RAZRYADLANISH JARAYONIDA ISSIQLIK AKKUMULYATORI SUYUQLIK QATLAMLARIDA ISSIQLIK TAQSIMLANISHINING BALANDLIK BO‘YICHA TAQSIMOTI

M.S. Mirzayev
Buxoro davlat universiteti
B.A. Hikmatov
Buxoro davlat universiteti

Annotatsiya: Issiqlik akkumulyatorlari orasida issiq suv saqlash baklari eng ko‘p foydalaniladigan qurilmalardan bo‘lib, issiq suv saqlash baklarida suyuqlik qatlamlarida issiqlik taqsimlanishini asosiy e’tibordagi mavzulardan biri hisoblanadi. Ushbu ishda issiq suv saqlash bakining bir o‘lchovli matematik modeli taklif qilingan va eksperimental tadqiqot natijalari bilan o‘zaro muvofiqligi tasdiqlangan. Natijalar asosida issiq suv saqlash bakida razryadlanish jarayonida suyuqlik qatlamlarida harorat taqsimotining bak balandligi bo‘yicha taqsimoti ko‘rib chiqilgan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra issiq suv saqlash baki suyuqlik qatlamlarining o‘rtacha harorati razryadlanish jarayonida 33 daqiqadan so‘ng 45°C dan 16.5°C ga tushishi aniqlandi. Razryadlanish vaqtini aniqlashda model va eksperimental tadqiqot natijalari o‘zaro mosligi aniqlandi. Issiq suv saqlash baki uchun taklif qilingan bir o‘lchovli matematik modelning eksperiment natijalari bilan o‘rtacha kvadrat xatolik ildizi – RMSE (Root Mean Square Error) 1.85°C ga va determinatsiya koeffitsiyenti R^2=0.94 ga teng ekanligi aniqlandi. Model natijalari asosida razryadlanish jarayonida suyuqlik qatlamlarida issiqlik taqsimlanishining issiq suv saqlash bakining balandligi bo‘yicha taqsimoti o‘rganildi va tahlil qilindi.

Kalit so‘zlar: Issiqlik energiyasi, energiyani saqlash tizimlari, Grid multiplikatori, konveksiya, issiqlik uzatik, issiqlik taqsimlanishi, harorat.

Аннотация: Среди теплоаккумуляторов наиболее распространены баки для хранения горячей воды, и одним из основных направлений исследований является термическая стратификация в жидкостных слоях этих баков. В данной работе предложена одномерная математическая модель бака для хранения горячей воды, которая была проверена на соответствие результатам экспериментальных исследований. На основе полученных результатов рассмотрено распределение термической стратификации в жидкостных слоях бака для хранения горячей воды в процессе слива по высоте бака. Согласно результатам исследований, установлено, что средняя температура жидкостных слоев в баке для хранения горячей воды снижается с 45°C до 16,5°C через 33 минуты в процессе слива. Модель и результаты экспериментальных исследований были проверены при определении времени слива. Установлено, что среднеквадратная ошибка (RMSE)

ISSN 3030-3907

предложенной одномерной математической модели для бака для хранения горячей воды составляет 1,85°C, а коэффициент детерминации R^2=0,94. На основе результатов моделирования было изучено и проанализировано распределение тепла в жидких слоях в процессе слива по высоте резервуара для хранения горячей воды.

Ключевые слова: тепловая энергия, системы аккумулирования энергии, сетевой мультипликатор, конвекция, теплопередача, термическая стратификация, температура.

Abstract. Among heat accumulators, hot water storage tanks are the most commonly used devices, and thermal stratification in liquid layers in hot water storage tanks is one of the main topics of interest. In this work, a one-dimensional mathematical model of a hot water storage tank is proposed and cross-validated with experimental research results. Based on the results, the distribution of thermal stratification in liquid layers in a hot water storage tank during the discharge process along the tank height is considered. According to the research results, it was determined that the average temperature of the liquid layers in the hot water storage tank decreases from 45°C to 16.5°C after 33 minutes during the discharge process. The model and experimental research results were validated in determining the discharge time. It was found that the root mean square error (RMSE) of the proposed one-dimensional mathematical model for a hot water storage tank is 1.85°C and the coefficient of determination is R^2=0.94. Based on the model results, the thermal distribution in the liquid layers during the discharge process along the height of the hot water storage tank was studied and analyzed.

Keywords: thermal energy, energy storage systems, grid multiplier, convection, heat transfer, thermal stratification, temperature.

Kirish.

Issiq suv saqlash qurilmalarining ishlashi aksariyat hollarda kundalik hayotda sezilmaydi, lekin insonlar har doim issiq suv ta’minotidan foydalanadilar [1]. Energiyaga bo‘lgan talab o‘sishda davom etar ekan, ushbu issiqlik energiyasi tizimlarining samaradorligi tobora muhim ahamiyat kasb etmoqda. Ushbu tizimlarning issiqlikni qanday saqlashi va uzatishini optimallashtirish orqali energiya sarfi, xarajatlar va atrof-muhitga ta’sirini kamaytirish mumkin. Issiqlik energiyasini saqlash sohasi energiya samaradorligi va barqarorligidagi muhim roli tufayli keng qamrovli o‘rganilmoqda. Issiqlik taqsimlanishi issiqlik energiyasini saqlash sohasidagi muhim tushuncha bo‘lib, harorat farqlari tufayli yuzaga keladigan ko‘taruvchi (Arximed) kuchlari tufayli muhit ichidagi suyuqlik qatlamlarini ajratishni anglatadi. Issiq suv saqlash idishidagi harorat taqsimlanishi keng tarqalgan hodisa bo‘lib, saqlangan foydali energiyaning ishonchli ko‘rsatkichi bo‘lib xizmat qiladi [2]. Suv idishidagi yaxshi harorat taqsimlanishi

