



Havoni mo'tadillash tizimlarida ikki rejimli bug'lanma sovitgichlar ishlashini tadqiq qilish

Siroj K. Yarashov^{1, a)}, Nizomjon O. Usmonov², Abbos G. Hazratov^{1, b)}, Jamshid Yu. Usmonov^{1, c)}

^{1, a)} Assistent, Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; siroyarashov@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-1275-2611>

^{1, b)} Assistent, Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; abboshazratov1601@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-0064-5649>

^{1, c)} Assistent, Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; usmonovjamshid819@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-4289-5225>

² PhD, dots. Toshkent xalqaro moliyaviy boshqaruv va texnologiyalari universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; nizomiddin3101@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-3051-4198>

Dolzarblik: O'zbekistonning aksariyat hududlarini issiq va quruq iqlim qamrab olgan, qisman vodiy tomonlar issiq va nam iqlim hisoblanadi. Bevosita bug'lanma sovitgich issiq-quruq va bilvosita regenerativ bug'lanma sovitgichlar issiq-nam iqlim uchun mos keladi. Murakkab iqlim sharoitida (harorat va namlikdagi sezilarli mavsumiy o'zgarishlar) bir xil maqsadda ikki xil sovitgichdan foydalanmaslik uchun yangi ikkitasi birda bug'lanma sovitgichi taklif qilingan va ushbu tadqiqotda tajriba-sinovlar raqamli o'rganilgan. Taklif etilayotgan sovitgich har ikki turdagi bug'lanma sovitgich afzalliklaridan foydalaniladi va ikki xil rejimda ishlaydi: issiq-quruq iqlim uchun bevosita bug'lanma sovitgich va issiq-nam iqlim uchun regenerativ bilvosita bug'lanma sovitgich vazifasini bajaradi. Ikkala rejimni (bevosita va bilvosita) ishlashi diagrammalar yordamida tushuntirilgan. Kanallar balandligi va suv sarfini sovitish quvvatiga, hamda nam termometr bo'yicha samaradorligi va shudring nuqtasi samaradorligiga ta'siri muhokama qilindi.

Maqsad: ushbu tadqiqot ishi mos ravishda issiq-quruq va issiq-nam havo sharoitlari uchun bevosita va bilvosita rejimlarda ishlaydigan "ikkitasi birda" qurilma bo'lgan yangi ikki rejimli issiqlik va massa almashinuv qurilmani joriy qilishdan iborat.

Usullar: kanallardagi massa va energiya saqlanishi natijasida olingan differensial diskretlash chekli farq usulidan foydalanildi.

Natijalar: taklif etilayotgan sovitgichni oylar kesimi bo'yicha ishlashi O'zbekistonning beshta shaharlari (issiq-quruq iqlimli Qarshi va Termez, issiq-nam iqlimli Andijon, Namangan va Farg'ona) uchun baholandi. Issiq oylarda (apreldan oktabrgacha) va shaharlarda rejimlarni muvofiqligi psixometrik jadval yordamida baholanadi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, taklif etilayotgan sovitgichdan aralash iqlimli hududlar uchun foydalanish samarali va tejamkor bo'lishi mumkin.

Kalit so'zlar: issiq va quruq iqlim, regenerativ bilvosita bug'lanma sovitgich, nisbiy namlik, tarkibiy namlik.

Исследование работы двухрежимных испарительных охладителей в системах кондиционирования воздуха

Сирож К. Ярашов^{1, a)}, Низомжон О. Усмонов², Аббос Г. Ҳазратов^{1, b)}, Жамшид Ю. Усмонов^{1, c)}

^{1, a)} Ассистент, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; siroyarashov@gmail.com <https://orcid.org/0009-0000-1275-2611>

^{1, b)} Ассистент, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; abboshazratov1601@gmail.com <https://orcid.org/0009-0008-0064-5649>

^{1, c)} Ассистент, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; usmonovjamshid819@gmail.com <https://orcid.org/0009-0004-4289-5225>

² PhD, доц. Ташкентский международный университет финансового менеджмента и технологий, Ташкент, 100095, Узбекистан; nizomiddin3101@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-3051-4198>

Актуальность: большинство регионов Узбекистана покрыты жарким и сухим климатом, частично на склонах долин – жаркий и влажный климат. Прямые испарительные охладители подходят для сухих и регенеративно-косвенных испарительных охладителей для жаркого и влажного климата. Предлагается новый испарительный охладитель «два в одном», чтобы избежать использования двух разных охладителей для одной и той же цели в сложных климатических условиях (значительные сезонные изменения температуры и влажности); в исследовании численно анализируются экспериментальные испытания. Предлагаемый охладитель использует преимущества обоих типов испарительных охладителей и работает в двух режимах: прямой испарительный охладитель для жаркого и сухого климата и регенеративно-косвенный испарительный охладитель для жаркого и влажного климата. Работа в обоих режимах (прямом и косвенном) поясняется с помощью диаграмм. Обсуждается влияние высоты воздуховода и расхода во-

