UDK: 697.329:536.24:697.245

“ISSIQ SUV SAQLOVCHI BAK-AKKUMULYATORNI ISSIQLIK-TEXNIK JIHATDAN MODELLASHTIRISH VA TURAR JOY BINOLARIDA QO‘LLASH SAMARADORLIGI”

Abdukarimov Bekzod
Farg‘ona davlat texnika universiteti
Mo‘minov Islombek
Farg‘ona davlat texnika universiteti
Sattorov Alimardon
Farg‘ona davlat texnika universiteti
E-mail: im20021030@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada issiqlik energiyasini saqlovchi issiq suv bak-akkumulyatorlarida kechadigan nostatsionar issiqlik jarayonlarini matematik hisoblash va imitatsion modellashtirish natijalari, shuningdek ularni turar joy binolarining isitish va issiq suv ta’minoti tizimlariga qo‘llashning konstruktiv yechimlari keltirilgan. 50 litr hajmli tajribaviy bak-akkumulyator asosida statik va dinamik issiqlik balansi tenglamalari tuzilgan, bakning umumiy issiqlik uzatish koeffitsienti (UA), vaqt doimiysi (τ) va turli atrof-muhit haroratlarida issiqlik yo‘qotish quvvati hisoblab chiqilgan. COMSOL Multiphysics dasturi asosida bir o‘lchamli va ikki o‘lchamli aksisimmetrik hisobiy modellar ishlab chiqilgan bo‘lib, ular yordamida turli qalinlikdagi issiqlik izolyatsiyasining bak ichidagi suv haroratini saqlab turishga ta'siri, shuningdek vaqt bo‘yicha harorat maydonining fazoviy taqsimoti aniqlangan. Sonli va tajribaviy natijalarning qoniqarli mosligi taklif etilgan modelning ishonchliligini tasdiqladi. Bundan tashqari, bak-akkumulyatorni quyosh kollektorlari bilan integratsiyalashgan holda turar joy binosining chordoq va tom qismiga joylashtirish bo‘yicha konstruktiv yechim va uning iqtisodiy hisobi keltirilgan. Olingan natijalar issiqlik saqlovchi qurilmalarni energiya tejamkor turar joy binolarida loyihalashda amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: issiqlik energiyasini saqlash, bak-akkumulyator, matematik modellashtirish, imitatsion modellashtirish, COMSOL Multiphysics, issiqlik izolyatsiyasi, Nyuton sovish qonuni, qatlamlanish, quyosh kollektori, turar-joy binosi.

Аннотация. В статье представлены результаты математического расчёта и имитационного моделирования нестационарных тепловых процессов в баках-аккумуляторах горячей воды, а также конструктивные решения по их применению в системах отопления и горячего водоснабжения жилых зданий. На основе экспериментального бака-аккумулятора объёмом 50 литров составлены уравнения статического и динамического теплового

баланса, рассчитаны общий коэффициент теплопередачи (UA), постоянная времени (τ) и мощность тепловых потерь при различных температурах окружающей среды. В программе COMSOL Multiphysics разработаны одномерная и двумерная осесимметричная расчётные модели, с помощью которых определено влияние толщины теплоизоляции на сохранение температуры воды в баке, а также пространственное распределение температурного поля во времени. Удовлетворительное совпадение численных и экспериментальных результатов подтвердило достоверность предложенной модели. Кроме того, представлено конструктивное решение по размещению бака-аккумулятора, интегрированного с солнечными коллекторами, на чердаке и кровле жилого здания, а также его ориентировочный экономический расчёт. Полученные результаты имеют практическое значение при проектировании теплоаккумулирующих устройств в энергоэффективных жилых зданиях.

Ключевые слова: аккумулирование тепловой энергии, бак-аккумулятор, математическое моделирование, имитационное моделирование, COMSOL Multiphysics, теплоизоляция, закон охлаждения Ньютона, термическая стратификация, солнечный коллектор, жилое здание.

Abstract. This article presents the results of mathematical calculation and simulation modeling of unsteady thermal processes in hot-water storage tanks, as well as constructive solutions for their application in the heating and hot water supply systems of residential buildings. Based on an experimental 50-liter storage tank, static and dynamic heat balance equations were formulated, and the overall heat transfer coefficient (UA), time constant (τ), and heat loss power at various ambient temperatures were calculated. One-dimensional and two-dimensional axisymmetric computational models were developed in COMSOL Multiphysics to determine the effect of insulation thickness on water temperature retention and the spatial-temporal distribution of the temperature field. Satisfactory agreement between numerical and experimental results confirmed the reliability of the proposed model. In addition, a constructive solution for placing the storage tank, integrated with solar collectors, in the attic and roof of a residential building is presented, together with its approximate economic evaluation. The obtained results are of practical importance for designing thermal storage devices in energy-efficient residential buildings.

Keywords: thermal energy storage, storage tank, mathematical modeling, simulation modeling, COMSOL Multiphysics, thermal insulation, Newton's law of cooling, thermal stratification, solar collector, residential building.