ISSN 3030-3907

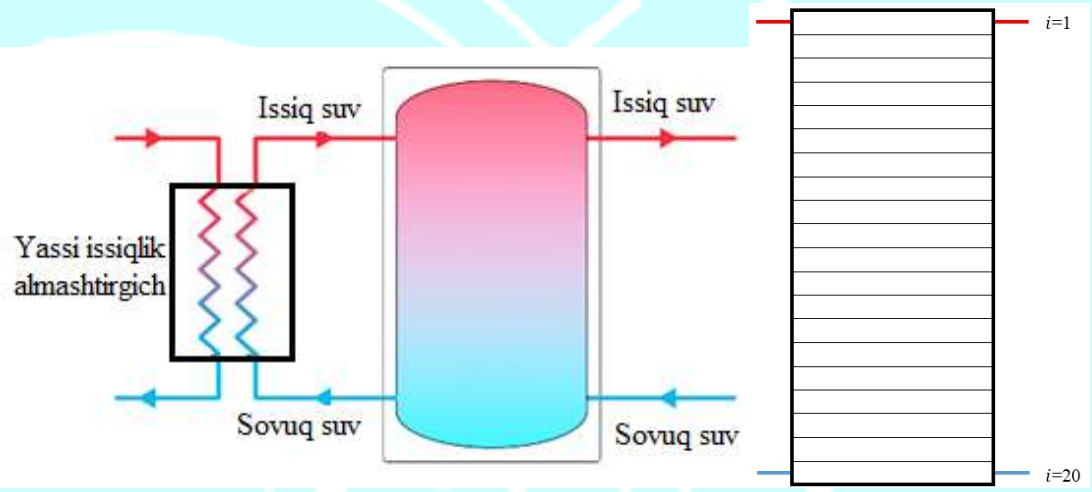
issiqlik saqlash samaradorligini o‘zgartirishi va zaryadlash vaqtini qisqartirishi kerak [3, 4]. Issiq suv saqlash bakida issiqlik taqsimlanishini oshirish uchun bir qator tadqiqotlar o‘tkazilgan. Tadqiqot mavzusi sifatida silindrsimon suv idishini olib, Trojan [5] va Abdelhak [6] vertikal suv saqlash bakini gorizontal bak bilan taqqoslagan va vertikal suv saqlash baki samaraliroq ekanligini aniqladilar. Bak hajmini o‘zgartirmasdan, balandlik-diametr (H/D) nisbatini o‘zgartirish issiqlik saqlash samaradorligiga ta’sir qiladi. Idishning H/D qiymati 3 ga teng bo‘lganda, suv idishi yaxshiroq issiqlik taqsimlanishiga va kuchliroq issiqlik saqlash qobiliyatiga ega bo‘ladi [7-11]. Boshqa muhim parametrlar orasida bak shakli, suyuqlikning kirish/chiqish holati va kirish/chiqish tezligi bakning issiqlik taqsimlanishi darajasiga ta’sir qiladi [12-16]. Cheng [17] kirish massa oqim tezligi 2.8 kg/s bo‘lganda, optimal issiq suv kirish diametri 9 mm bo‘lishini aniqlandi. Assari [18] kirish va chiqish pozitsiyalari yaxshiroq issiqlik taqsimlanishga erishish uchun suv bakining ustki va pastki asoslariga iloji boricha yaqin bo‘lishi kerakligi aniqlagan. García Marí [19] 16 litr/soat va 6 l/soat kirish tezliklarini taqqosladi va yuqori tezlik suv idishidagi turbulentlikni kuchaytirishini ta’kidladi.

Tadqiqotlarda olingan natijalar va davom etayotgan ilmiy izlanishlar issiq suv saqlash baklarida issiqlik taqsimlanishining naqadar dolzarb mavzu ekanligini isbotlaydi. Shuningdek, issiq suv saqlash baklarida issiqlik taqsimlanishini matematik modellashtirish va raqamli simulyatsiyalar orqali o‘rganish ham mumkin. Ushbu tadqiqotda issiq suv saqlash bakining bir o‘lchovli matematik modeli taklif etilgan bo‘lib, Y. Karlina [20] tadqiqotidagi natijalar orqali muvofiqligi tasdiqlangan. Natijalar asosida issiq suv saqlash bakida razryadlanish jarayonida suyuqlik qatlamlarida harorat taqsimotining bak balandligi bo‘yicha taqsimoti ko‘rib chiqilgan.

Metodologiya.

