POLIGENERATSION QURILMALARDA QO‘LLANILADIGAN MURAKKAB SIRTLI ABSORBERLAR ASOSIDAGI QUYOSH HAVO ISITGICHI ISSIQLIK JARAYONLARINI MATEMATIK MODELI.

B.A.Abdukarimov
PhD dotsent, Farg‘ona Davlat Texnika Universiteti
E-mail: bekzodbek45484@mail.ru
A.X.Sattorov
Farg‘ona Davlat Texnika Universiteti PhD katta o‘qituvchi.

Annotatsiya: Mazkur tadqiqotda murakkab absorberli quyosh havo isitgich kollektorlarining issiqlik samaradorligini oshirish bo‘yicha ilmiy tahlillar va sonli modellashtirish ishlari amalga oshirildi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, kollektor ishchi kamerasiga botiq quvur shaklidagi havo kanallarini integratsiyalash issiqlik almashinuvi jarayonlarini sezilarli darajada jadallashtiradi hamda umumiy issiqlik uzatish koeffitsiyentini oshiradi. Eksperimental kuzatuvlar va nazariy hisoblashlar natijasida aniqlanishicha, botiqli quvurlar oqimni sun’iy ravishda turbulizatsiya qilishi natijasida devor yaqinida harorat gradientlari keskin ortadi va bu issiqlik berilish samaradorligini oshiruvchi asosiy mexanizm sifatida xizmat qiladi. Matematik modellashtirish jarayonida Eyler va Navye–Stoks tenglamalari hamda massani saqlash qonunlari asos qilib olindi. Reynolds soni yuqori bo‘lgan sharoitlarda turbulent oqimlarni tahlil qilish uchun markazlashtirilgan differensial usullar va yarim empirik yondashuvlar qo‘llanildi. Xususan, Spalart–Allmaras modeli turbulent oqimlarning strukturaviy xususiyatlarini aniqlashda samarali va resurs tejamkor yondashuv sifatida tanlandi. Olingan natijalar shuni tasdiqlaydiki, quvurlar yuzasida hosil qilingan geometrik botiqliklar oqim ichida mahalliy uyurmalarning shakllanishiga sabab bo‘ladi va bu hodisa kichik Reynolds sonlari diapazonida ayniqsa kuchli namoyon bo‘ladi. Botiqliklarning balandligi va joylashuvi optimal tanlanganda issiqlik uzatish maksimal darajaga erishadi, biroq ortiqcha turbulensiya bosim yo‘qotishlarini oshirishi mumkinligi ham qayd etildi.

Kalit so‘zlar: quyosh havo isitgichi; murakkab absorber; botiq quvurlar; issiqlik almashinuvi; turbulent oqim; Reynolds soni; Navye–Stoks tenglamasi; Eyler tenglamasi; CFD modellashtirish; Spalart–Allmaras modeli; energiya samaradorligi; issiqlik uzatish koeffitsiyenti; gidrodinamik jarayonlar; qayta tiklanuvchi energiya.

Аннотация: В данном исследовании проведены научные анализы и численное моделирование, направленные на повышение тепловой эффективности солнечных воздушных коллекторов с сложными абсорберами. Результаты работы показали, что интеграция в рабочую камеру коллектора воздушных каналов с вогнутыми трубами значительно

ISSN 3030-3907

интенсифицирует процессы теплообмена и повышает общий коэффициент теплопередачи. Экспериментальные наблюдения и теоретические расчёты подтвердили, что наличие вогнутых труб вызывает искусственную турбулизацию потока, в результате чего резко увеличивается температурный градиент вблизи стенки, что выступает основным механизмом повышения эффективности теплоотдачи.

В процессе математического моделирования в качестве основы использовались уравнения Эйлера и Навье–Стокса, а также закон сохранения массы. Для анализа турбулентных потоков при высоких числах Рейнольдса применялись центрированные дифференциальные схемы и полуэмпирические подходы. В частности, модель Спаларта–Алмараса была выбрана как эффективный и ресурсосберегающий метод для описания структурных особенностей турбулентных потоков. Полученные результаты подтвердили, что геометрические вогнутости на поверхности труб вызывают образование локальных вихревых зон внутри потока, что особенно ярко проявляется в диапазоне малых чисел Рейнольдса. При оптимальном выборе высоты и расположения вогнутостей достигается максимальный уровень теплообмена, однако чрезмерная турбулентность может привести к росту потерь давления.

