - t_{i,h}^n}{\Delta\tau}$$

$$c_{p,i,h}\rho_{i,h} V_{i,h} \frac{t_{i,h}^{n+1} - t_{i,h}^n}{\Delta\tau} = 32I_q^{n+1} + 262,4(t_t^{n+1} - t_{i,h}^{n+1}) - (847,88 + 56,62n_{sh})t_{i,h}^{n+1} + (585,48 + 56,62n_{sh})t_{t,h}^{n+1} - 34e^{n+1}$$

Algebraik tenglamaga keltirish uchun quyidagi belgilarni kiritamiz:

$$A = \frac{c_{p,i,h}\rho_{i,h} V_{i,h}}{\Delta\tau}; B = 847,88 + 56,62n_{sh}; D = 585,48 + 56,62n_{sh}$$

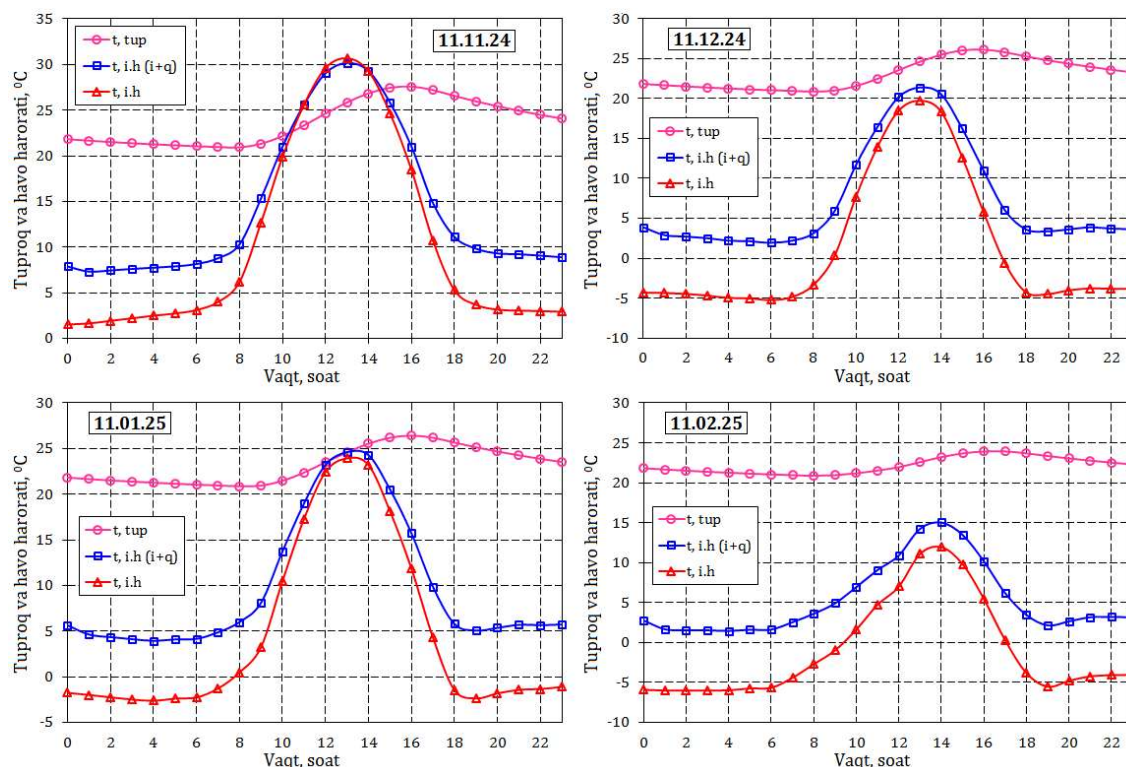
$$A(t_{i,h}^{n+1} - t_{i,h}^n) = 32I_q^{n+1} + 262,4t_t^{n+1} - Bt_{i,h}^{n+1} + Dt_{t,h}^{n+1} - 34e^{n+1}$$

Yakuniy dinamik model:

$$t_{i,h}^{n+1} = \frac{At_{i,h}^n + 32I_q^{n+1} + 262,4t_t^{n+1} + Dt_{t,h}^{n+1} - 34e^{n+1}}{A+B} \quad (18)$$

Natijalar va muhokama

Hisoblangan (15) va (18) dinamik modellar bo'yicha olingan natijalar 2-rasmda ko'rsatilgan.