For citation: Yarashov S.K., Usmonov N.O., Hazratov A.G., Usmonov J.Yu. Study of the operation of dual-mode evaporative coolers in air conditioning systems. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2024, no. 3, pp. 147-154.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14032954>

Received: 10.09.2024

Revised: 20.09.2024

Accepted: 21.10.2024

Published: 02.11.2024

Copyright: © Siroj K. Yarashov, Nizomjon O. Usmonov, Abbos G. Hazratov, Jamshid Yu. Usmonov, 2024. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



ды на холодопроизводительность, эффективность по влажному термометру и эффективность точки росы. **Цель:** целью работы является внедрение нового двухрежимного теплообменника, представляющего собой устройство «два в одном», работающего в прямом и косвенном режимах, для жарко-сухих и жарко-влажных погодных условий соответственно.

Методы: дифференциальная дискретизация, полученная в результате сохранения массы и энергии в каналах, а также использовался метод конечных разностей.

Результаты: работоспособность предлагаемого охладителя оценивалась для пяти городов Узбекистана (Карши и Термез с жарким засушливым климатом, Андижан, Наманган и Фергана с жарким влажным климатом). В теплые месяцы (с апреля по октябрь) в городах пригодность режимов охлаждения оценивается с помощью психометрической таблицы. Результаты исследований показывают, что предлагаемый охладитель может быть эффективен и экономичен в использовании для регионов со смешанным климатом.

Ключевые слова: жаркий и сухой климат, регенеративно-косвенный испарительной охладитель, относительная влажность, влагосодержание.

Study of the operation of dual-mode evaporative coolers in air conditioning systems

Siroj K. Yarashov^{1, a)}, Nizomjon O. Usmonov², Abbos G. Hazratov^{1, b)}, Jamshid Yu. Usmonov^{1, c)}

^{1, a)} Assistant, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; siroyarashov@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-1275-2611>

^{1, b)} Assistant, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; abboshazratov1601@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-0064-5649>

^{1, c)} Assistant, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; usmonovjamshid819@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-4289-5225>

² PhD., Assoc., Tashkent University of International Financial Management and Technologies, Tashkent, Uzbekistan; nizomidin3101@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-3051-4198>

Relevance: most regions of Uzbekistan are covered with a hot and dry climate, and partly on the slopes of the valleys there is a hot and humid climate. Direct evaporative coolers are suitable for dry and regenerative indirect evaporative coolers for hot and humid climates. A new two-in-one evaporative cooler is proposed to avoid the use of two different coolers for the same purpose under challenging climate conditions (significant seasonal changes in temperature and humidity), and this study numerically investigates the experimental tests. The proposed cooler takes advantage of both types of evaporative coolers and operates in two modes: direct evaporative cooler for hot and dry climates and regenerative indirect evaporative cooler for hot and humid climates. The operation of both modes (direct and indirect) is explained with the help of diagrams. The effects of duct height and water flow on cooling capacity, wet bulb efficiency, and dew point efficiency are discussed.

Aim: the aim of this research work is to introduce a new dual-mode heat and mass exchanger, which is a two-in-one device operating in direct and indirect modes for hot-dry and hot-humid weather conditions, respectively.

Methods: differential discretization derived from the conservation of mass and energy in the channels was used using the finite difference method.

Results: the performance of the proposed cooler was assessed for five cities of Uzbekistan (Karshi and Termez with a hot arid climate, Andijan, Namangan and Fergana with a hot humid climate). During the warm months (April to October) and in cities, the suitability of the regimes is assessed using a psychrometric table. The research results show that the proposed cooler can be effective and economical to use for regions with mixed climates.

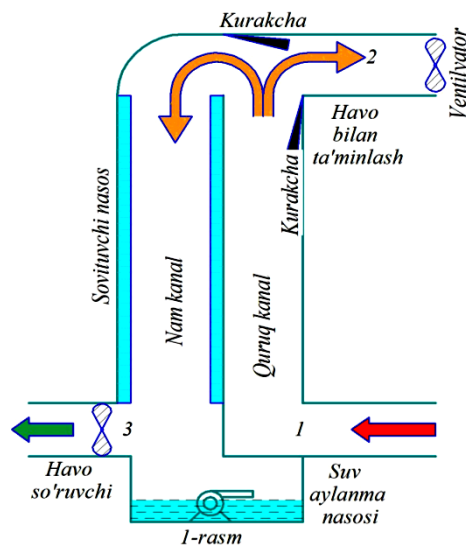
Key words: hot and dry climate, regenerative-indirect evaporative cooler, relative humidity, moisture content.