KIRISH.

ISSN 3030-3907

Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan, xususan quyosh energiyasidan foydalanishning kengayib borishi turar joy binolarining isitish va issiq suv ta'minoti tizimlarida issiqlik energiyasini samarali saqlash muammosini dolzarb qilib qo'ymoqda. Quyosh radiatsiyasining sutka va fasl davomida notekis tushishi issiqlik manbai bilan iste'molchi o'rtasida hamda vaqt bo'yicha nomuvofiqlikni keltirib chiqaradi. Ushbu muammoni bartaraf etishning samarali yo'li issiq suv saqlovchi bak-akkumulyatorlarni qo'llashdan iborat bo'lib, ular issiqlik manbaidan olingan energiyani ma'lum vaqt davomida saqlab, ehtiyoj tug'ilganda iste'molchiga uzatish imkonini beradi.

Bak-akkumulyatorlarning loyihaviy parametrlarini-hajmi, izolyatsiya qalinligi va materiali, issiqlik uzatish yuzasi kabi ko'rsatkichlarni-asoslashda ularda kechadigan nostatsionar issiqlik jarayonlarini matematik modellashtirish muhim o'rin tutadi. Faqat tajriba yo'li bilan bunday parametrlarni optimallashtirish yuqori moddiy va vaqt xarajatlarini talab qiladi, shu sababli tajribaviy tadqiqotlarni sonli hisob-kitob va kompyuter yordamida imitatsion modellashtirish bilan uyg'unlashtirish maqsadga muvofiqdir.

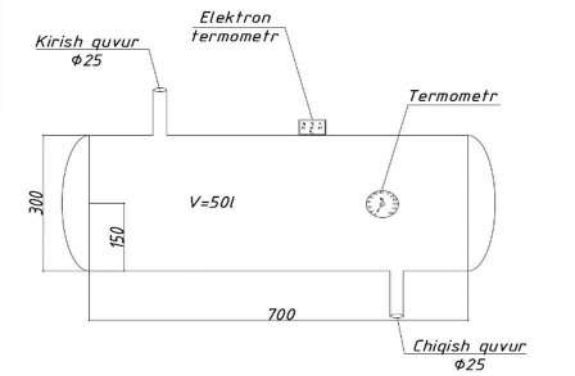
Mazkur maqolaning maqsadi - issiq suv saqlovchi bak-akkumulyatordagi issiqlik jarayonlarini tavsiflovchi matematik model ishlab chiqish, uni COMSOL Multiphysics dasturi vositasida bir va ikki o'lchamli imitatsion modellar asosida sonli tahlil qilish, olingan natijalarni tajriba ma'lumotlari bilan solishtirish hamda qurilmani turar joy binolarining energiya tejamkor isitish tizimlariga integratsiyalashning konstruktiv yechimlarini ishlab chiqishdan iborat.

1.Tadqiqot metodologiyasi va materiallar

1.1. Tajribaviy qurilmaning konstruktiv tuzilishi

Tadqiqot obyekti sifatida gorizontal joylashgan silindrsimon metall rezervuar ko'rinishidagi issiq suv saqlovchi bak-akkumulyator qabul qilindi. Qurilmaning foydali hajmi V = 50 l (0,05 m^3) bo'lib, ichki diametri 300 mm, tashqi diametri 360 mm, ichki uzunligi 700 mm, tashqi uzunligi esa 820 mm ni tashkil etadi. Bakning yuqori qismida Ø25 mm li kirish quvuri, pastki qismida esa xuddi shunday o'lchamdagi chiqish quvuri joylashtirilgan bo'lib, bunday joylashuv bak ichida haroratning qatlamlanishiga imkon beradi.

ISSN 3030-3907



1-rasm. Tajribaviy issiq suv saqlovchi bak-akkumulyatorning qirqim ko‘rinishi

Bak tashqi tomondan ikki qatlamli issiqlik izolyatsiyasi bilan himoyalangan: ichki qatlam -30 mm qalinlikdagi poliuretan ko‘pik, tashqi qatlam -30 mm qalinlikdagi mineral jun. Bunday kombinatsiyalashgan izolyatsiya bak ichida jamlangan issiqlik energiyasining tashqi muhitga yo‘qotilishini kamaytirib, saqlash davomiyligini va qurilmaning energiya samaradorligini oshiradi. Bakning old qismida harorat rejimini kuzatish uchun elektron va mexanik (bimetall) termometrlar o‘rnatilgan.



2-rasm. Laboratoriya sharoitida tayyorlangan tajribaviy bak-akkumulyatorning umumiy ko‘rinishi

Qurilma metall tayanch ramaga mahkamlangan bo‘lib, bu uning tajriba davomida barqaror holatda turishini ta'minlaydi. Bak korpusining silindrsimon shakli ichki hajmdagi suvning bir tekis joylashishini va issiqlik almashinuvi jarayonlarini kuzatish uchun qulay sharoitni ta’minlaydi. Bak yuzasidagi yaltiroq metall qoplama issiqlikni qisman qaytaruvchi ekran vazifasini bajarib, konveksiya va nurlanish orqali yuzaga keladigan issiqlik sarfini pasaytiradi.