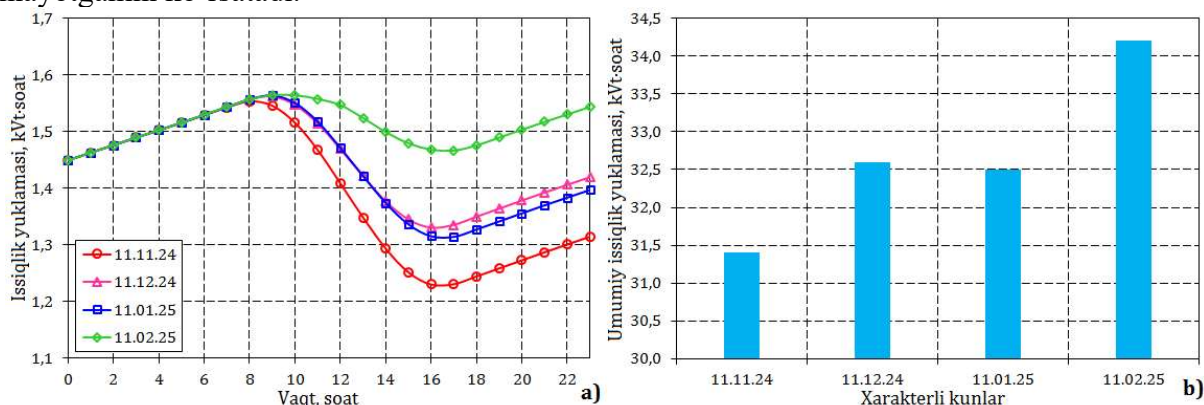


2.8-rasm. Tuproq va ichki havo haroratlarini o'zgarish grafigi.