1. Kirish (Introduction)

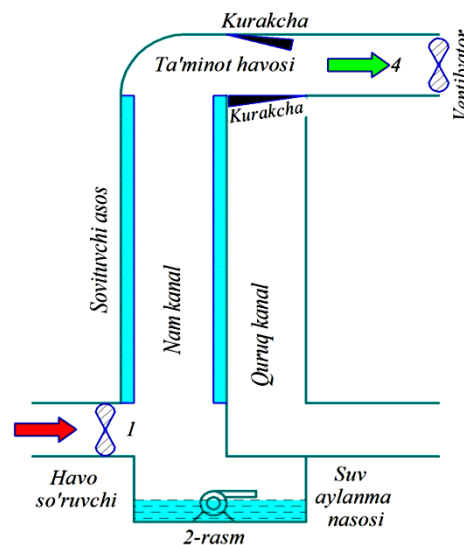
O'zbekistonning asosiy qismi uchun havoni mo'tadillash tizimlari taxminan olti oy davomida talab qilinadi (15 apreldan 15 oktabrgacha). Zamonaviy sovitish texnologiyalarida bug' kompressorli sovitish tizimlari ustuvorlik qiladi [1-5]. Ushbu tizimlar ishlab chiqarilayotgan energiyaning 40-50% ini tashkil etadi hamda global isishga olib keladi. Bug'lanma sovitish jarayoni bug' kompressorli sovitish mashinalari o'rnini bosuvchi eng qadimgi va ekologik toza texnologiyalaridan hisoblanadi. Bug'lanma sovitgich (issiqlik va massa almashinuvchi) ishlashiga qarab bevosita va bilvosita bug'lanma sovitgichlarga ajraladi. Bevosita bug'lanma sovitgich keng miqyosda tarqalgan, ammo yuqori namlik sharoitida samarasiz hisoblanadi. Bevosita bug'lanma sovitgich havo namligini keskin oshiradi va insonlarga noqulaylik tug'diradi. Ushbu kamchiliklarni bartaraf etish uchun atrof-muhit namligidagi havoni yetkazib beradigan bilvosita bug'lanma sovitgich joriy etildi [3-8]. Haroratga bog'liq ravishda 40-60% nisbiy namlik oralig'ida odam o'zini yaxshi his qiladi. Maysotsenko sikli yoki regenerativ bug'lanma sovitgich yordamida havoni nam termometr bo'yicha haroratidan pastroq sovitish uchun bilvosita bug'lanma sovitgich qo'shimcha ravishda boshqa shaklga o'zgartirildi. Regenerativ bug'lanma sovitgich tuzilishi jihatidan oddiy, ammo kam sovitish quvvatiga ega.

2. Tajriba (Experience)

Ushbu tadqiqot ishi mos ravishda issiq-quruq va issiq-nam havo sharoitlari uchun bevosita va bilvosita rejimlarda ishlaydigan “ikkitasi birda” qurilma bo‘lgan yangi ikki rejimli issiqlik va massa almashinuv qurilmani taklif etadi. Ushbu qurilma bevosita issiqlik va massa berish rejimi uchun ho‘l kanaldan, hamda bilvosita regenerativ issiqlik va massa almashirgich rejimi uchun ham nam, ham quruq kanallardan iborat bo‘lgan havo oqimi sxemasi bo‘yicha ishlaydi. Taklif etilayotgan issiqlik almashinish qurilmasining asosiy tuzilishi qo‘shimcha parrak va boshqariladigan ventilator bilan regenerativ bilvosita issiqlik almashinish apparatiga o‘xshaydi.



1-rasm. Bilvosita regenerativ bug‘lanma sovitgich
Fig.1. Indirect regenerative evaporative cooler



2-rasm. Bevosita bug‘lanma sovitgich
Fig. 2. Direct evaporative cooler

1-rasmda ko‘rsatilganidek, qurilma bilvosita rejimda ishlaganda, ikkala havo ventilator ham qo‘shilgan va ikkala kurakchalar ham ochiq. Tashqi havo qurilmaga 1-nuqtadan kiradi va quruq kanallardan o‘tib, suv o‘tkazmaydigan ajratuvchi devor bilan issiqlik almashinuvi sababli sezilarli darajada soviydi. Keyin sovitilgan havoning bir qismi 2-nuqtadan sovitilishi kerak bo‘lgan binoga uzatiladi, qolgan qismi esa nam kanalga yo‘naltiriladi. Ushbu taqsimlanish nisbati qurilma yuqori qismida joylashgan kurakcha ochilishini va havo so‘ruvchi ventilator tezligini bir vaqtning o‘zida boshqarishni nazorat qiladi. Ho‘l kanal orqali o‘tuvchi qayta ishlangan havo namlanadi va 3-nuqtadan atmosferaga chiqarib yuboriladi. Ushbu rejimda quruq kanal oxirida joylashgan kurakcha to‘liq ochiq qoladi va boshqa kurakcha ochilishi esa taqsimlanish darajasiga bog‘liq. 2-rasmda ko‘rsatilganidek, qurilma bevosita rejimida ishlayotganida quruq kanaldan chiqishdagi kurakcha to‘liq yopiq, qolganlari esa to‘liq ochiq bo‘ladi. Demak, quruq kanallarda havo oqimi bloklanadi va ishlamaydi. Tashqi havo qurilmaga 1-nuqtadan kiradi va nam kanallarda sovituvchi material orqali o‘tayotganida soviydi va namlanadi, keyin sovitilgan va nam havo 4-nuqta orqali binoga beriladi. Ikkala rejim uchun ham suv sovitish materialining yuqori qismidagi purkagichga quyida joylashgan bakdan nasos orqali beriladi va nam kanallarda o‘rnatilgan material orqali oqib tushadi.