1.2. O‘lchov qurilmalari va ularning texnik tavsifi

Tajriba jarayonida quyosh radiatsiyasini, harorat va bosim farqi ko‘rsatkichlarini qayd etish uchun zamonaviy o‘lchov-nazorat asboblaridan foydalanildi: AT-50 rusumli aktinometr (quyosh radiatsiyasini o‘lchash uchun), raqamli termometr, GM510 rusumli differensial manometr (havo kirish-chiqish

ISSN 3030-3907

nuqtalaridagi bosimlar farqini aniqlash uchun), shuningdek UNI-T UTi220K rusumli teplovizor va Testo 400 universal mikroiqlim o‘lchov qurilmasi. Teplovizor yordamida bak sirtining harorat taqsimoti va isitish tizimining ishlash holati baholandi, Testo 400 esa laboratoriya xonasining mikroiqlim ko‘rsatkichlarini yuqori aniqlikda qayd etishga xizmat qiladi. Qurilmalarning texnik tavsifi va o‘lchov xatoliklari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

Tajriba sinovlarida foydalanilgan o‘lchov asboblarining texnik tavsifi

№	Qurilma nomi	O‘lchanadigan parametr	O‘lchov birligi	O‘lchash xatoligi
1	Aktinometr AT-50	Quyosh radiatsiyasi	Vt/m²	±0,3
2	Raqamli termometr	Harorat	°C	±0,05 °C
3	Differensial manometr GM510	Bosim farqi	kPa	±3%

Nazorat-o‘lchov asboblaridagi ko‘rsatkichlar stendning barqaror issiqlik holatiga kelgunga qadar har besh daqiqada qayd etildi. Har bir o‘lchov nuqtasi bo‘yicha bir nechta ketma-ket o‘lchash natijalari olinib, ularning o‘rtacha arifmetik qiymati hisobga olindi, bu esa tasodifiy xatoliklarning ta’sirini kamaytirishga xizmat qildi.

2.Issiqlik saqlovchi bak-akkumulyatorning matematik modeli

2.1. Boshlang‘ich ma’lumotlar

Issiqlik saqlovchi bak-akkumulyator suvda issiqlik energiyasini to‘plash va keyinchalik undan foydalanish uchun xizmat qiladi. Suv issiqlik sig‘imi katta bo‘lganligi sababli bunday qurilmalar isitish tizimlarida, quyosh kollektorlarida va issiq suv ta’minotida keng qo‘llaniladi. Tadqiqotlarda bak ichidagi harorat qatlamlanishi, ya’ni yuqori qismda issiq suv, pastki qismda esa sovuqroq suv joylashishi issiqlik saqlash samaradorligiga katta ta’sir qilishi ko'rsatilgan

Bak hajmi:

$$V = 50\,\text{l} = 0.05\,\text{m}^3$$

Suv zichligi:

$$\rho = 1000\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Suv massasi:

$$m = \rho V = 1000 \cdot 0.05 = 50\ \text{kg} \qquad (1)$$

Suvning solishtirma issiqlik sig‘imi:

$$c_p = 4186\ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot K} \qquad (2)$$

ISSN 3030-3907

Boshlang‘ich suv harorati:

$$T_0 = 90°C$$

Atrof-muhit harorati:

$$T_a = 20°C, 15°C, 10°C, 5°C$$

Bakning issiqlik yo‘qotish koeffitsienti oldingi hisobdan:

$$UA = 0.703 \ \frac{\text{W}}{K} \qquad (3)$$

Bakdagi suvning umumiy issiqlik sig‘imi:

$$C = mc_p = 50 \cdot 4186 = 209300 \ \frac{\text{J}}{K} \qquad (4)$$

2.2. Bakda saqlangan issiqlik miqdori

Bakdagi foydali issiqlik energiyasi atrof-muhit haroratiga nisbatan quyidagicha aniqlanadi:

$$Q = mc_p(T - T_a) \qquad (5)$$

Agar suv $90°C$ bo'lsa, xona harorati $20°C$ bo‘lganda:

$$Q = 50 \cdot 4186(90 - 20)$$

$$Q = 14651000 \text{ J}$$

$$Q = \frac{14651000}{3.6 \cdot 10^6} = 4.07 \text{ kWh}$$

Demak, 50 litr suv $90°C$ haroratda bo‘lsa va xona harorati $20°C$ bo‘lsa, bakda taxminan:

$$Q = 4.07 \text{ kWh}$$

foydali issiqlik energiyasi mavjud.

2.3. Statik holatdagi issiqlik balansi

Statik holatda bakdan suv olinmaydi va unga yangi suv kiritilmaydi. Bunda issiqlik faqat tashqi muhitga yo‘qoladi.