2.8-rasmda keltirilgan nazariy tadqiqot natijalariga ko'ra, 11.11.24 kuni tuproq harorati 20,9...27,6°C oraliqda o'zgargan va o'rtacha 23,7°C, ichki havo harorati 7,3...30,2°C oraliqda o'zgargan va o'rtacha 14,3°C ni tashkil etgan. IPIT hisobiga ichki havoning o'rtacha harorati 4,0°C ga yuqori bo'lgan. Quyosh va IPIT orqali jami 143,6 *kVt·soat* energiya uzatilgan bo'lib, ushbu energiyaning 76,2% qismi quyoshdan va 23,8% qismi IPIT orqali uzatilgan. Gelioissiqxonaning sutkalik issiqlik yuklamasi 216,4 *kVt·soat* ni tashkil etganda, ushbu yuklamaning 50,5% qismi quyosh va 15,8% qismi IPIT orqali qoplangan hamda qolgan 33,7% (72,9 *kVt·soat*) qismi qoplanmasdan qolgan. 11.12.24 kuni tuproq harorati 20,9...26,1°C oraliqda o'zgargan va o'rtacha 23,1°C, ichki havo harorati 1,9...21,4°C oraliqda o'zgargan va o'rtacha 7,3°C ni tashkil etgan. IPIT hisobiga ichki havoning o'rtacha harorati 6,0°C ga yuqori bo'lgan. Quyosh va IPIT orqali jami 119,6 *kVt·soat* energiya uzatilgan bo'lib, ushbu energiyaning 71,4% qismi quyoshdan va 28,6% qismi IPIT orqali uzatilgan. Gelioissiqxonaning sutkalik issiqlik yuklamasi 344,1 *kVt·soat* ni tashkil etganda, ushbu yuklamaning 24,8% qismi quyosh va 9,9% qismi IPIT orqali qoplangan hamda qolgan 65,2% (224,5 *kVt·soat*) qismi qoplanmasdan qolgan. 11.01.25 kuni tuproq harorati 20,9...26,4°C oraliqda o'zgargan va o'rtacha 23,2°C, ichki havo harorati 3,9...24,6°C oraliqda o'zgargan va o'rtacha 9,8°C ni tashkil etgan. IPIT hisobiga ichki havoning o'rtacha harorati 5,3°C ga yuqori bo'lgan. Quyosh va IPIT orqali jami 124,4 *kVt·soat* energiya uzatilgan bo'lib, ushbu energiyaning 72,5% qismi quyoshdan va 27,5% qismi IPIT orqali uzatilgan. Gelioissiqxonaning sutkalik issiqlik yuklamasi 295,3 *kVt·soat* ni tashkil etganda, ushbu yuklamaning 30,5% qismi quyosh va 11,6% qismi IPIT orqali qoplangan hamda qolgan 57,9% (170,9 *kVt·soat*) qismi qoplanmasdan qolgan. 11.02.25 kuni tuproq harorati 20,9...23,9°C oraliqda o'zgargan va o'rtacha 22,2°C, ichki havo harorati 1,5...15,0°C oraliqda o'zgargan va o'rtacha 5,3°C ni tashkil etgan. IPIT hisobiga ichki havoning o'rtacha harorati 6,3°C ga yuqori bo'lgan. Quyosh va IPIT orqali jami 88,5 *kVt·soat* energiya uzatilgan bo'lib, ushbu energiyaning 61,3% qismi quyoshdan va 38,7% qismi IPIT orqali uzatilgan. Gelioissiqxonaning sutkalik issiqlik yuklamasi 352,1 *kVt·soat* ni tashkil etganda, ushbu yuklamaning 15,4% qismi quyosh va 9,7% qismi IPIT orqali qoplangan hamda qolgan 74,9% (263,6 *kVt·soat*) qismi qoplanmasdan qolgan. Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, gelioissiqxonada issiqlik ta'minotining asosiy qismi quyosh energiyasi hissasiga to'g'ri kelib, IPIT qo'shimcha ravishda ichki havo haroratini 4,0-6,3°C ga oshirgan. IPIT tizimining sutkalik issiqlik



yuklamasini uzluksiz qoplash maqsadida suvli bak-akkumulyator (SBA) hajmi aniqlanadi. SBAning asosiy vazifasi-tun va ertalabki sovuq davrda, ya'ni quyosh nurlanishi mavjud bo'lmagan vaqt oralig'ida issiqxona isitish tizimini issiqlik bilan ta'minlashdan iborat. Bunda dastlab IPIT tizimining umumiy issiqlik yuklamasi aniqlandi va natijalar 3-rasmga keltirildi. 3, a-rasmga ko'ra, IPIT issiqlik yuklamasi barcha kunlarda sutka davomida nisbatan tor diapazonda o'zgaradi. Xususan, 11.11.2024 sanasida issiqlik yuklamasi 1,2-1,6 $kVt \cdot soat$ oralig'ida o'zgarib, minimum qiymat soat 16-17 da (1,23 $kVt \cdot soat$), maksimum qiymat esa soat 8-9 da (1,55 $kVt \cdot soat$) kuzatiladi. Sutkalik amplituda taxminan 0,32 $kVt \cdot soat$ ni tashkil etadi. 11.12.2024 sanasida IPIT yuklamasi biroz yuqoriroq diapazonda bo'lib, 1,33-1,56 $kVt \cdot soat$ oralig'ida o'zgaradi. Minimum qiymat kunduzgi vaqtda (1,33 $kVt \cdot soat$), maksimum qiymat esa ertalab va kechki vaqtlarda (1,56 $kVt \cdot soat$) qayd etilgan. Amplituda 0,23 $kVt \cdot soat$ ni tashkil etadi, bu tizimning yanada barqaror ishlayotganini ko'rsatadi.



3-rasm. IPITning sutkalik issiqlik yuklamasini o'zgarishi (a) va xarakterli kunlar kesimida umumiy issiqlik yuklamasi (b).