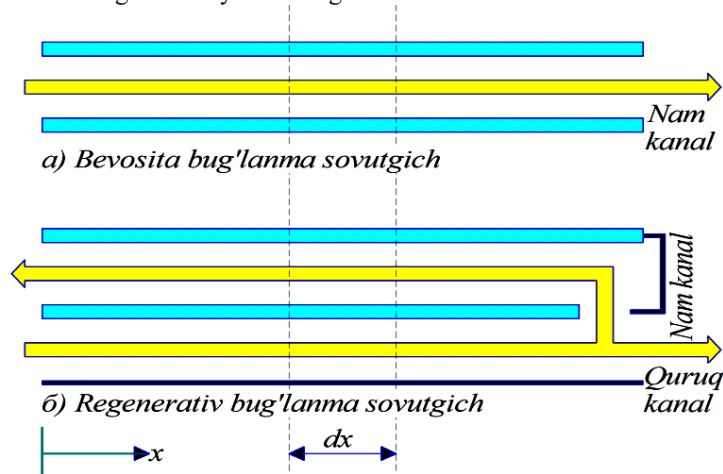
Taklif etilayotgan ikki rejimli issiqlik va massa almashirgich ikkita kurakchasini nazorat qilish, shuningdek, ventilatorlarni yoqish va o‘chirish orqali ham regenerativ, ham bevosita rejimlarda ishlashi mumkin. Shu bilan birga, ob-havo yoki atrof-muhit sharoitlariga qarab ikkala rejim afzalliklaridan foydalanish imkoniyatini beradi.

3. Matematika modellashtirish (Mathematical modeling)

3-rasmda tavsiya etilgan issiqlik va massa almashinuvchi bevosita va bilvosita rejimlarining diagrammasi ko‘rsatilgan. Matematik model nam kanalda massani barqaror saqlanishi, hamda quruq va nam kanalda energiyani saqlanishiga asoslangan holda ishlab chiqildi. Tahlilni soddalashtirish uchun quyidagi farazlar amalga oshirildi:

- qurilmani hamma tomoni yaxshi izolyatsiyalangan (qurilma ichidagi havo va atrof-muhit orasida issiqlik almashinuvi yo‘q);
- nam va quruq kanallar ichidagi oqim laminar va to‘liq rivojlangan;
- kanallar oralig‘idagi masofa kenglik bilan solishtirganda juda kichik. Shuning uchun tahlil bir o‘lchovli deb qabul qilinadi va oqimga nisbatan normal harorat o‘zgarishi e‘tiborga olinmaydi;
- kanallar ichidagi oqim barqaror va siqilmaydi;

- havo va suv bug'larining issiqlik va fizik xossalari haroratga bog'liq deb olinadi;
- nam kanaldagi issiqlik va massa almashinuv koeffitsientlari doimiy;
- suv plyonkasi juda yupqa. Shunday qilib, quruq va ho'l kanallarni ajratuvchi devorlar harorati namlovchi suyuqlik bilan teng bo'ladi;
- har bir kanalda havoning massaviy sarfi o'zgarmas.



3-rasm. Bevosita bilvosita rejimli issiqlik va massa almashirgich sxemasi
Fig. 3. Scheme of heat and mass exchanger in direct indirect mode

Bilvosita rejim uchun asosiy tenglamalar. Yuqorida qayd etilgan farazlardan foydalangan holda, 3-rasmda ko'rsatilganidek, x koordinatasi bo'ylab quruq kanalda energiyani saqlash imkonini beradi:

$$m_{qh} C_{p,qh} \frac{dt_{qh}}{dx} = k(t_{suv} - t_{qh})W. \quad (1)$$

Bu yerda k quruq kanaldagi havo va plyonka bo'lib oqayotgan suv orasidagi umumiy issiqlik uzatish koeffitsienti va quyidagi formuladan topiladi:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_{qh}} + \frac{\delta_{plast}}{\lambda_{plast}} + \frac{1}{\alpha_{suv}}. \quad (2)$$

Nam kanalda havo oqimining energiyasini saqlash quyidagi beradi:

$$m_{nh} C_{p,nh} \frac{dt_{nh}}{dx} = \alpha_{nh}(t_{nh} - t_{suv})W - r_{yai} \beta_{bug'}(\omega_{nh} - \omega_{suv})W. \quad (3)$$

Nam kanalda massa saqlanishi quyidagicha ifodalanadi:

$$m_{nh} \frac{d\omega_{nh}}{dx} = \beta_{bug'}(\omega_{nh} - \omega_{suv})W. \quad (4)$$

Namlovchi suyuqlik uchun energiya saqlanish (quruq va nam kanallar orasida) quyidagiga teng:

$$m_{suv} C_{p,suv} \frac{dt_{suv}}{dx} = k(t_{suv} - t_{nh})W + \alpha_{nh}(t_{suv} - t_{nh})W + r_{yai} \beta_{bug'}(\omega_{suv} - \omega_{nh})W. \quad (5)$$

bu yerda ω_{suv} namlayotgan suyuqlik haroratidagi to'yingan namlik, ω_{nh} esa nam kanaldagi havo namligi.