Issiq suv saqlash bakining bir o‘lchovli modelini ishlab chiqishda bak ichidagi suyuqlik teng 20 ta qatlamga bo‘lingan va yuqoridan pastga qarab raqamlangan. Tashqi issiqlik almashtirgichga ega bo‘lgan silindrsimon issiq suv saqlash baki yuqori va pastki qismlarda ikkita kirish va chiqish quvurlariga ega bo‘lib, birinchi qatlamdan kiruvchi issiq suv hisobiga qiziydi va iste’molchiga uzatiladigan issiq suv uchun chiqish quvuri ham shu qatlamda joylashgan (1-rasm). 20-qatlamda esa iste’molchidan qaytgan sovigan suv kirishi va tashqi issiqlik almashtirgichga boruvchi suv chiqish quvuri joylashgan. Issiq suv saqlash bakining razryadlanish jarayoni uchun sovuq suv bakning pastki qismidagi 20-qatlamdan kiradi va 1-qatlamdan issiq suv chiqadi deb qabul qilingan. Bu jarayon davomida issiq suv saqlash baki va tashqi issiqlik almashtirgich orasida issiqlik almashinuvi ro‘y bermaydi.

ISSN 3030-3907



a) **b)**

1-rasm. Issiq suv saqlash baki: a) tashqi issiqlik almashtirgich va issiqlik bakining umumiy sxematik tasviri; b) issiq suv saqlash bakida suyuqlik qatlamlari.

Issiq suv saqlash bakining bir o‘lchovli matematik modelini ishlab chiqish va tasdiqlash uchun Y. Karlina va A.L. Nash [21] eksperimental tadqiqotidagi issiq suv saqlash bakining geometrik parametrlaridan foydalanilgan (1-jadval).

1-jadval.

Issiq suv saqlash bakining geometrik parametrlari.

Issiq suv saqlash bakining parametrlari	O‘lchami
Balandligi	Tashqi – 1.42 m; ichki – 1.30 m
Diametri	Tashqi – 0.51 m; ichki – 0.38 m
Devor qalinligi	0.0065 m
Hajmi	151 l

Issiqlik balans tenglamalari. Issiq suv saqlash bakining 1-rasmda ko‘rsatilgan konfiguratsiyasi uchun energiya balans tenglamalari ishlab chiqilgan [20].

$$C_w m_{w_i} \frac{dT_{w_i}}{dt} = \dot{Q}_{c,w_i} + \dot{Q}_{cf,w_i} - \dot{Q}_{loss_i} - \dot{Q}_{hw} \quad (1)$$

C_w – suvning solishtirma issiqlik sig‘imi;

m_{w_i}- har bir qatlamdagi suvning massasi;

$\dot{Q}_{c,w_i}$ - suyuqlik qatlamlari orasidagi konvektiv issiqlik uzatish tezligi;

$\dot{Q}_{cf,w_i}$ - suvning to‘g‘ridan-to‘g‘ri issiq suv saqlash bakiga qo‘shilishi va olinishi tufayli majburiy konvektiv issiqlik uzatish tezligi;

$\dot{Q}_{loss_i}$ - atrof-muhitga issiqlik yo‘qotish darajasi;

$\dot{Q}_{hw}$ - issiq suv olinishi va sovuq suv qo‘shilishi tufayli majburiy konvektiv issiqlik uzatish tezligi;

i - bakdagi suyuqlik qatlamlarini bildiradi va mos ravishda i 1 dan 20 gacha qiymatlarni qabul qiladi.

ISSN 3030-3907

Suyuqlik qatlamlari orasidagi konvektiv issiqlik uzatish tezligi $\dot{Q}_{c,w_i}$ quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\dot{Q}_{c,w_i} = \left(\frac{\left(T_{w_{i+1}} - T_{w_i}\right) k_w \Delta_{i+1}}{L_w} + \frac{\left(T_{w_{i-1}} - T_{w_i}\right) k_w \Delta_{i-1}}{L_w} \right) A_w \qquad (2)$$

A_w - bakning ko‘ndalang kesimi maydoni;

k_w - suvning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsienti;

Δ - Moslashuvchan Grid multiplikatori bo‘lib, qatlamlar orasidagi issiqlik uzatish tezligi $\dot{Q}_{c,w_i}$ ni hisoblashda K. Powell va boshqalar [22] tomonidan taqdim etilgan Adaptiv Grid yondashuvidan foydalanilgan, bu esa harorat farqi mavjud bo‘lganda qatlamlar orasidagi aralashuvni oshirish orqali issiqlik uzatishni kuchaytiradi. Ushbu ishda eksperimental natijalar asosida Δ=1/400 qiymatida tabiiy konveksiya effektlarini yanada realroq joylashtirish orqali issiq suv saqlash bakida yanada samarali taqsimlanish imkonini beradi deb qabul qilingan [20].

Suvning to‘g‘ridan-to‘g‘ri issiq suv saqlash bakiga qo‘shilishi va olinishi tufayli majburiy konvektiv issiqlik uzatish tezligi $\dot{Q}_{cf,w_i}$ quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\dot{Q}_{cf,w_i} = \dot{m} C_w (T_{w_{i-1}} - T_{w_i}) \qquad (3)$$

$\dot{m}$ - kiruvchi suvning massa oqim tezligi (kg/s).

Suvning to‘g‘ridan-to‘g‘ri issiq suv saqlash bakiga qo‘shilishi va olinishi tufayli majburiy konvektiv issiqlik uzatish tezligi $\dot{Q}_{cf,w_i}$ kiruvchi issiq suv tufayli yuqori qatlamlardagi harorat o‘zgarishi tezligini ifodalaydi, issiq suv saqlash bakining devorlari orqali atrof-muhitga issiqlik yo‘qotilishini bartaraf etish orqali issiqlik samaradorligini oshiradi.