11.01.2025 sanasida issiqlik yuklamasi 1,31-1,56 $kVt \cdot soat$ oralig'ida o'zgaradi. Minimum qiymat soat 16-17 da (1,31 $kVt \cdot soat$), maksimum qiymat esa (1,56 $kVt \cdot soat$) ertalabki davrga to'g'ri keladi. Sutkalik amplituda 0,22 $kVt \cdot soat$ bo'lib, bu IPIT tizimining qish mavsumida ham barqaror ishlashini tasdiqlaydi. 11.02.2025 sanasida esa IPIT yuklamasi 1,45-1,56 $kVt \cdot soat$ oralig'ida bo'lib, eng kichik amplituda 0,09 $kVt \cdot soat$ kuzatiladi. Bu holat tizimning maksimal darajada barqarorlashganligini ko'rsatadi. Umuman olganda, IPIT tizimi barcha davrlarda 1,23-1,56 $kVt \cdot soat$ diapazonda ishlagan bo'lib, sutkalik tebranishlar juda kichik (0,09-0,32 $kVt \cdot soat$) ekanligi aniqlandi. Bu esa tizimning asosiy xususiyati barqaror issiqlik manbai ekanligini tasdiqlaydi. 3, b-rasmga ko'ra, umumiy issiqlik yuklamasi xarakterli kunlar bo'yicha sezilarli farqlanadi. Xususan: 11.11.2024 da 31,4 $kVt \cdot soat$, 11.12.2024 da 32,6 $kVt \cdot soat$, 11.01.2025 da 32,5 $kVt \cdot soat$ va 11.02.2025 da 34,2 $kVt \cdot soat$. Ko'rinib turibdiki, eng yuqori umumiy issiqlik yuklamasi 11.02.2025 sanasida kuzatilib, noyabr oyiga nisbatan 2,8 $kVt \cdot soat$ ($\approx 8\%$) ga ortgan. Dekabr va yanvar oylarida esa qiymatlar deyarli bir xil bo'lib, issiqlik talabining barqaror yuqori darajada ekanligini ko'rsatadi. Xarakterli kunlardagi issiqlik yuklamasini qoplash suvning issiqlik sig'imi hisobiga amalga oshiriladi. Zarur bo'lgan suv massasini aniqlash quyidagicha amalga oshirildi: suvga akkumulyatsiya qilingan umumiy issiqlik miqdori:

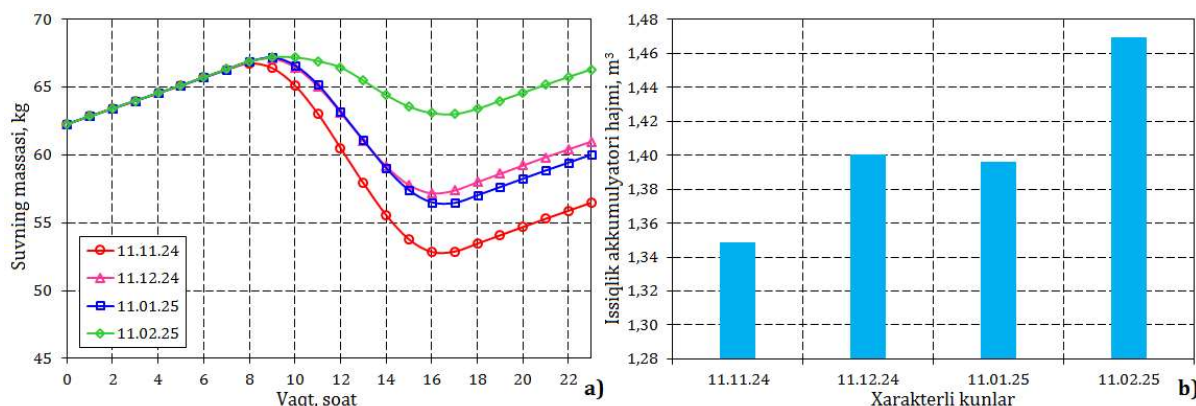
$$Q_{umu} = m_s \cdot c_{p,s} \cdot \Delta T \quad (19)$$

bu yerda m_s -suv massasi, kg ; $c_{p,s} = 4180 J/(kg \cdot ^\circ C)$ -suvning solishtirma issiqlik sig'imi; ΔT -akkumulyatoridagi foydali haroratlar farqi, $^\circ C$.