Bevosita rejim uchun asosiy tenglamalar. Issiqlik va massa almashirgichdagi nam kanalda energiyani saqlash tenglamasi:

$$m_{nh} C_{p,nh} \frac{dt_{nh}}{dx} = \alpha_{nh}(t_{suv} - t_{nh})W + r_{yai} \beta_{bug'}(\omega_{nh} - \omega_{suv})W. \quad (6)$$

Issiqlik va massa almashinish qurilmasi nam kanalida massa saqlanish tenglamasi:

$$m_{nh} \frac{d\omega_{nh}}{dx} = \beta_{bug'}(\omega_{suv} - \omega_{nh})W. \quad (7)$$

Namlantiruvchi suyuqlik uchun energiya saqlash qonuni:

$$m_{suv} C_{p,suv} \frac{dt_{suv}}{dx} = -\alpha_{nh}(t_{suv} - t_{nh})W - r_{yai} \beta_{bug'}(\omega_{nh} - \omega_{suv})W. \quad (8)$$

Havo oqimi kanal ichidagi gidravlik diametr kichik va tezlik past bo'lganligi sababli laminar, shu bilan birga suv oqimi esa turbulent deb hisoblanadi. Bundan tashqari, kanal balandligi kengligi bilan solishtirganda juda kichik bo'lganligi sababli, cheksiz tomonlar nisbati qo'llaniladi. Shu sababli, quruq kanaldagi havo, nam kanaldagi havo va suv uchun konvektiv issiqlik berish koeffitsientlari mos ravishda [6-9] hisoblab chiqilgan:

$$\alpha_{qh} = 7,54 \left(\frac{\lambda_{qh}}{d_{gid,qk}} \right); \quad (9)$$

$$\alpha_{nh} = 7,54 \left(\frac{\lambda_{nh}}{d_{gid,nk}} \right); \quad (10)$$

$$\alpha_{suv} = 0,023 \cdot Re_{suv}^{0,8} \cdot Pr_{suv}^{0,3} \cdot \left(\frac{\lambda_{suv}}{d_{gid,suv}} \right). \quad (11)$$

Bu yerda, d_{gid} – oqim kesimining gidravlik diametri va $d_h = 2y$ – ifodasi bilan aniqlanadi, y – quruq yoki nam kanal balandligi.



Nam kanalda konvektiv massa berish koeffitsientlari quyidagicha aniqlangan [10-12]:

$$\beta_{bug'} = Sh_{nh} \cdot \rho_{nh} \cdot \frac{D_{suv\ bug'i}}{d_{gid,nk}}; \quad (12)$$

bu yerda, $D_{suv\ bug'i}$ – suv bug'ining havodagi diffuziya koeffitsienti. Issiqlik va massa berish analogiyasiga ko'ra, o'lchovsiz massa berishni ifodalovchi Shervud soni ma'lum aniq bir shakl uchun Nusselt soni bilan almashtiriladi. Shu sababli, $Nu = Sh$.

Bilvosita rejim uchun chegaraviy shartlar. Quruq kanal kirish qismidagi ($x = 0$) havoning harorati va namligi quyidagi nisbat bilan belgilanadi:

$$t_{qh} = t_{kir} \quad \text{at } x = 0; \quad (13)$$

$$\omega_{qh} = \omega_{chiq} \quad \text{at } x = 0. \quad (14)$$

Quruq kanaldan chiqishi va nam kanalgacha kirishda harorat va namlik nisbati ($x = l$) teng qilib o'rnatildi, chunki bu vaqtda quruq kanaldan havoning bir qismi olinadi va nam kanalgacha yo'naltiriladi. Shu sababli, suv va havo uchun :

$$t_{suv} = t_{suv,kir} \quad \text{at } x = l; \quad (15)$$

$$t_{nh} = t_{nh} \quad \text{at } x = l; \quad (16)$$

$$\omega_{nh} = \omega_{nh} \quad \text{at } x = l; \quad (17)$$

Bevosita rejim uchun chegaraviy shartlar. Nam kanalgacha kirish qismida harorat va namlik nisbati formula bilan berilgan:

$$t_{nh} = t_{kir} \quad \text{at } x = 0; \quad (18)$$

$$\omega_{nh} = \omega_{kir} \quad \text{at } x = 0; \quad (19)$$

Suv yuqoridan pastgacha nam kanallari orqali oqadi. Shunday qilib, ushbu sonli modellashtirishda kirishdagi suv harorati ma'lum ko'rsatkichlardir:

$$t_{suv} = t_{suv,kir} \quad \text{at } x = l. \quad (20)$$

Sonli yechish usuli. Kanallardagi massa va energiya saqlanishi natijasida olingan differensial tenglamalarni (1 dan 8 gacha bo'lgan tenglamalarni) diskretlash chekli farq usulidan foydalanildi. Tenglamalar tizimini yechish uchun iteratsion usullardan foydalangan holda muhandislik tenglamalarni hisoblab chiquvchi (EES) [13] dastur o'rnatildi. Suv, havo va suv bug'larining xususiyatlari tenglamalarni hisoblab chiquvchi (EES) dasturida o'rnatilgan funksiyalardan olingan. Tarmoqqa bog'liq bo'lmagan sinov o'tkazildi va yechim taxminan 150 urinishdan keyin natijaga yaqinlashishi aniqlandi [14].