Ключевые слова: солнечный воздушный коллектор; сложный абсорбер; вогнутые трубы; теплообмен; турбулентный поток; число Рейнольдса; уравнение Навье–Стокса; уравнение Эйлера; CFD-моделирование; модель Спаларта–Алмараса; энергетическая эффективность; коэффициент теплопередачи; гидродинамические процессы; возобновляемая энергия.

Abstract: In this study, scientific analyses and numerical modeling were conducted to improve the thermal efficiency of solar air heater collectors equipped with complex absorbers. The results demonstrated that integrating concave tube-shaped air channels into the working chamber of the collector significantly intensifies heat transfer processes and increases the overall heat transfer coefficient. Experimental observations and theoretical calculations confirmed that concave tubes induce artificial flow turbulization, leading to a sharp rise in the near-wall temperature gradient, which serves as the primary mechanism for enhancing heat transfer efficiency. During the mathematical modeling, the Euler and Navier–Stokes equations as well as the law of mass conservation were employed as the fundamental basis. For analyzing turbulent flows at high Reynolds numbers, centered differential schemes and semi-empirical approaches were applied. In particular, the Spalart–Allmaras model was chosen as an effective and resource-efficient approach for describing the structural characteristics of turbulent flows. The obtained results confirmed that geometric indentations on the tube surfaces generate localized vortex zones within the flow, which are especially pronounced

ISSN 3030-3907

in the range of low Reynolds numbers. When the height and positioning of indentations are optimally selected, maximum heat transfer is achieved; however, excessive turbulence can result in increased pressure losses.

Keywords: solar air heater; complex absorber; concave tubes; heat transfer; turbulent flow; Reynolds number; Navier–Stokes equation; Euler equation; CFD modeling; Spalart–Allmaras model; energy efficiency; heat transfer coefficient; hydrodynamic processes; renewable energy.

Kirish

Quyosh havo isitgich kollektorlarining issiqlik samaradorligini oshirish zamonaviy energiya tejamkor texnologiyalar rivojida dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatmoqdaki, murakkab absorberli kollektorlarning unumdorligini sezilarli darajada oshirishning samarali usullaridan biri - bu ishchi kamera ichiga maxsus botiq quvur shaklidagi havo kanallarini integratsiyalashdir. Ushbu turdagi kanallar yuqori termogidravlik samaradorlikni ta’minlab, oqimning asosiy fizik xususiyatlarini buzmagan holda laminar va turbulent chegara qatlamlari bilan faol o‘zaro ta’sirga kirishadi. Natijada, quvur sirtidagi qovushqoqlikning kamayishi hisobiga issiqlik almashinuv jarayonlari jadallashadi va issiqlik uzatish koeffitsiyenti sezilarli darajada ortadi [1-3].

Shuningdek, takomillashtirilgan absorber konstruksiyasida joylashtirilgan botiq quvurli kanallar oqimning gidrodinamik parametrlarini optimallashtirish, energiya yo‘qotishlarini minimallashtirish va issiqlik uzatish jarayonlarini samarali tashkil etish imkonini beradi. Bu esa kollektorning umumiy termik samaradorligini maksimal darajaga ko‘taradi. Shu bilan birga, bunday konstruktiv yechimlar oqimdagi turbulentlikni nazorat qilish va issiqlik o‘tkazuvchanlikni oshirishda muhim omil sifatida namoyon bo‘ladi.

Ushbu ilmiy yondashuv quyosh havo isitgich kollektorlarining yanada mukammal dizaynlarini ishlab chiqishga xizmat qiladi hamda qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish samaradorligini oshirishda katta amaliy ahamiyat kasb etadi.

Quyosh havo isitgich kollektorining havo quvuridagi geometrik botiqligi bo‘lgan quvurlarning issiqlik samaradorligini energiya koeffitsienti asosida taqqoslanganda ularning silliq quvurlarga nisbatan yuqori ekanligini o‘tkazilgan tajribalardan kuzatish mumkin.