Past haroratli IPITlari uchun SBAdagi suv haroratining ishchi oralig'i $55-35^\circ C$ deb qabul qilinadi. Bu holda foydali haroratlar farqi:

$$\Delta T = 55 - 35 = 20^\circ C$$

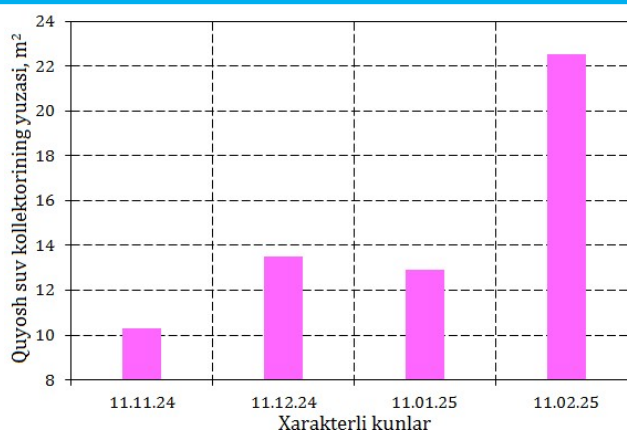
Yuqorida keltirilgan hisoblar asosida aniqlangan suv massasi va SBAning zarur hajmi natijalari 4-rasmga keltirilgan.



4-rasm. Xarakterli kunlar uchun suvning sutkalik massasini o'zgarishi (a) va issiqlik akkumulyatorining hajmi (b).

4-rasmda xarakterli kunlar kesimida suvning sutkalik massasi o'zgarishi (a) hamda issiqlik akkumulyatorining zarur hajmi (b) keltirilgan. Ushbu natijalar gelioissiqxonada issiqlikni akkumulyatsiya qilish jarayonining samaradorligini baholash imkonini beradi. 4, a-rasmga ko'ra, barcha kunlarda suv massasi sutka davomida o'zgaruvchan xarakterga ega bo'lib, ertalabki soatlarda ortib, kunduzgi maksimal qiymatga yetadi va tushdan keyin kamayadi. Xususan, 11.11.2024 sanasida suv massasi 62,3 kg dan boshlanib, soat 8-9 da maksimal 66,7 kg ga yetadi, so'ngra tushdan keyin kamayib, minimum qiymati 52,9 kg ni tashkil etadi. Sutkalik amplituda 14 kg ga teng. 11.12.2024 sanasida suv massasi 62-66,5 kg oralig'ida o'zgarib, minimum qiymat 57 kg, maksimum qiymat esa 66,5 kg ni tashkil etadi. Sutkalik amplituda 9,5 kg bo'lib, noyabr oyiga nisbatan tebranish kamaygan. Bu davrda quyosh radiatsiyasi mavjud emasligi sababli isitish asosan akkumulyatsiyalangan issiqlik hisobiga amalga oshiriladi. Soat 8:00-10:00 oralig'ida suv massasi keskin kamayishi kuzatiladi, jumladan, 11.11.2024 kuni suv massasi taxminan 91,2 kg dan 22,4 kg gacha, 11.12.2024 kuni esa 106,1 kg dan 50 kg gacha, 11.01.2025 kuni 106,1 kg atrofidan 66,3 kg gacha va 11.02.2025 kuni eng keskin pasayish kuzatilib, qiymat 20,2 kg gacha tushgan. Kun davomida quyosh nurlanishi pasayishi bilan tizimni isitishga issiqlik yuklamasi ko'tariladi va soat 17:00-23:00 oralig'ida suv massasi yana keskin ortadi. Bu davrda 11.11.2024 kuni suv massasi 95,7 kg gacha, 11.12.2024 kuni 100,1 kg gacha, 11.01.2025 kuni 99,2 kg gacha va 11.02.2025 kuni 105,5 kg gacha ortadi. Kechki soatlarda suv massasining ortishi quyosh energiyasi hisobiga yig'ilgan issiqlikning bak-akkumulyatorda saqlanishi bilan izohlanadi. 4, b-rasmda xarakterli kunlar uchun zarur bo'lgan SBA hajmi ko'rsatilgan. Grafik tahliliga ko'ra, 01.11.2024 kuni SBAning zarur hajmi taxminan 1349 kg, 01.12.2024 kuni 1400 kg, 01.01.2025 kuni 1396 kg va 01.02.2025 kuni 1469 kg ni tashkil etgan. Natijalar shuni ko'rsatadiki, qish oylarida quyosh radiatsiyasining kamayishi sababli issiqlikni ko'proq miqdorda akkumulyatsiya qilish talab etiladi, bu esa SBA hajmining ortishiga olib keladi. Hisob-kitoblarga ko'ra, tizimning barqaror ishlashi uchun SBAning optimal hajmi $1,5 m^3$ diapazonida bo'lishi maqsadga muvofiq hisoblanadi. Bunday hajmdagi SBA tizimda kun davomida yig'ilgan issiqlik energiyasini samarali saqlash va tun hamda ertalabki sovuq davrlarida tuproq haroratini barqaror saqlash imkonini beradi.