Tizim binoga yetkazib berilayotgan havoni chiqish shartlariga asoslanib, issiqlik va massa almashtirgichni ishlashi bevosita va bilvosita rejimlar uchun ho'l termometr bo'yicha samaradorligi va sovitish quvvati bilan baholanadi [15-17].

Shu sababli, ho'l termometr samaradorligi quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$\varepsilon_{ht} = \frac{t_{kirish} - t_{chiqish}}{t_{kirish} - t_{nam\ havo}}. \quad (21)$$

Shudring nuqtasi samaradorligi quyidagi orqali hisoblanadi:

$$\varepsilon_{shn} = \frac{t_{kirish} - t_{chiqish}}{t_{kirish} - t_{shudring\ nuqtasi}}. \quad (22)$$

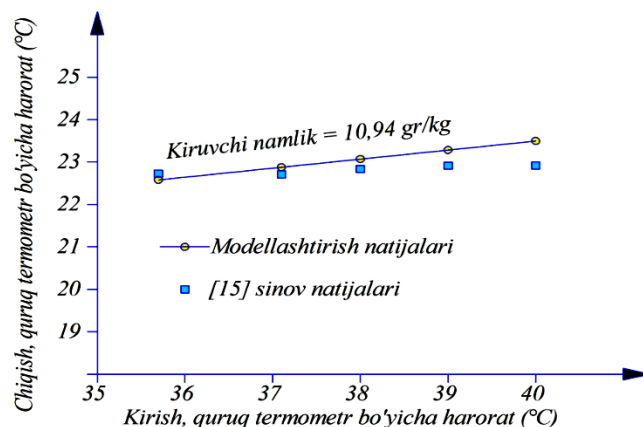
Tizimning sovitish quvvati issiqlikni chiqarib yuborishdan iborat bo'lib, u quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_{tizim} = m_{chiqish} c_{p,havo} (t_{kirish} - t_{chiqish}); \quad (23)$$

bu yerda $m_{chiqish}$ va $t_{chiqish}$ – binoga yetkazib berilayotgan sovitilgan va nam havo oqimining massaviy sarfi va harorati.

Modelni tekshirish. Ishlab chiqilgan matematik model [18] tajriba-sinov natijalari bilan taqqoslandi. Taklif etilayotgan issiqlik va massa almashtirgichni (bilvosita rejimda) modellashtirish uchun bir xil tasniflar qabul qilingan [18]: ular quyidagilardan iborat: nam va quruq kanal balandligi 3 mm; kanal uzunligi 860 mm; kanal kengligi 46 mm.

Qurilmaga kiruvchi havo ko'rsatkichlari: tarkibiy namligi $11 \frac{gr}{kg}$; oqim tezligi $3,6 \frac{m}{s}$; taqsimlanish darajasi 0,45; quruq termometr bo'yicha harorat o'zgarishi 35 dan 41 °C. 4-rasmda ko'rsatilganidek, havoning kirish va chiqish haroratlari deyarli o'xshash, shu bilan birga tajriba-sinov va bashorat qilingan ma'lumotlar o'rtasidagi og'ish quyidagi sabablarga ko'ra bo'lishi mumkin: quruq va nam kanallari elementidagi issiqlik va fizik xususiyatlari hamda issiqlik va massa almashinuv koeffitsientlari doimiy deb qabul qilingan; kirish quruq termometr bo'yicha yuqori haroratda haqiqiy tajribalardan farq qiladi va modellashtirishda atrof-muhitdan ajratilgan deb taxmin qilingan. Qurilmadan sovitilgan va nam havoning quruq termometr bo'yicha harorati va tajriba-sinov ma'lumotlari orasida maksimal 3,42% og'ish kuzatildi [18], shu bilan birga hozirgi matematik model maqbul bo'lgan natijani bashorat qiladi.