Statik issiqlik balansi:

$$mc_p \frac{dT}{dt} = -UA(T - T_a) \qquad (6)$$

Bu yerda:

$$mc_p \frac{dT}{dt} \qquad (7)$$

bakdagi suv ichki energiyasining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi;

$$UA(T - T_a) \qquad (8)$$

tashqi muhitga yo‘qotilayotgan issiqlik quvvati.

Statik holatda issiqlik yo‘qotish quvvati:

$$\dot{Q}_{yo'q} = UA(T - T_a) \qquad (9)$$

Boshlang‘ich holatda, ya‘ni $T = 90°C$ bo‘lganda:

$$T_a = 20°C: \dot{Q}_{yo'q} = 0.703(90 - 20) = 49.2 \ W$$

$$T_a = 15°C: \dot{Q}_{yo'q} = 0.703(90 - 15) = 52.7 \ W$$

ISSN 3030-3907

$$T_a = 10°C: \dot{Q}_{yo'q} = 0.703(90 - 10) = 56.2\ W$$
$$T_a = 5°C: \dot{Q}_{yo'q} = 0.703(90 - 5) = 59.7\ W$$

Demak, atrof-muhit harorati pasaygan sari issiqlik yo‘qotish ortadi.

2.4. Statik sovish tenglamasi

Statik holatda bakdagi suv harorati Nyuton sovish qonuni bo‘yicha kamayadi:

$$T(t) = T_a + (T_0 - T_a)e^{-t/\tau} \quad (10)$$

Vaqt doimiysi:

$$\tau = \frac{mc_p}{UA} \quad (11)$$

$$\tau = \frac{209300}{0.703} = 297765\ s$$
$$\tau = 82.7 \text{ soat}$$

Shuning uchun:

$$T(t) = T_a + (90 - T_a)e^{-t/82.7} \quad (12)$$

bu yerda t soatlarda olinadi.

Dinamik holatda bakka issiq suv kirishi, sovuq suv kirishi, suv sarflanishi yoki issiqlik manbai orqali qizdirish sodir bo‘ladi. Bunday holatda umumiy issiqlik balansi quyidagicha yoziladi:

Agar bakdagi suv miqdori o‘zgarmasa:

$$\dot{m}_{kir} = \dot{m}_{chiq} = \dot{m} \quad (13)$$

unda:

Barqaror harorat:

$$T_\infty = T_a + \frac{\dot{Q}_{qizdirish}}{UA} \quad (14)$$

Haroratning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi:

$$T(t) = T_\infty + (T_0 - T_\infty)e^{-t/\tau} \quad (15)$$

Masalan, agar qizdirish quvvati:

$$\dot{Q}_{qizdiris} = 1000\ W$$

bo‘lsa:

$$T_\infty = 20 + \frac{1000}{0.703} = 1442°C$$

Bu nazariy qiymat bo‘lib, amalda suv qaynashi va avtomatika sababli harorat 90--95 $°C$ atrofida cheklanadi.

Suvni $20°C$ dan $90°C$ gacha qizdirish uchun kerakli energiya:

$$Q = mc_p(T_2 - T_1) \quad (16)$$

$$Q = 50 \cdot 4186(90 - 20)$$
$$Q = 14.65 \text{ MJ} = 4.07 \text{ kWh}$$

Agar qizdirgich quvvati 1 kW bo‘lsa, ideal qizdirish vaqti:

$$t = \frac{Q}{P} = \frac{4.07}{1} = 4.07 \text{ soat} \quad (17)$$

ISSN 3030-3907

Issiqlik yo‘qotishlarni hisobga olganda vaqt biroz ortadi.

Bu holatda suv harorati ikki sabab bilan kamayadi:

1) Tashqi muhitga issiqlik yo‘qotish;

2) sovuq suv aralashishi.

Agar aralashish to‘liq bo‘lsa, harorat tezroq pasayadi. Agar bakda qatlamlanish yaxshi saqlansa, yuqoridagi issiq qatlam uzoqroq saqlanadi. Tadqiqotlarda kirish tezligi oshsa aralashish kuchayishi, kirish diametri va joylashuvi esa qatlamlanishga sezilarli ta’sir qilishi ko‘rsatilgan.

2.5. Qatlamlanish modeli

Real bakda suv harorati bir xil bo‘lmaydi. Yuqori qism issiqroq, pastki qism sovuqroq bo‘ladi:

$$T_{yuqori} > T_{pastki}$$

Qatlamlar orasidagi issiqlik almashinuvi:

$$\dot{Q}_{i,i+1} = kA\frac{T_i - T_{i+1}}{\Delta x} \quad (18)$$

Umumiy saqlangan issiqlik:

$$Q_\Sigma = \sum_{i=1}^{n} m_i c_p (T_i - T_a) \quad (19)$$

Qatlamlanish samaradorligi yuqori bo'lsa, issiq suv bakning yuqori qismida saqlanadi va foydalanish samaradorligi ortadi. Bunday 1D va CFD modellar issiqlik akkumulyatorlarining dinamik holatini baholashda keng qo‘llaniladi