Quyosh havo kollektorlarining samaradorligini oshirishga doir olib borilgan ilmiy tadqiqotlar natijasida, kollektor havo quvurlarida geometrik botiqliklarning mavjudligi issiqlik uzatish jarayoniga ijobiy ta’sir ko‘rsatishi kuzatilgan. Ayniqsa, silliq yuzali quvurlarga nisbatan halqasimon shakldagi transversal botiqliklarga ega bo‘lgan quvurlar havo oqimini deformatsiyalaydi, oqim strukturasida mahalliy

ISSN 3030-3907

uyurmali zonalar hosil qiladi va natijada issiqlik uzatish yuzasining samarali ishlashi ortadi. O‘tkazilgan eksperimental tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, bunday botiqliklar oqimni turbulent holatga yaqinlashtirib, devor yaqinidagi harorat gradientini keskin oshiradi, bu esa quvur devori orqali issiqlik berilishining kuchayishiga olib keladi.

Quvur yuzasida hosil qilingan botiqliklar oqim ichida muallaq havo uyurmalarini shakllantiradi va bu uyurmalar issiqlik almashinuvini jadallashtiruvchi asosiy mexanizm hisoblanadi. Ayniqsa, kichik Reynolds sonlari diapazonida bu effekt ancha kuchli namoyon bo‘ladi, chunki oqim hali to‘liq turbulent holatga o‘tmagan bo‘ladi va botiqliklar uning strukturasiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Eksperimentlar davomida botiqliklarning balandligi va joylashuvi ham muhim omil ekani aniqlangan bo‘lib, ularning geometrik parametrlari quvurning ichki diametriga mos ravishda tanlanganda, ya’ni oqim zonasining ko‘ndalang o‘lchamiga proporsional bo‘lsa, issiqlik uzatish maksimal darajaga yetadi. Bu holat oqimning devorga yaqin qatlamida harakat qiluvchi zarralar bilan issiqlik almashinuvini optimallashtirishga imkon beradi. Biroq botiqlik balandligi haddan tashqari oshirilsa, oqimning markaziy qismida ortiqcha turbulensiya yuzaga keladi va bu holat issiqlik uzatishni oshirish o‘rniga faqat bosim yo‘qotishlarining ortishiga olib keladi [4-5].

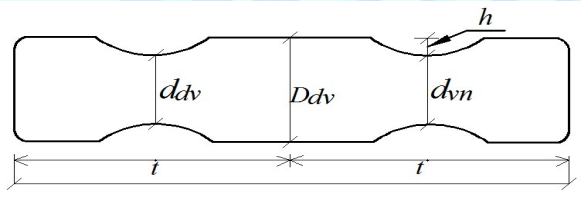
Tajribaviy va nazariy tahlillar asosida shuni ta’kidlash mumkinki, havo quvuridagi botiqliklar oqimni sun’iy ravishda turbulizatsiya qilgan holda issiqlik uzatish koeffitsientini sezilarli darajada oshiradi. Shu bilan birga, issiqlik almashinuvi jarayonini optimallashtirishda nafaqat geometrik shakl, balki oqimning gidravlik xususiyatlari ham muhim rol o‘ynaydi. Masalan, Reynolds sonining ortishi bilan birinchi navbatda oqimning turbulentligi kuchayadi, lekin ayni vaqtda devor yaqinida shakllanadigan issiqlik qarshiligi zonasi barqarorlashadi va oqimdagi Uyurmalarning devorga yetib borish samaradorligi kamayadi. Bu esa issiqlik uzatish intensivligining oshish tezligini susaytiradi. Shu sababli, oqim parametrlari va quvur ichki yuzasidagi botiqliklarning geometriyasi o‘zaro muvofiqlashtirilgan holda tanlanganda, ya’ni oqim sharoitlariga mos optimal geometriya belgilanganda, energiya samaradorligi nuqtai nazaridan quvurlar maksimal foydali ishlash ko‘rsatkichlariga ega bo‘ladi.