Atrof-muhitga issiqlik yo‘qotish darajasi $\dot{Q}_{loss_i}$ quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\dot{Q}_{loss_i} = \frac{A_{wall_i} k_{ti} \left(T_{w_i} - T_{room}\right)}{L_{ti}} \qquad (4)$$

T_{room} – issiq suv saqlash baki joylashgan xona haroratini ifodalaydi.

Atrof-muhitga issiqlik yo‘qotish darajasi $\dot{Q}_{loss_i}$ har bir qatlam uchun alohida issiq suv saqlash bakining izolyatsiyasi xususiyatlari k_{ti} ga, shu jumladan izolyatsiya qalinligi L_{ti} va ta'sir qilish yuzasi A_{wall_i} ga qarab hisoblab chiqiladi. Oraliq qatlamlar uchun $(2 \leq i \leq 18)$ A_{wall_i} yuza issiq suv saqlash bakining yon tomoni yuzasini ifodalaydi, yuqori $(i = 1)$ va pastki $(i = 20)$ qatlamlar uchun esa issiq suv saqlash bakining yon tomoni yuzasi va yuqori/pastki asos yuzalarini o‘z ichiga oladi.

Issiq suv olinishi va sovuq suv qo‘shilishi tufayli majburiy konvektiv issiqlik uzatish tezligi $\dot{Q}_{hwc}$ quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

ISSN 3030-3907

$$\dot{Q}_{hwc} = C_w(T_{w_{20}} - T_{cold})\dot{m}_{t,fraction} \quad (5)$$

$\dot{m}_{t,fraction}$ - suyuqlikning nisbiy oqim tezligi bo‘lib, quyidagicha topiladi:

$$\dot{m}_{t,fraction} = \dot{m}_t \cdot fraction \quad (6)$$

$\dot{m}_t$ - issiq suvning umumiy iste'mol darajasini, $fraction$ esa issiq suv ulushini ifodalaydi:

$$fraction = \frac{(T_{use} - T_{cold})}{(T_{w_0} - T_{cold})} \quad (7)$$

orqali topiladi. (7) ifodadagi T_{use} – iste’molchi uchun talab qilinadigan harorat, T_{w_0} – issiq suv saqlash bakining suv olinadigan yuqori qatlam harorati, T_{cold} – issiq suv saqlash bakining pastki qatlamiga kiruvchi sovuq suv harorati.

Demak, issiq suv olinishi va sovuq suv qo‘shilishi tufayli majburiy konvektiv issiqlik uzatish tezligi $\dot{Q}_{hwc}$ issiq suv saqlash bakining pastgi qatlamidan suv olishning issiqlik taqsimotiga aniq ta'sirini baholash uchun zarur va kiruvchi sovuq suv harorati T_{cold} ga bog‘liq. $\dot{Q}_{hwc}$ odatda issiq suv saqlash bakining pastki ikki qatlamiga yoki faqatgina eng oxirgi qatlamiga ta'sir qiladi deb hisoblanadi. Ushbu tadqiqotda faqatgina 20-qatlamga ta’sir qiladi deb qabul qilingan.

Eksperimental natijalar va ishlab chiqilgan bir o‘lchovli matematik modeldan olingan natijalar orasidagi o‘rtacha kvadratik xatolik ildizi (RMSE) va determinatsiya koeffitsiyenti (R^2) quyidagi tenglamalar orqali aniqlanadi.

O‘rtacha kvadrat xatolik ildizi – RMSE (Root Mean Square Error) [23]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{\tau=1}^{N}\left(T_{\tau,model} - T_{\tau,exp}\right)^2} \quad (8)$$

R^2 – determinatsiya koeffitsiyenti (maximum correlation coefficient) [23]:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{\tau=1}^{N}\left(T_{\tau,model} - T_{\tau,exp}\right)^2}{\sum_{\tau=1}^{N}\left(T_{mean,model} - T_{\tau,exp}\right)^2} \quad (9)$$

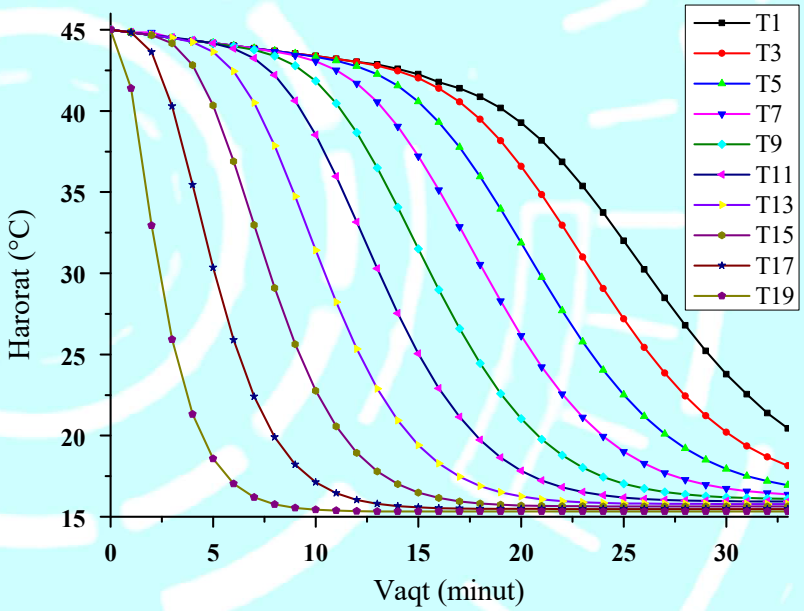
bu yerda $T_{\tau,model}$ va $T_{\tau,exp}$ mos ravishda vaqtning τ qiymatida model va eksperimentdati suyuqlik haroratlarni ifodalaydi, $T_{mean,model}$ – model natijalari asosidagi o‘rtacha haroratni ifodalaydi.