2.6. Statik va dinamik holatlarni taqqoslash

Bakdan olinadigan foydali issiqlik:

$$Q_{foy} = \dot{m} c_p (T_{chiq} - T_{kir}) t \quad (20)$$

Issiqlik saqlash samaradorligi:

$$\eta = \frac{Q_{foy}}{Q_{kiritilgan}} \quad (21)$$

Agar faqat saqlashdagi yo‘qotish baholansa:

$$\eta_{saqlash} = \frac{Q(t)}{Q(0)} \quad (22)$$

Nyuton sovish qonunidan:

$$\eta_{saqla} = e^{-t/\tau} \quad (23)$$

Masalan, $t = 24$ soat uchun:

$$\eta_{saqlash} = e^{-2\ /82.7} = 0.748 \quad (24)$$

Demak, 24 soatdan keyin bakdagi foydali issiqlikning taxminan:

$$74.8\%$$

qismi saqlanadi.

Issiqlik saqlovchi bak-akkumulyatorning statik holatida asosiy jarayon tashqi muhitga issiqlik yo‘qotishdan iborat. Dinamik holatda esa issiqlik balansi

ISSN 3030-3907

suv sarfi, kiruvchi suv harorati, qizdirish quvvati, issiqlik yo‘qotish va bak ichidagi qatlamlanishga bog‘liq bo‘ladi. 50 litrli bak uchun umumiy issiqlik sig‘imi:

$$C = 209300\ \frac{\text{J}}{K}$$

va vaqt doimiysi:

$$\tau = 82.7\ \text{soat}$$

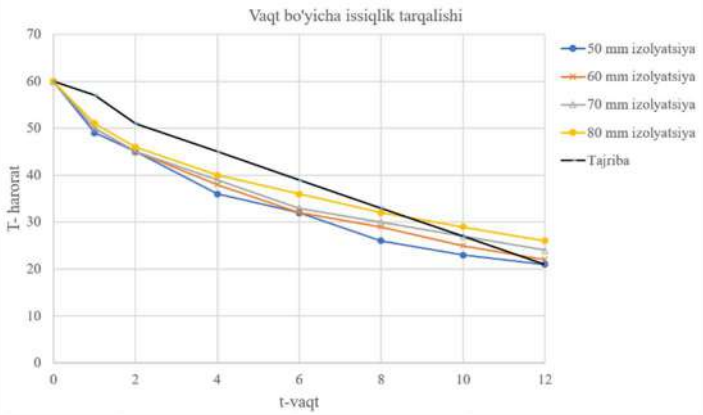
ga teng. Bu qiymat bak yaxshi izolyatsiyalanganini va suv harorati sekin pasayishini ko'rsatadi.

3.COMSOL Multiphysics dasturi asosida imitatsion modellashtirish

Issiq suv saqlovchi bak-akkumulyatorda kechadigan issiqlik jarayonlarini chuqurroq tahlil qilish maqsadida COMSOL Multiphysics dasturining “Heat Transfer in Solids and Fluids” moduli asosida imitatsion modellashtirish amalga oshirildi. Modelda bak devori, po‘lat qatlam va issiqlik izolyatsiyasi alohida qatlamlar sifatida qaraldi, vaqtga bog‘liq hisoblash uchun “Time Dependent Study” rejimi tanlandi. Boshlang‘ich shart sifatida suv harorati $T_0 = 60$ °C, atrof-muhit harorati Ta = 20 °C deb qabul qilindi, hisoblash 0 dan 12 soatgacha bo‘lgan vaqt oralig‘ida bajarildi.

3.1. Bir o‘lchamli (1D) model natijalari

Har bir izolyatsiya qalinligi (50, 60, 70 va 80 mm) uchun suv haroratining vaqt bo‘yicha o‘zgarish grafigi olinib, natijalar tajriba ma'lumotlari bilan solishtirildi (3-rasm).



3-rasm. Turli qalinlikdagi izolyatsiya qatlamlarida 50 l bak-akkumulyatordagi suv haroratining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi (COMSOL 1D) va tajriba natijasi bilan solishtirilishi

Modellashtirish natijalariga ko‘ra, issiq suv saqlovchi bakda suv harorati vaqt o‘tishi bilan eksponensial xarakterda pasayadi: boshlang‘ich bosqichda suv bilan atrof-muhit orasidagi harorat farqi katta bo‘lgani sababli sovish jarayoni tezroq kechadi, keyinchalik esa suv harorati atrof-muhit haroratiga yaqinlashgan sari sovish tezligi kamayadi. Izolyatsiya qalinligi oshirilganda haroratning pasayish tezligi ham kamayadi: 50 mm izolyatsiyada 12 soat davomida harorat taxminan 21