MATERIAL VA METOD

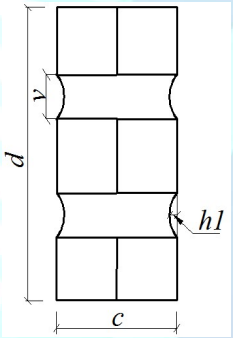
Eksperimentlar natijalaridan kelib chiqib, issiqlik uzatish samaradorligini oshirish bo‘yicha eng maqbul yechimlardan biri sifatida botiqli quvurlarni tanlash mumkin, chunki ular silliq quvurlarga nisbatan ancha yuqori konvektiv issiqlik uzatish ko‘rsatkichlariga ega bo‘lishi isbotlangan. Ayniqsa, quyosh havo kollektorlarida tabiiy yoki majburiy konveksiya sharoitlarida ishlovchi havo

ISSN 3030-3907

quvurlarida bu yondashuv samarali hisoblanadi. Havo oqimi tarkibida paydo bo‘ladigan Uyurmalar issiqlik oqimini devor yuzasiga faol yetkazib, umumiy issiqlik samaradorligini oshirishga xizmat qiladi. Bularning barchasi nazariy modellashtirish va amaliy tajriba natijalari bilan birgalikda botiqli quvurlarning issiqlik texnologiyalarida qo‘llanish istiqbollarini kengaytiradi va ularni issiqlik almashinuv tizimlarining muhim konstruktiv elementi sifatida baholash imkonini beradi.



1-rasm. Botiq havo quvuridagi t qadamlarning sxematik ko‘rinishi.

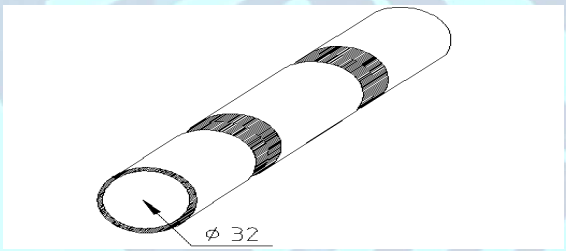


2-rasm. Uchburchak botiq havo quvuridagi t qadamlarning sxematik ko‘rinishi

Bu yerda D_{vn}-quvurning tekis qismi diametri, d_{vn}-quvurning eng kichik diametri, h-botiqlik balandligi, t-botiqliklar orasidagi qadamlar.

Botiqlik balandligi va quvur diametri h/D ni doimiy nisbiy t/h qadam bilan oshirish, issiqlik uzatishning (silliq quvur bilan taqqoslaganda) faqat ma’lum bir chegaraga qadar o‘sishini kuzatish mumkin va keyin issiqlik uzatishning ortishi chegaralanadi (2-rasm).

Quyosh havo kollektorining (3-rasm) botiq havo quvurlarida issiqlik almashinuv jarayonlari bevosita Reynolds soniga bog‘liq holda kechadi.



3-rasm. Havo quvurining umumiy ko‘rinishi

Botiq havo quvur absorberli quyosh havo isitgich kollektorining ishchi kamerasiga o‘rnatilgan botiq havo quvuridagi gidrodinamik jarayonlarni tadqiq etish talab etiladi va ushbu jarayonning matematik modelini ishlab chiqishni ikki

ISSN 3030-3907

bosqichda amalga oshiriladi. Eyler va massani saqlanish qonuni tenglamasi quyidagicha tenzor ko‘rinishida [15]:

$$\begin{cases} \rho\dfrac{\partial \overline{u_i}}{\partial t}+\rho\dfrac{\partial\left(\overline{u_i}\,\overline{u_j}\right)}{\partial x_j}=-\dfrac{\partial \overline{p}}{\partial x_i}, \\ \dfrac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_j}=0, \quad (i,j=1,2,3). \end{cases} \tag{1}$$

Quyosh havo kollektoridagi botiqli quvur ichida havo oqimi geometrik murakkabliklar sababli turbulent holatda bo‘lishi mumkin. Shuning uchun bu tenglamalar oqim strukturasi va harakatlanish mexanizmlarini chuqur tahlil qilishga yordam beradi. Ayniqsa, botiqliklar tufayli yuzaga keladigan girdobli zonalar va lokal tezlik o‘zgarishlarini aniqlashda Eyler tenglamasi muhim rol o‘ynaydi. Massani saqlanish tenglamasi esa havo oqimining muvozanat holatlarini ta’minlashda asosiy mezon sifatida xizmat qiladi.