Natijalar va muhokama

Differensial tenglamalar ayirmali sxema metodidan foydalangan holda sonli usulda yechildi va bir o‘lchovli matematik model taklif qilindi. Issiq suv saqlash bakida razryadlanish jarayonining modeli quyidagi shartlar asosida ishlatildi: issiq suv saqlash bakidagi har bir qatlamning dastlabki haroratlari bir xil bo‘lib, 45°C ga teng. Issiq suv saqlash bakida razryadlash jarayonida suyuqlikning massa oqim tezligi o‘zgarmas bo‘lib, 330 kg/soat ga teng. Razryadlash jarayonidagi pastki 20-qatlamiga kiruvchi sovuq suv harorati 15°C ga teng va issiq suv 1-qatlamdan chiqadi deb hisoblanadi. Hisob-kitoblar $fraction$ doimiy 0.92 ga teng qiymatni qabul qiladi deb olib borilgan. Issiq suv saqlash bakining razryadlanish jarayoni suyqulikning barcha 20 ta qatlamlarida suyuqlik harorati bir xil 45°C bo‘lgan

ISSN 3030-3907

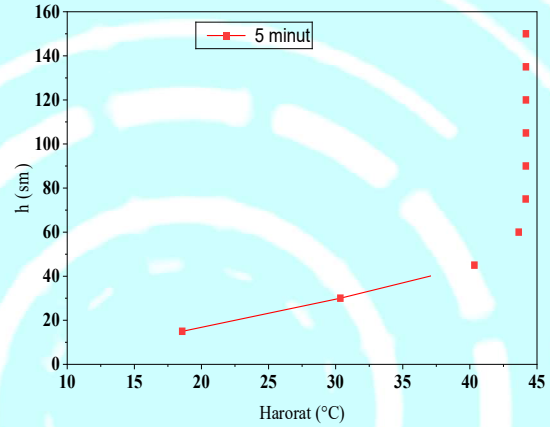
vaqtdan boshlab 20 ta qatlamning o‘rtacha harorati 16.5°C bo‘lgunicha davom etadi. Bir o‘lchovli matematik model natijalariga ko‘ra issiq suv saqlash baki suyuqlik qatlamlarining o‘rtacha harorati 33 daqiqadan so‘ng 16.5° ga tushdi (2-rasm).



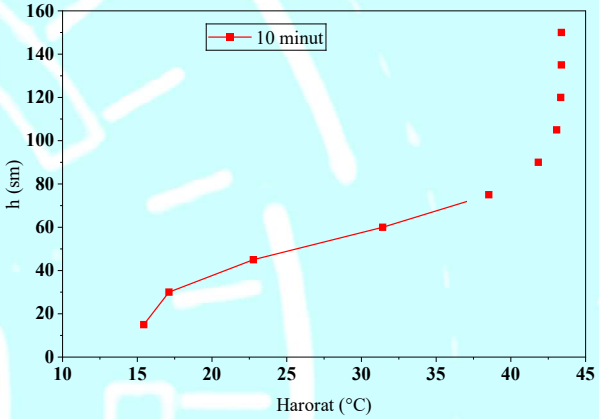
2-rasm. Issiq suv saqlash bakining suyuqlik qatlamlarida harorat o‘zgarishi.

Bir o‘lchovli matematik model natijalariga ko‘ra 20-qatlamdan kirayotgan 15°C sovuq suv tufayli issiq suv saqlash bakining pastki qatlamlari tezlik bilan sovishni boshlaydi. 2-rasmdan ko‘rinib turibdiki razryadlanish jarayoni boshlanganidan 10 daqiqa o‘tgach 17-20 qatlamlar harorati 20°C dan pastlaganini ko‘rishimiz mumkin. 1-11 qatlamlar harorati esa 40°C dan yuqoriligicha qolmoqda. 20-daqiqaga kelib esa yuqori qatlamlar harorati ham 40°C dan tushgan bo‘lib, 17-20 qatlamlar harorati deyarli 15°C ga cha tushgan. 30- daqiqaga kelib faqatgina 1-3 qatlamlar harorati 20°C dan yuqoriligicha qolmoqda. Razryadlanish vaqti deb qabul qilingan 33-daqiqada esa 1-qatlam harorati 20.44°C ni tashkil qilgan. Agar suyuqlik qatlamlarini issiq suvsaqlash bakining balandligi bilan bog‘laydigan bo‘lsak, 3a-3f rasmlarda bir o‘lchovli matematik model natijalariga ko‘ra issiq suv saqlash bakining razryadlanish jarayonida issiqlik taqsimlanishining bak balandligi bo‘yicha taqsimotini ko‘rishimiz mumkin bo‘ladi.