4-rasm. [18] bilan raqamli solishtirish

Fig. 4. Numerical comparison with [18]

A – issiqlik almashinish yuzasi (m^2); C_p – havo issiqlik sig‘imi ($\frac{kJ}{kg \cdot K}$); d – quvur diametri (m); D – havodagi suv bug‘i diffuziya koeffitsienti ($\frac{m^2}{s}$); r – yashirin bug‘lanish issiqligi ($\frac{kJ}{kg}$); λ_{nas} – nasadka issiqlik o‘tkazuvchanligi ($\frac{Wt}{m \cdot K}$); λ_{plas} – plastina issiqlik o‘tkazuvchanligi ($\frac{Wt}{m \cdot K}$); l – kanal uzunligi (m); m – havo oqimi sarfi ($\frac{kg}{s}$); φ – nisbiy namlik (%); t_{havo} – havo harorati ($^{\circ}C$); t_{suv} – suv bilan namlangan nasadka sirtidagi harorat ($^{\circ}C$); δ_{plas} – ajratuvchi plastina qalinligi (m); δ_{nas} – nasadka qalinligi (m); k – issiqlik uzatish ($\frac{Wt}{m^2 \cdot K}$); W – kanal kengligi (m); α_{kon} – konvektiv issiqlik berish koeffitsienti ($\frac{Wt}{m^2 \cdot K}$); $\beta_{bug'}$ – nam kanalidagi massa berish koeffitsienti ($\frac{kg}{m^2 \cdot s}$); ω – namlik miqdori ($\frac{kg}{kg}$); $\omega_{to'y}$ – namlovchi suyuqlik haroratidagi to‘yingan namlik miqdori ($\frac{kg}{kg}$); qh – quruq havo; nh – nam havo; qk – quruq kanal; nk – nam kanal; s – namlovchi suyuqlik (suv).

4. Xulosa (Conclusion)

Ushbu tadqiqotda ikki rejimli issiqlik va massa almashtirgich taklif etildi va uni ikkala rejimda (bevosita va bilvosita regenerativ) ishlashi bayon etildi. Kanallardagi havo va suv oqimlar sarfini sovitish quvvati va samaradorlikka ta’siri o‘rganildi. Taklif etilayotgan ikki rejimli bug‘lanma sovitish qurilmasi issiq va quruq iqlim uchun muvofiq keldi va oylar kesimi bo‘yicha baholandi. Natijalar va muhokamalardan quyidagi xulosalar chiqarish mumkin:

- taklif etilayotgan qurilma uchun bevosita bug‘lanma sovitish rejimida ishlash sovitish quvvati jihatidan yaxshiroq, regenerativ bilvosita bug‘lanma sovitish rejimida ishlash esa samaradorlik jihatidan yaxshiroq;

- nam va quruq kanallarga kiruvchi havo oqimi tezligi va suv oqimi sarfi sovitish quvvati va samaradorlik o‘rtasidagi bog‘liqlik asosida rostanishi mumkin;

- O‘zbekistonning shimoliy hududlari uchun sovitgichni bilvosita regenerativ bug‘lanma rejimi olti oy davomida (aprel, may, iyun, iyul, avgust, sentabr) qoniqarli darajada ishlaydi, janubiy hududlardan tashqari;

- bevosita rejimda ishlashi binoga keltirilayotgan quruq havoni namligini oshiradi, ayniqsa yozning issiq kunlarida salqinlikni ta’minlaydi, chunki qurilmadan chiquvchi havo ko‘rsatkichlari (harorat va namlik) qulaylik zonasi orqali o‘tadi;

- taklif etilayotgan tizim juda oddiy va samarador bo‘lib, shuningdek ushbu qurilmani issiq va quruq iqlim sharoiti uchun tadbiiq etish energiya tejash imkonini beradi.

ADABIYOT

1. Usmonov N.O. Havoni mo‘tadillash tizimlarida tabiiy sovuqlik manbalarining imkoniyatlari // PhD dissertatsiyasi. – Toshkent, – 2019. – 131 b.

2. Захидов Р.А., Усмонов Н.О. Обзор испарительного охладителя в системах кондиционирования воздуха // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент. – 2020. – №3-4. – С. 133–137.

3. Cuce P.M., Riffat S.A. A state of the art review of evaporative cooling systems for building applications. Renew Sust Energ Rev (2016) 54:1240-49.

4. Hasan A.P. Indirect evaporative cooling of air to a sub-wet bulb temperature. Appl Therm Eng



(2010) 30:2460-2468.

5. Riangvilaikul B.A., Kumar S.A. An experimental study of a novel dew point evaporative cooling system. *Energy Build* (2010) 42:637-644.

6. Heidarinejad G.O., Moshari S.P. Novel modeling of an indirect evaporative cooling system with cross-flow configuration. *Energy Build* (2015) 92:351-362.

7. Lin J.K., Thu K.T., Bui T.D., Wang R.Z., Ng K.C., Chua K.J. Study on dew point evaporative cooling system with counter-flow configuration. *Energ Convers Manage* (2016) 109:153-165.

8. Pandelidis D.A., Anisimov S.C., Worek W.M. Comparison study of the counter-flow regenerative evaporative heat exchangers with numerical methods. *Appl Therm Eng* (2015) 84:211-224.

9. Усмонов Н.О. Энергосбережение в системах кондиционирования воздуха с применением испарительного охлаждения // Монография. – Т.: ТашГТУ, 2023. – 123 с.

10. Усмонов Н.О., Мухтаров Ф.Х. Теплотехника. Учебное пособие. – Т.: Изд-во ТашГТУ, 2023. – 234 с.