Shunday qilib, yuqoridagi differensial tenglamalar kollektor ishchi kamerasidagi havo harakatining asosiy fizik qonuniyatlarini tavsiflaydi va botiq quvur strukturasining oqimga ta’sirini baholash uchun zaruriy nazariy asosni beradi. Ushbu model asosida kompyuter modellashtirish (masalan, CFD – hisobiy gidrodinamika) vositalari orqali havo oqimining fazoviy va vaqtinchalik xarakteristikalari aniqlanishi mumkin.

Ushbu yuqorida keltirilgan Eyler tenglamasi faqat ideal gazlar harakati uchun mos kelishi hisobga olish zaruriyati mavjud. Kollektorning ishchi botiq havo quvuridagi havoning qovushqoqligini inobatga olgan holda biz Nave-Stoks tenglamasidan foydalanamiz .

Quyosh havo kollektorlarining issiqlik almashinuvini modellashtirishda muhitning harakat qonuniyatlarini to‘g‘ri ifodalash, xususan, gidrodinamik jarayonlarni tahlil qilish eng muhim masalalardan biridir. Issiqlik tashuvchi vosita sifatida havo qatnashadigan tizimlarda oqim harakatini aniqlovchi asosiy matematik model Navye-Stoks va massani saqlash qonunlariga tayanadi. Ushbu qonunlar gaz yoki suyuqliklar harakati qonuniyatlarini umumiy fizik tamoyillar asosida ifodalab, tezlik, bosim va zichlik maydonlarining fazo va vaqt bo‘yicha o‘zgarishini matematik shaklda tavsiflaydi [6-9].

Nave-Stoks va massani saqlanish qonuni tenglamasi quyidagicha tenzor ko‘rinishida keltirilgan:

ISSN 3030-3907

$$\begin{cases} \rho\dfrac{\partial\overline{u_i}}{\partial t}+\rho\dfrac{\partial\left(\overline{u_i}\,\overline{u_j}\right)}{\partial x_j}=-\dfrac{\partial\overline{p}}{\partial x_i}+\mu\dfrac{\partial^2\overline{u_i}}{\partial x_j\partial x_j}, \\ \dfrac{\partial\overline{u_j}}{\partial x_j}=0, \quad (i,j=1,2,3). \end{cases} \tag{2}$$

Birinchi tenglama – Navye-Stoks tenglamasi – harakatdagi zarraga ta’sir qiluvchi kuchlarning muvozanatini ifodalaydi. Bu kuchlarga inertsiya kuchlari (chap tomonda birinchi va ikkinchi hadlar), bosim gradiyenti (o‘ng tomonda birinchi had) va viskoz kuchlar (o‘ng tomonda ikkinchi had) kiradi. Ikkinchi tenglama esa massani saqlanish qonunining matematik ifodasi bo‘lib, oqimning siqilmaydiganligini bildiradi.

Sonli modellashtirish jarayonida bu tenglamalarni bevosita yechish murakkab hisob-kitob va resurs talab qiladi. Ayniqsa, Reynolds soni kichik bo‘lgan holatlarda oqim odatda laminar bo‘lib, bu Navye-Stoks tenglamalarining bevosita, ya’ni to‘liq shaklda qo‘llanishiga imkon beradi. Ammo yuqori Reynolds sonlari ostida, ya’ni turbulent rejimda, tizimda yuzaga keladigan girdoblar va noaniqliklar sonli yechimni beqaror qiladi, bu esa differensial tenglamalarning sonli yechimlarida konvergensiyani pasaytiradi va hisobdagi xatoliklarni oshiradi.

Shu sababli, Reynolds tomonidan taklif etilgan va sonli hisoblashda keng qo‘llaniladigan vaqt bo‘yicha markazlashtirilgan Navye-Stoks tenglamasi yondashuvi joriy qilinadi. Bu metodda vaqt bo‘yicha differensial operatorlar markaziy farqlar metodi asosida diskretlashtiriladi, ya’ni vaqt oralig‘idagi avvalgi va keyingi holatlar orasida simmetrik hisoblash amalga oshiriladi. Bu yondashuv sonli usulda stabil yechim olish imkonini beradi va vaqtning har bir bosqichida aniqlik va barqarorlikni oshiradi.