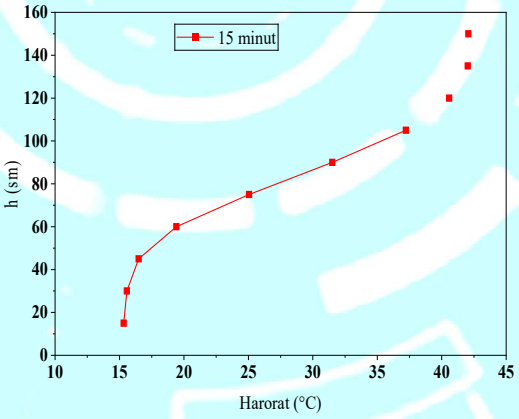
ISSN 3030-3907



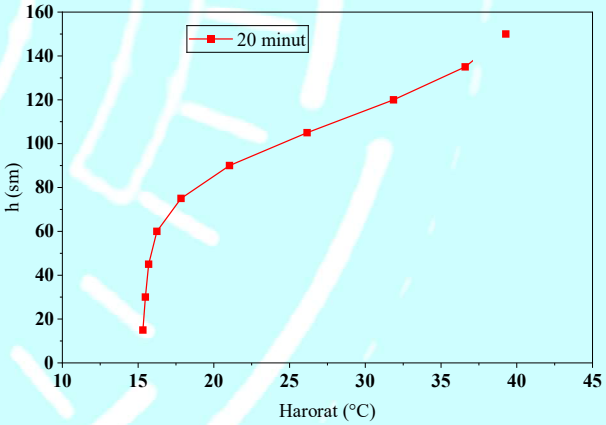
3a)



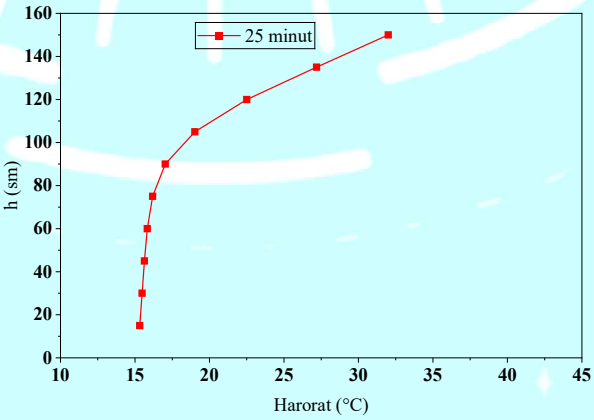
3b)



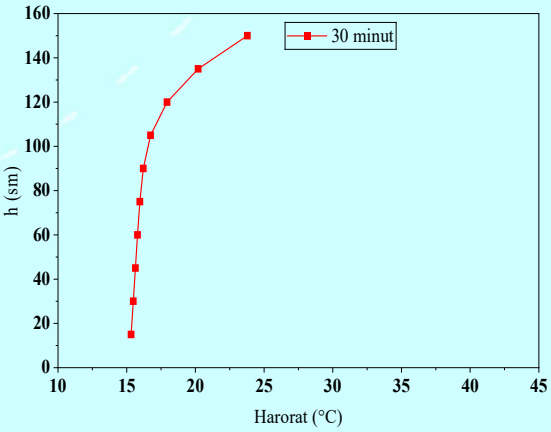
3c)



3d)



3e)

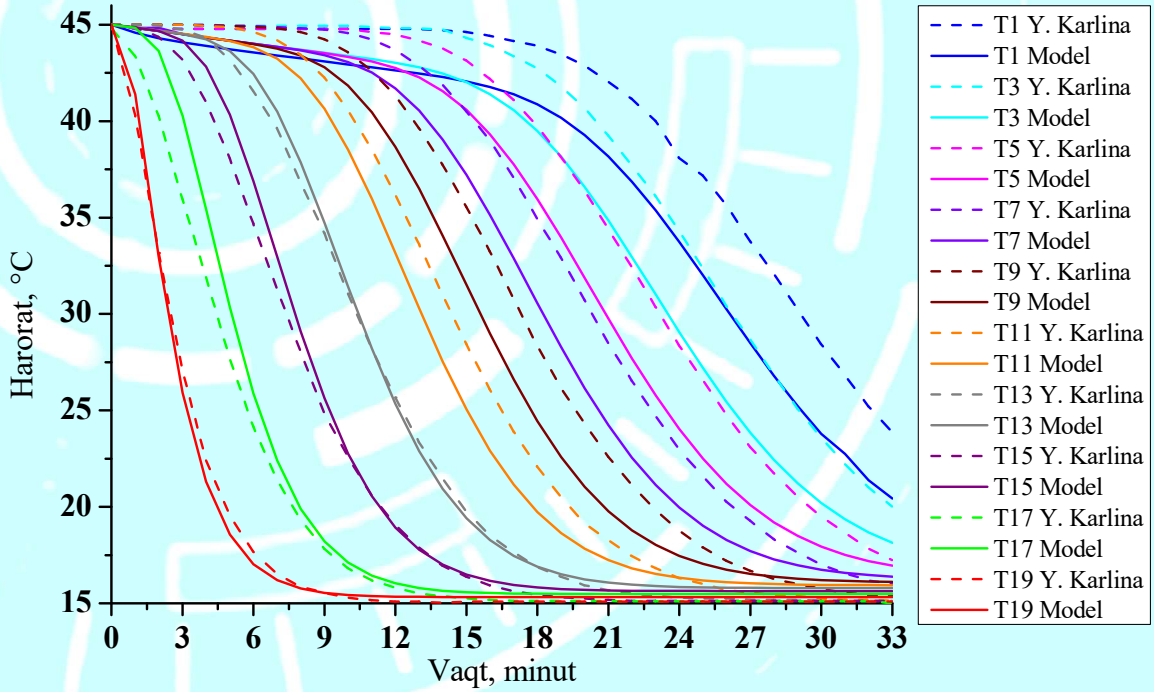


3f)