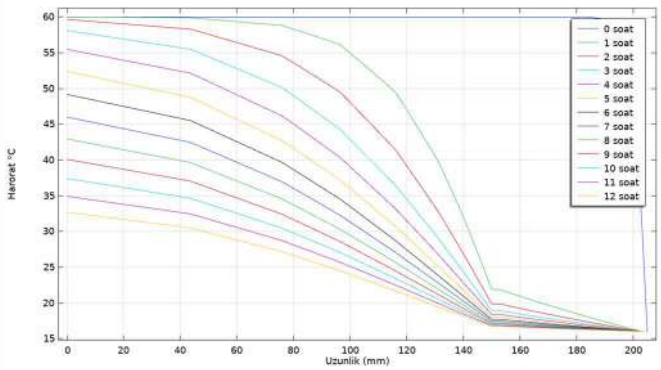
ISSN 3030-3907

°C gacha tushgan bo‘lsa, 80 mm izolyatsiyada bu qiymat 26 °C atrofida qolgan. Bu izolyatsiya qalinligi ortishi bilan issiqlik qarshiligining oshishi va bakdan tashqi muhitga yo‘qoladigan issiqlik oqimining kamayishi bilan izohlanadi. Sonli natijalarning tajriba egri chizig‘iga yaqin joylashishi ishlab chiqilgan modelning amaliy hisob-kitoblar uchun yetarli aniqlikka ega ekanligini tasdiqlaydi.

3.2. Ikki o‘lchamli aksisimmetrik (2D) model

Bak ichida issiqlikning qatlamlar bo‘yicha tarqalish jarayonini o‘rganish maqsadida qurilmaning ikki o‘lchamli aksisimmetrik hisobiy modeli ishlab chiqildi. Bunday yondashuv silindrsimon geometriyaga ega akkumulyatorlarni modellashtirishda hisoblash hajmini kamaytirish bilan birga jarayonni yetarli aniqlikda ifodalash imkonini beradi. Model geometriyasi vertikal yo‘nalishda bak balandligini, radial yo‘nalishda esa ichki hajm, devor qatlami va tashqi himoya qoplamasini o‘z ichiga oldi. Hisoblash sohasi uchburchak chekli elementlarga ajratilib, materiallar tutashgan chegaralarda (suv-devor, devor-izolyatsiya, izolyatsiya-tashqi muhit) to‘r zichligi oshirildi, chunki bu zonalarda harorat gradienti va issiqlik oqimining o‘zgarishi yuqori bo‘ladi.

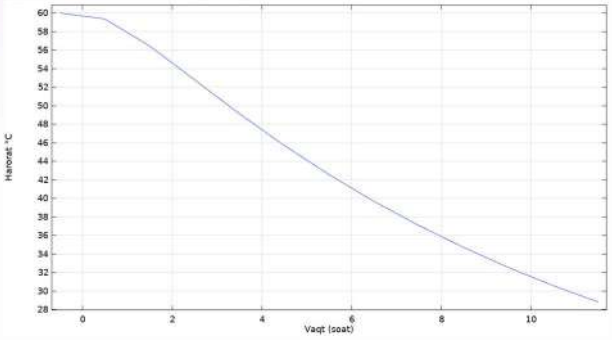
0,5; 3,5; 6,5 va 11,5 soatlik vaqt oraliqlarida olingan harorat maydonlari bak ichida saqlangan issiqlik energiyasining asta-sekin tashqi muhitga uzatilishini ko‘rsatdi: dastlabki bosqichda bakning markaziy qismida harorat yuqori bo‘lib, issiqlik asosan ichki hajmda saqlangan, vaqt o‘tishi bilan devor va izolyatsiya qatlamlari orqali issiqlik oqimi tashqariga yo‘nalib, harorat maydoni bosqichma-bosqich pasayib borgan.



4-rasm. Harorat datchigi joylashgan nuqtadan bak ichki sirtigacha bo‘lgan masofada issiqlik tarqalishi (turli vaqt kesimlarida)

4-rasmdagi grafikdan ko‘rinadiki, haroratning eng keskin pasayishi 100-150 mm oralig‘ida, ya'ni devor va izolyatsiya qatlamlari chegarasida kuzatiladi -bu zonada harorat gradientining keskin o‘zgarishi issiqlik oqimining faol o‘tishini bildiradi. 150 mm dan keyingi qismda harorat qiymatlari atrof-muhit haroratiga yaqinlashib, egri chiziqlar bir-biriga yaqinlashadi, bu esa tashqi qatlamlarda issiqlik almashinuvining nisbatan barqarorlashganini ko‘rsatadi.

ISSN 3030-3907



5-rasm. Bak-akkumulyator ichidagi haroratning vaqt bo‘yicha o‘zgarish dinamikasi (2D model)

5-rasmda keltirilgan natijalarga ko‘ra, boshlang‘ich 60 °C bo‘lgan suv harorati 11,5 soat davomida taxminan 29 °C gacha pasaygan. Dastlabki soatlarda haroratning kamayishi nisbatan sekin kechgan, 2-6 soat oralig‘ida sovish jarayoni jadallashgan, 8-11 soat oralig‘ida esa pasayish sur'ati barqarorlashib, egri chiziq asta-sekin tekislangan. Bunday bosqichma-bosqich xarakterdagi pasayish qurilmada qo‘llanilgan devor va izolyatsion qatlamlarning issiqlikni muayyan muddat ushlab turish xususiyatiga ega ekanligini tasdiqlaydi va 1D hamda 2D model natijalarining o‘zaro mosligini ko‘rsatadi.