Markazlashtirilgan differensial sxemalar odatda ikkinchi tartibli aniqlikka ega bo‘lib, ular vaqt bo‘yicha harakatlanuvchi o‘zgaruvchilarning o‘zaro bog‘liqligini optimallashtirilgan shaklda aks ettiradi. Bunda oqim strukturasi – ayniqsa, devor yaqinidagi laminarlikdan turbulentlikka o‘tish zonalari – aniqroq modellashtiriladi. Bu metod bilan kollektor ichidagi botiqli quvurlar orqali harakatlanayotgan havo oqimining fizik holatini to‘g‘ri prognoz qilish imkoniyati ortadi.

Natijada, Navye-Stoks tenglamasining vaqt bo‘yicha markazlashtirilgan shaklini qo‘llash orqali quvur ichidagi murakkab geometrik sharoitlarda, masalan botiqliklar mavjud bo‘lgan joylarda, oqimni yanada realistik tarzda modellashtirish mumkin bo‘ladi. Bu yondashuv quyosh havo kollektorining energetik

ISSN 3030-3907

samaradorligini baholashda, issiqlik almashinuvning lokal va global ko‘rsatkichlarini aniqlashda muhim nazariy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Nave-Stoks tenglamasini bevosita sonli usulda ishlash uchun Reynolds soni juda kichik qiymatlarda bo‘lishi talab etiladi. Shuni e’tiborga olgan holda Reynolds tomonidan vaqt bo‘yicha markazlashtirilgan Nave-Stoks tenglamasidan foydalaniladi. Reynolds tenglamasi Bussinesk gipotezasi qo‘llanilgandan so‘ng tenzor ko‘rinishi quyidagicha [12]:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \overline{u_i}}{\partial t} + \dfrac{\partial\left(\overline{u_i}\,\overline{u_j}\right)}{\partial x_j} = -\dfrac{\partial \overline{p}}{\rho \partial x_i} + \dfrac{\partial}{\partial x_j}\left((\nu + \nu_t)\dfrac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} \right), \\ \dfrac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_j} = 0, \quad (i, j = 1,2,3). \end{cases} \tag{3}$$

Yuqorida keltirilgan Reynolds tenglamasida noma’lum hadlar hosil bo‘ladi ya’ni ushbu hadlar Reynolds kuchlanishlari deb nomlanadi.

Reynolds kuchlanishlarini aniqlash uchun hozirgi kunda juda ko‘p yarim empirik turli modellar mavjud [10-12].

Mazkur tadqiqotda turbulent oqimlarning modellashtirilishi uchun yuqori aniqlik va barqarorlik xususiyatlari bilan ajralib turadigan, amaliy hisoblash gidrodinamikasi (CFD) sohasida keng qo‘llanilayotgan Spalart–Allmaras modeli tanlandi. Ushbu bir tenglamali yarim empirik turbulentlik modeli o‘zining hisoblashda kam resurs talab qilishi, devor yaqinidagi oqimlarni yetarli darajada aniq tavsiflay olishi hamda past Reynolds sonlarida barqaror konvergensiyaga erishish imkoniyati bilan ajralib turadi. Ayniqsa, soddaligi va yuqori aniqligi tufayli ushbu model aerodinamika, issiqlik almashinuvi va quyosh energiyasidan foydalanish tizimlarida turbulent oqimlarning strukturaviy xususiyatlarini ifodalashda keng qo‘llaniladi.

1-jadval.

Modelning konstantalari

σ_v	k_r	C_{b1}	C_{b2}	C_{v1}	C_{w1}	C_{w2}	C_{w3}	C_{r1}	C_{r2}	C_{r3}
2/3	0.41	0.1335	0.622	7.1	$C_{w1} = \frac{C_{b1}}{k^2} + \frac{1+C_{b2}}{\sigma}$	0.3	2.0	1	12	1

Hisoblanayotgan soha slindrsimon bo‘lganligi uchun Reynolds, Spalart-Allmares va issiqlik uchun tarqalish differensial tenglamalari quyidagicha ko‘rinishga ega bo‘ladi. Havo oqimini zichligi o‘zgarmas deb qabul qilingan [14-17].