11. Усмонов Н.О., Исаходжаев Х.С. Моделирование и автоматизация тепловых процессов в теплоэнергетике. Учебное пособие. – Т.: Изд-во ТашГТУ, 2023. – 210 с.

12. Sohani A.A., Sayyaadi H.P., Mohammadhosseini N.P. Comparative study of the conventional types of heat and mass exchangers to achieve the best design of dew point evaporative coolers at diverse climatic conditions (2018). *Energy Convers Manag* 158:327-345.

13. Klein S.A. Engineering Equation Solver Professional, Version V10.215, F-Chart Software, Madison, WI (2017).

14. Usmonov N.O., Umardjanova F.Sh., Ivanisova A.R. About possibility of using natural sources of cold in air conditioning system // E3S Web of Conf., 401 (2023) 04059

15. Fakhrabadi F.A., Kowsary F.P. Optimal design of a regenerative heat and mass exchanger for indirect evaporative cooling. *Appl Therm Eng* (2016) 102:1384-1394.

16. Zhu G.T., Chow T.A., Lee C.K. Performance analysis of counterflow regenerative heat and mass exchanger for indirect evaporative cooling based on data-driven model. *Energy Build* (2017) 155:503-512.

17. Lee J., Lee D. Experimental study of a counter flow regenerative evaporative cooler with finned channels. (2013) *Heat Mass Transf* 65:173-79.

18. Duan Z., Zhao X., Li J. Design fabrication and performance evaluation of a compact regenerative evaporative cooler: towards low energy cooling for buildings. *Energy* (2017) 140:506-519

REFERENCES

1. Usmonov N.O. Possibilities of natural cooling sources in air conditioning systems // PhD thesis.– Tashkent, – 2019. – 131 pp. (In Uzb.).

2. Zaxidov R.A., Usmonov N.O. Overview of evaporative cooler in air conditioning systems // Problems of energy and resource conservation. – Tashkent. – 2020. – No.3-4. – pp. 133–137. (In Russ.).

3. Cuce P.M., Riffat S.A. A state of the art review of evaporative cooling systems for building applications. *Renew Sust Energ Rev* (2016) 54:1240-49.

4. Hasan A.P. Indirect evaporative cooling of air to a sub-wet bulb temperature. *Appl Therm Eng* (2010) 30:2460-2468.

5. Riangvilaikul B.A., Kumar S.A. An experimental study of a novel dew point evaporative cooling system. *Energy Build* (2010) 42:637-644.

6. Heidarinejad G.O., Moshari S.P. Novel modeling of an indirect evaporative cooling system with cross-flow configuration. *Energy Build* (2015) 92:351-362.

7. Lin J.K., Thu K.T., Bui T.D., Wang R.Z., Ng K.C., Chua K.J. Study on dew point evaporative cooling system with counter-flow configuration. *Energ Convers Manage* (2016) 109:153-165.

8. Pandelidis D.A., Anisimov S.C., Worek W.M. Comparison study of the counter-flow regenerative evaporative heat exchangers with numerical methods. *Appl Therm Eng* (2015) 84:211-224.

9. Usmonov N.O. Energy saving in air conditioning systems using evaporative cooling // Monograph. – Т.: TSTU, 2023. – 123 pp. (In Russ.).

10. Usmonov N.O., Mukhtarov F.Kh. Thermal engineering. Tutorial. – Т.: TSTU, 2023. – 234 pp. (In Russ.).

11. Usmonov N.O., Isakhodzhaev Kh.S. Modeling and automation of thermal processes in thermal power engineering. Tutorial. – Т.: TSTU, 2023. – 210 pp. (In Russ.).

12. Sohani A.A., Sayyaadi H.P., Mohammadhosseini N.P. Comparative study of the conventional types of heat and mass exchangers to achieve the best design of dew point evaporative coolers at diverse climatic conditions (2018). *Energy Convers Manag* 158:327-345.

13. Klein S.A. Engineering Equation Solver Professional, Version V10.215, F-Chart Software, Madison, WI (2017).



14. Usmonov N.O., Umardjanova F.Sh., Ivanisova A.R. About possibility of using natural sources of cold in air conditioning system // *E3S Web of Conf.*, 401 (2023) 04059.
15. Fakhrabadi F.A., Kowsary F.P. Optimal design of a regenerative heat and mass exchanger for indirect evaporative cooling. *Appl Therm Eng* (2016) 102:1384-1394.
16. Zhu G.T., Chow T.A., Lee C.K. Performance analysis of counterflow regenerative heat and mass exchanger for indirect evaporative cooling based on data-driven model. *Energy Build* (2017) 155:503-512.
17. Lee J., Lee D. Experimental study of a counter flow regenerative evaporative cooler with finned channels. (2013) *Heat Mass Transf* 65:173-79.
18. Duan Z., Zhao X., Li J. Design fabrication and performance evaluation of a compact regenerative evaporative cooler: towards low energy cooling for buildings. *Energy* (2017) 140:506-519.