4.XULOSA.

O‘tkazilgan tadqiqot natijasida issiq suv saqlovchi bak-akkumulyatordagi nostatsionar issiqlik jarayonlari matematik va imitatsion modellashtirish asosida tahlil qilindi. 50 litrli tajribaviy bak uchun umumiy issiqlik uzatish koeffitsienti UA = 0,703 Vt/K va vaqt doimiysi τ = 82,7 soat qiymatida aniqlanib, bu bakning yetarli darajada izolyatsiyalanganini tasdiqladi; Nyuton sovish qonuniga ko‘ra 24 soatdan so‘ng foydali issiqlikning taxminan 74,8 % qismi saqlanib qolishi ko‘rsatildi.

COMSOL Multiphysics dasturida ishlab chiqilgan bir va ikki o‘lchamli modellar izolyatsiya qalinligining ortishi (50 mm dan 80 mm gacha) suv haroratining sovish tezligini sezilarli kamaytirishini, shuningdek bak ichidagi harorat maydonining fazoviy-vaqt taqsimotini aniq ifodalashini ko‘rsatadi. Sonli natijalarning tajriba ma’lumotlariga yaqinligi taklif etilgan modelning ishonchliligini tasdiqladi.

Olingan natijalar asosida bak-akkumulyatorni quyosh kollektorlari bilan integratsiyalashgan holda turar-joy binosining chordoq va tom qismiga joylashtirish bo‘yicha konstruktiv yechim taklif etildi. Ishlab chiqilgan model va yechimlar issiqlik saqlovchi qurilmalarni energiya tejamkor turar- joy binolarida loyihalashda amaliy qo‘llanilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Ahmed, O. K., Algburi, S., Daouda, R. W., Shubat, H. N., & Aziz, E. F. (2023). The various designs of storage solar collectors: A review. *International Journal of*

Renewable Energy Development, 12(1), 166-185. https://doi.org/10.14710/ijred.2023.45969

2. Pyrnazarov, *I. I. (2015). Povyshenie effektivnosti samoreguliruyushchikhsya akkumulyatorov teploty dlya sistem solnechnogo teplosnabzheniya* [Master's thesis, Tashkent Institute of Architecture and Civil Engineering].

3. Ahmed, O. K., Algburi, S., Daouda, R. W., Shubat, H. N., & Aziz, E. F. (2023). The various designs of storage solar collectors: A review. *International Journal of Renewable Energy Development, 12(1), 166-185*.

4. Halvgaard, R., Poulsen, N. K., Madsen, H., & Jørgensen, J. B. (2012). Model predictive control for a smart solar tank based on weather and consumption forecasts. *Energy Procedia, 30*, 270-278

5. SunEarth, Inc. (n.d.). *SunEarth Thermal Storage (SETS).* SunEarth. Retrieved.

6. Hassan, F. M., & Theeb, M. A. (2020). Effect of diffuser height on thermocline in stratified chilled water storage tank. *Journal of Applied Fluid Mechanics, 14*(2), 429–438.

7. TESY Ltd. (2019), Rheem New Zealand (n.d.) va Stiebel Eltron Americas (n.d.)

8. Fröling Heizkessel- und Behälterbau Ges.m.b.H. (n.d.). *Tank systems* [Brochure], pp. 18–19

9. Galmet Sp. z o.o. Sp. K. (2026). *Instrukcja obsługi i montażu - Podgrzewacz (wymiennik) c.w.u. typ SGW(S), SGW(S)B, SG(S).*

10. Bengtson, H. H. (2020). *Passive solar heating: Principles & calculations.*

11. Layton, L. (2021). *Solar water heating systems*.

12. Robertson, J., Kerrigan, P., Pettit, B., Norton, P., Plaisted, K., Roberts, D., & Maguire, J. *(2016). Indirect solar water heating in single-family, zero energy ready homes* (NREL/TP-5500-65187)

13. Solahart Industries Pty Ltd. (2024). *Thermosiphon solar water heaters: Owner's guide and installation instructions.*

14. Piekarczyk, A., & Weiß, K.-A. (2015). *Fully polymeric thermosiphon system* (IEA SHC Task 39 Info Sheet B7). International Energy Agency Solar Heating and Cooling Programme.