Ma'lumki, IPIT uchun zarur bo'lgan issiqlik energiyasi kunduzgi davrda QSKlarida ishlab chiqarilib, SBAda jamlanadi. Tadqiqotda SBAdagi suvning minimal harorati 35°C va SBAning ishchi harorati $35-55^{\circ}\text{C}$ oraliqda qabul qilindi. Ushbu qiymatlarga asosan SBAdagi suvning haroratini o'rtacha 20°C ga oshirish uchun SBA hajmiga mos keladigan QSKning zarur yuzasi aniqlandi hamda olingan natijalar 5-rasmda keltirildi. Bunda QSKning yuzasi changlanishni hisobga olgan holda 12% zahira bilan hisoblandi. Hisoblash natijalariga ko'ra, QSK yuzasi tashqi iqlim sharoitlari hamda quyosh nurlanishi intensivligiga bog'liq holda o'zgaradi. Grafikdan ko'rinib turibdiki, 11.11.2024 sanasida zarur QSK yuzasi $10,3 m^2$, 11.12.2024 da $13,5 m^2$, 11.01.2025 da $12,9 m^2$ va 11.02.2025 da $22,5 m^2$ ga yetadi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, SBAda barqaror haroratni ta'minlash uchun QSK yuzasi $22-23 m^2$ diapazonda o'zgaradi.



5-rasm. Xarakterli kunlar uchun quyosh suv kollektori zarur yuzasining hisobiy qiymatlari.

Amaliy loyihalashda esa tizimning ishonchli ishlashi uchun QSK yuzasini maksimal qiymatga yaqin, ya'ni taxminan 24 m^2 qilib tanlash maqsadga muvofiqdir. Olingan natijalar quyosh nurlanishi, tashqi havo harorati va tizim elementlarining o'zaro bog'liqligini tasdiqlab, QSK-IPITning energiya samaradorligi mavsumiy omillarga bevosita bog'liq ekanligini asoslab berdi.

Xulosa

1. Tadqiqot natijalariga ko'ra, QSK-IPIT tizimi tuproq haroratini $20,9\text{--}27,6^\circ\text{C}$ oralig'ida ushlab turishga imkon berdi. Bu qiymatlar bodring ildiz zonasi uchun zarur bo'lgan $22\text{--}25^\circ\text{C}$ optimal harorat rejimiga yaqin ekanligi bilan ahamiyatlidir. Ichki havo harorati esa IPIT hisobiga o'rtacha $4,0\text{--}6,3^\circ\text{C}$ ga oshgani aniqlandi.

2. Hisoblash natijalari IPIT tizimining sutkalik issiqlik yuklamasi $1,23\text{--}1,56 \text{ kVt}\cdot\text{soat}$ oralig'ida o'zgarganini ko'rsatdi. Sutkalik amplitudaning $0,09\text{--}0,32 \text{ kVt}\cdot\text{soat}$ diapazonda bo'lishi tizimning barqaror ishlashini tasdiqladi. Bu esa issiqlikning tuproq qatlamida bir tekis taqsimlanishini ta'minlaganini ko'rsatadi.