3a)-rasmda ko‘rish mumkinki razryadlanish jarayoni boshlanganidan 5 daqiqa o‘tib issiq suv saqlash bakining 60-151 sm oralig‘ida suv harorati deyarli teng va 44°C atrofida ekanini ko‘rish mumkin. 40-60 sm oralig‘ida suv harorati 44°C dan 41°C gacha kamayadi. 10-40 sm oralig‘ida esa suv harorati 18°C dan 41°gacha oraliqda bo‘ladi va katta harorat farqi hosil bo‘ladi. 3b)-rasmda razryadlanish jarayoni boshlanganidan 10 daqiqa o‘tib 80-151 sm oralig‘ida suv harorati 40°C dan yuqoriligicha qolmoqda. Kirayotgan sovuq suv yuqori qatlamlarga ko‘proq ta’siri sezilmoqda. 3c)-3e) rasmlarda haroratning butun bak bo‘yicha tushib borayotganini ko‘rish mumkin. 3c)-rasmda taxminan 110 sm dan

ISSN 3030-3907

yuqori qismdagi suv harorati 40°C dan yuqori bo‘lsa, 3d)-rasmda yuqori qatlamdagi harorat 40° dan ham pastga tushganini ko‘rsatadi. 3f)-rasm jarayonning 30-daqiqasi bo‘lib, bakning faqatgina yuqori 20 sm da suv harorati 20-25°C oralig‘ida, qolgan qism harorati esa 15-20°C oralig‘ida ekanini ko‘rish mumkin. 4-rasmda issiq suv saqlash bakining bir o‘lchovli matematik modelidan olingan natijalar va Y. Karlina tadqiqotida olingan natijalarning o‘zaro mosligini tekshirilgan.



4-rasm. Issiq suv saqlash bakining bir o‘lchovli matematik modeli va Y. Karlina tadqiqoti natijalarining o‘zaro mosligini tekshirish.

Issiq suv saqlash baki uchun ishlab chiqilgan bir o‘lchovli matematik modeli va Y. Karlina tadqiqoti natijalari orasidagi o‘rtacha kvadrat xatolik ildizi – RMSE (Root Mean Square Error) 1.85°C ga va determinatsiya koeffitsiyenti R^2=0.94 ga teng ekanligi aniqlandi.

Xulosa

Ushbu ishda issiqlik akkumulyatorlari orasida eng ko‘p foydalaniladigan issiq suv saqlash baklarining raqamli baholash uchun bir o‘lchovli matematik model taklif qilindi va eksperimental tadqiqotlar bilan mosligi tekshirildi. Issiq suv saqlash baki uchun energiya balans tenglamalari ishlab chiqildi va differensial tenglamalar ayirmali sxema metodidan foydalangan holda sonli usulda yechildi. Issiq suv saqlash bakida razryadlanish jarayoni uchun model Y. Karlina tadqiqotidagi shartlar asosida ishlatildi va natijalariga ko‘ra issiq suv saqlash baki suyuqlik qatlamlarining o‘rtacha harorati 33 daqiqadan so‘ng 16.5°C ga tushishi aniqlandi. Razryadlanish vaqtini aniqlashda model va eksperimental tadqiqot natijalari bir xil mosligi va 1980 soniyani tashkil qilishi aniqlandi. Issiq suv saqlash baki uchun taklif qilingan bir o‘lchovli matematik model va Y. Karlina tadqiqoti