15. Zaripov, O. Sh. (2019). *Avtonom iste'molchilarning issiqlik ta'minotida muqobil energiya manbalaridan foydalanish samaradorligi.*

16. U.S. Department of Energy Federal Energy Management Program. (n.d.). *Federal technology alert: Solar water heating.*

17. Versol Group (n.d.),

18. SHNQ 2.04.16-23 Quyosh suv isitish qurilmalari.

19. Hamidullaev, B. A. (2018). *Bir qavatli qishloq turar-joy uy uchun quyoshli issiq suv ta'minoti tizimini loyihalash.*

20. Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti. (n.d.). *Qayta tiklanuvchi energiya manbalari fanidan uslubiy ko‘rsatma.*
21. Solahart Pty Ltd. (2024). *Thermosiphon solar water heaters: Owner’s manual and installation instructions.*
22. Energy Storage *TCP. (2024). Technology: Sensible heat water storage.*
23. Stratification analysis of domestic hot water storage tanks: A comprehensive review (2020).
24. Energy Storage TCP (2024, pp. 1–4)
25. Avezova, N. R., & Raximov, E. Y. (2025). *O‘zbekistonning gelioenergetik resurslarini baholash uchun ma’lumotlar bazasini shakllantirish va verifikatsiyalash* [Monografiya].
26. Alimov, E. E. (2016). *Qarshi shahri sharoitida yassi quyosh kollektorli issiq suv ta’minoti tizimini samaradorligini asoslash .*
27. ISSIQLIK AKKUMULYATOR HARORAT REJIMINI MODELLASHTIRISH SISTEMASIDAN GELIOUYNI ISITISHDA FOYDALANISH B. E. Xayriddinov, S. A. Utayev. https://doi.org/10.5281/zenodo.19061875
28. Rashidov, Yu. K. (2020). *O‘z-o‘zini tartibga soluvchi faol elementlardan foydalanish orqali quyoshli issiqlik ta’minoti tizimlarining samaradorligi va ishonchliligini oshirish.*
29. Laboratory of Thermodynamics. (2025). *Measurement of thermal diffusivity under conditions of ordered heat transfer: L13-1*. Military University of Technology.
30. Energy Storage. (2024, July). *Technology: Sensible heat water storage.*
31. Dragsted, J., Furbo, S., Dannemand, M., & Bava, F. (2017). *Thermal stratification built up in hot water tank with different inlet stratifiers*. Solar Energy, 147, 414–425. https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.03.008
32. Li, C., He, W., Bai, Y., & Wang, J. (2024). *A semi-analytic method for buoyancy-induced thermal stratification in hot water tanks during standby periods*. Applied Thermal Engineering, 249, *Article 123440.* https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.123440
33. Karlina, Y., Yerdesh, Y., Toleukhanov, A., Belyayev, Y., Wang, H. S., & Botella, O. (2024). *Numerical simulation study of thermal performance in hot water storage tanks with external and internal heat exchangers*. Energies, 17(22), 5623. https://doi.org/10.3390/en17225623
34. Jodeiri, A. M., Soppelsa, A., Turrin, F., Pipiciello, M., Cozzini, M., & Fedrizzi, R. (2024). *Numerical and experimental investigation of stratified water storage tanks: An enhanced adaptive-grid model*. Applied Thermal Engineering. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.123113

ISSN 3030-3907

35. Rendall, J., Elatar, A., Nawaz, K., & Sun, J. (2023). *Medium-temperature phase change material integration in domestic heat pump water heaters for improved thermal energy storage.* Renewable and Sustainable Energy Reviews. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113656

36. Energy Storage. (2024, July). *Technology: Sensible heat water storage.* BVES / IEA Energy Storage.

37. Vėjelis, S., Vaitkus, S., Skulskis, V., Kremensas, A., & Kairytė, A. (2024). *Performance evaluation of thermal insulation materials from sheep's wool and hemp fibres*. Materials, 17(13), 3339. https://doi.org/10.3390/ma17133339

38. Junga, R., Pospolita, J., Kabaciński, M., Sobek, S., Stanisławski, R., Mami, M. A., Balicz, R., & Mruk, Z. (2024). *Numerical modeling of heat losses from hot water storage tank*. Case Studies in Thermal Engineering, 62, Article 105146, 1–20. https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.105146

39. Rubina, A., Pírek, O., Salajka, R., Rubinová, O., Formánek, M., & Smutková, K. (2026). Case study of two domestic hot water storage concepts in residential heat pump systems. *Buildings, 16*(5), 1034. https://doi.org/10.3390/buildings16051034

40. Karaca Dolgun, G., Keçebaş, A., Ertürk, M., & Daşdemir, A. (2023). *Life cycle cost assessment for thermal insulation of above-ground spherical container with different capacities in hot fluid storage processes.* Journal of Cleaner Production, 403, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136875

41. Fuchs, B., Hofbeck, K., & Faulstich, M. (2012). Vacuum insulation panels – A promising solution for high insulated tanks. *Energy Procedia, 30*, 424–427. doi:10.1016/j.egypro.2012.11.050

42. British Standards Institution. (2016). *BS EN 12897:2016: Water supply - Specification for indirectly heated unvented (closed) storage water heaters.* BSI Standards Publication.

43. CEN. (2020). *EN 12897:2016+A1:2020: Water supply — Specification for indirectly heated unvented (closed) storage water heaters*. European Committee for Standardization.

44. SHNQ 2.01.01-22 Loyihalash uchun iqlimiy fizikaviy-geologik ma'lumotlar.

ISSN 3030-3907