3. Gelioissiqxonaning umumiy sutkalik issiqlik yuklamasi $216,4\text{--}352,1 \text{ kVt}\cdot\text{soat}$ oralig'ida aniqlanib, uning asosiy qismi quyosh energiyasi hisobiga qoplandi. Quyosh energiyasi ulushi $15,4\text{--}50,5\%$ ni tashkil etgani qayta tiklanuvchi energiya manbalarining samaradorligini ko'rsatdi. Shu bilan birga, IPIT tizimi qo'shimcha ravishda umumiy yuklamaning $9,7\text{--}15,8\%$ qismini qoplash imkonini berdi.

4. Suvli bak-akkumulyatorning zarur hajmi xarakterli kunlar uchun $1349\text{--}1469 \text{ kg}$ oralig'ida aniqlandi. Hisob-kitoblarga ko'ra, tizimning barqaror ishlashi uchun optimal SBA hajmi $1,5 \text{ m}^3$ bo'lishi maqsadga muvofiq deb topildi. Ushbu hajm tun va ertalabki sovuq davrlarda issiqlik ta'minotining uzluksizligini ta'minlaydi.

5. Tadqiqot natijalariga ko'ra, quyosh suv kollektorining zarur yuzasi $22\text{--}23 \text{ m}^2$ diapazonda bo'lishi kerakligi aniqlandi. Qish oylarida quyosh radiatsiyasining kamayishi sababli kollektor yuzasiga talab ortishi kuzatildi. Shu sababli amaliy loyihalashda tizimning ishonchli ishlashi uchun QSK yuzasini taxminan 24 m^2 qilib tanlash tavsiya etiladi.

Adabiyotlar

- [1]. Taki M., Rohani A., Rahmati-Joneidabad M. Solar thermal simulation and applications in greenhouse // Information Processing in Agriculture. – 2018. – Vol. 5. – No. 1. – Pp. 83–113.
- [2]. Mongkon S., Thepa S., Namprakai P., Pratinthong N. Cooling performance and condensation evaluation of horizontal earth tube system for the tropical greenhouse // Energy and Buildings. – 2013. – Vol. 66. – Pp. 104–111.
- [3]. Xu J., Li Y., Wang R.Z., Liu W., Zhou P. Experimental performance of evaporative cooling pad systems in greenhouses in humid subtropical climates // Applied Energy. – 2015. – Vol. 138. – Pp. 291–301.
- [4]. Bargach M.N., Tadili R., Dahman A., Boukallouch M. Survey of thermal performances of a solar system used for heating of agricultural greenhouses in Morocco // Renewable Energy. – 2004. – Vol. 20. – Pp. 415–433.



- [5]. Nayak S., Tiwari G.N. Energy metrics of photovoltaic/thermal and earth air heat exchanger integrated greenhouse for different climatic conditions of India // *Applied Energy*. – 2010. – Vol. 87. – Pp. 2984–2993.
- [6]. Attar I., Naili N., Khalifa N., Hazami M., Farahat A. Parametric and numerical study of a solar system for heating a greenhouse equipped with a buried exchanger // *Energy Conversion and Management*. – 2013. – Vol. 70. – Pp. 163–173.
- [7]. Khafizova Yu.Kh., Ergashev A.J. Agrotechnologies of cultivation of first-generation hybrids of cucumber (*Cucumis sativus* L.) in unheated greenhouses under Uzbek conditions // *European Journal of Agricultural and Rural Education*. – 2023. – Vol. 4. – Pp. 1–4.
- [8]. Growing cucumbers in a greenhouse: technology, diseases and pests. – WEAGRO, 2024.
- [9]. Aldrich R.A., Bartok J.W. *Greenhouse Engineering* (NRAES-33). – Ithaca, NY: Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service (NRAES), 2011.
- [10]. REHAU. *Radiant Heating Systems: Design Guide*. – REHAU AG + Co., 2017.