ISSN 3030-3907

natijalari orasidagi o‘rtacha kvadrat xatolik ildizi – RMSE (Root Mean Square Error) 1.85°C ga va determinatsiya koeffitsiyenti R^2=0.94 ga teng ekanligi aniqlandi. Model natijalari asosida razryadlanish jarayonida suyuqlik qatlamlarida issiqlik taqsimlanishining issiq suv saqlash bakining balandligi bo‘yicha taqsimoti o‘rganildi va tahlil qilindi. Keyingi tadqiqotlarda bir o‘lchovli matematik model yordamida razryadlash jarayoni uchun issiq suv saqlash baklarining issiqlik taqsimlanishini baholashda boshlang‘ich harorat, massa oqimi va tank balandligining diametriga nisbatiga bo‘gliqligini raqamli o‘rganish taklif qilinadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. P.D. van Schalkwyk, J.P. Meyer, J.A.A. Engelbrecht, M.J. Booysen, Numerical modelling of thermal stratification scenarios in horizontal electric hot water storage tanks, Appl. Therm. Eng. 258 (2025) 124716
2. B. Thomas, P. van Schalkwyk, J. Engelbrecht, P. Haase, A. Maier, C. Widmann, M. Booysen, Thermodynamic analysis of stratification in thermal energy storages implemented in cogeneration systems, Appl. Therm. Eng. (2023) 121015.
3. S. Faisal Ahmed, M. Khalid, M. Vaka, R. Walvekar, A. Numan, A. Khaliq Rasheed, N. Mujawar Mubarak, Recent progress in solar water heaters and solar collectors: A comprehensive review, Therm. Sci. Eng. Prog. 25 (2021) 100981.
4. A.K. Tiwari, S. Gupta, A.K. Joshi, F. Raval, M. Sojitra, TRNSYS simulation of flat plate solar collector based water heating system in Indian climatic condition, Mater. Today Proc. 46 (2021) 5360–5365.
5. M. Trojan, D. Taler, P. Dzierwa, J. Taler, K. Kaczmarski, J. Wrona, The use of pressure hot water storage tanks to improve the energy flexibility of the steam power unit, Energy 173 (2019) 926–936.
6. O. Abdelhak, H. Mhiri, P. Bournot, CFD analysis of thermal stratification in domestic hot water storage tank during dynamic mode, Build. Simul. 8 (2015) 421–429.
7. J. Dragsted, S. Furbo, M. Dannemand, F. Bava, Thermal stratification built up in hot water tank with different inlet stratifiers, Sol. Energy 147 (2017) 414–425.
8. H. Khurana, S. Tiwari, R. Majumdar, S.K. Saha, Comparative evaluation of circular truncated-cone and paraboloid shapes for thermal energy storage tank based on thermal stratification performance, J. Storage Mater. 34 (2021), 102191.
9. Z. Yang, H. Chen, L. Wang, Y. Sheng, Y. Wang, Comparative study of the influences of different water tank shapes on thermal energy storage capacity and thermal stratification, Renew. Energy 85 (2016) 31–44.
10. S. Ievers, W. Lin, Numerical simulation of three-dimensional flow dynamics in a hot water storage tank, Appl. Energy 86 (2009) 2604–2614.

ISSN 3030-3907

11. A. Li, F. Cao, W. Zhang, B. Shi, H. Li, Effects of different thermal storage tank structures on temperature stratification and thermal efficiency during charging, Sol. Energy 173 (2018) 882–892.
12. J. Li, X. Li, R. Du, Y. Wang, J. Tu, A new design concept of thermal storage tank for adaptive heat charging in solar heating system, Appl. Therm. Eng. 165 (2020), 114617.
13. J.D. Rendall, K.R. Gluesenkamp, W. Worek, A. Abu-Heiba, K. Nawaz, T. Gehl, Empirical characterization of vertical-tube inlets in hot-water storage tanks, Int. Commun. Heat Mass Transf. 119 (2020), 104838.
14. Y.P. Chandra, T. Matuska, Numerical prediction of the stratification performance in domestic hot water storage tanks, Renew. Energy 154 (2020) 1165–1179.
15. I.J. Moncho-Esteve, M. Gasque, P. Gonz´alez-Altozano, G. Palau-Salvador, Simple inlet devices and their influence on thermal stratification in a hot water storage tank, Energy Build. 150 (2017) 625–638.
16. A. Aggarwal, N. Goyal, A. Kumar, Thermal characteristics of sensible heat storage materials applicable for concentrated solar power systems, Mater. Today Proc. 47 (2021) 5812–5817.
17. Cheng Youliang, Wang Jingshuang, Liu Meng.et al. Numerical simulation optimization analysis of solar thermal storage layered water tank, Renewable energy resource 37(2019) 1448-1452.
18. M.R. Assari, H. Basirat Tabrizi, M. Savadkohy, Numerical and experimental study of inlet-outlet locations effect in horizontal storage tank of solar water heater, Sustain. Energy Technol. Assess. 25 (2018) 181–190.
19. E. García-Marí, M. Gasque, R.P. Guti´errez-Colomer, F. Ib´anez, P. Gonzalez Altozano, A new inlet device that enhances thermal stratification during charging in a hot water storage tank, Appl. Therm. Eng. 61 (2013) 663–669.
20. Y. Karlina, Y. Yerdesh, A. Toleukhanov, Y. Belyayev, H. S. Wang, and O. Botella, “Numerical Simulation Study of Thermal Performance in Hot Water Storage Tanks with External and Internal Heat Exchangers,” Energies (Basel), vol. 17, no. 22, Nov. 2024, doi: 10.3390/en17225623.
21. A. L. Nash, A. Badithela, and N. Jain, “Dynamic modeling of a sensible thermal energy storage tank with an immersed coil heat exchanger under three operation modes,” Appl Energy, vol. 195, pp. 877–889, 2017, doi:10.1016/j.apenergy.2017.03.092.
22. K. M. Powell and T. F. Edgar, “An adaptive-grid model for dynamic simulation of thermocline thermal energy storage systems,” Energy Convers Manag, vol. 76, pp. 865–873, 2013, doi: 10.1016/j.enconman.2013.08.043.

ISSN 3030-3907

23. Khikmatov Bekhzod Amonovich, Mirzaev Mirfayz Salimovich, Samiev Kamoliddin A'zamovich, A systematic review on greenhouse type solar dryers, Solar Energy 283 (2024) 113021, 1-43.

ISSN 3030-3907