Buyerda obyekt sifatida ko‘rib chiqilayotgan quyosh havo kollektorining ishchi kamerasi ichida joylashgan silindrsimon botiqli quvurning ichki

ISSN 3030-3907

geometriyasi issiqlik va massani almashinish jarayonlarini sezilarli darajada o‘zgartirishi bilan ajralib turadi. Bu turdagi quvurlar orqali harakatlanayotgan havo oqimi murakkab gidrodinamik va termodinamik xususiyatlarga ega bo‘lib, ularni matematik jihatdan tavsiflash uchun turli farazlar asosida differensial modellar tuzilgan. Quvur ichki yuzasida takrorlanuvchi silindrsimon botiqliklar mavjud bo‘lib, (-rasmlar) ular har bir oraliqda kichik diametrli (d_{dv}) va katta diametrli (D_{dv}) segmentlar bilan ajralib turadi. Bu geometrik elementlar o‘rtasida botiqlikning balandligi (h), takrorlanish oralig‘i (t), segmentlar chuqurligi (hl) va ularning ko‘ndalang va uzunasiga o‘lchamlari (d, c, y) chizmalar orqali aniq berilgan. Bu geometriya oqimga sun’iy turbulentlik kiritadi va issiqlik almashinuvni faollashtiradi.

$$
\begin{cases}
\dfrac{\partial U}{\partial t}+U\dfrac{\partial U}{\partial x}+V\dfrac{\partial U}{\partial r}+\dfrac{\partial p}{\rho\partial x}=\dfrac{\partial}{\rho\partial r}\left(\rho(v+v_t)\dfrac{\partial U}{\partial r}\right)+ \\
\qquad +\dfrac{\partial}{\rho\partial x}\left(\rho(v+v_t)\dfrac{\partial U}{\partial x}\right)+(v+v_t)\dfrac{\partial U}{r\partial r}, \\
\dfrac{\partial V}{\partial t}+U\dfrac{\partial V}{\partial x}+V\dfrac{\partial V}{\partial r}+\dfrac{\partial p}{\rho\partial r}=\dfrac{\partial}{\rho\partial r}\left(\rho(v+v_t)\dfrac{\partial U}{\partial r}\right)+ \\
\qquad +\dfrac{\partial}{\rho\partial x}\left(\rho(v+v_t)\dfrac{\partial U}{\partial x}\right)+(v+v_t)\dfrac{\partial U}{r\partial r}-(v+v_t)\dfrac{V}{r^2}, \\
\dfrac{\partial\tilde{v}}{\partial t}+u\dfrac{\partial\tilde{v}}{\partial x}+v\dfrac{\partial\tilde{v}}{\partial r}=(P_v-D_v)+\dfrac{1}{\sigma_v}\dfrac{\partial}{r\partial r}\left[r(v+\tilde{v})\dfrac{\partial\tilde{v}}{\partial r}\right]+ \\
\qquad +\dfrac{1}{\sigma_v}\dfrac{\partial}{\partial x}\left[(v+\tilde{v})\dfrac{\partial\tilde{v}}{\partial x}\right]+\dfrac{C_{b2}}{\sigma_v}\left(\left(\dfrac{\partial r\tilde{v}}{r\partial r}\right)^2+\left(\dfrac{\partial\tilde{v}}{\partial x}\right)^2\right), \\
\dfrac{\partial T}{\partial t}+U\dfrac{\partial T}{\partial x}+V\dfrac{\partial T}{\partial r}=\dfrac{\partial}{\rho\partial r}\left(\rho\left(\dfrac{v}{\mathrm{Pr}}+\dfrac{v_t}{\mathrm{Pr}_t}\right)\dfrac{\partial T}{\partial r}\right)+ \\
\qquad +\dfrac{\partial}{\rho\partial x}\left(\rho\left(\dfrac{v}{\mathrm{Pr}}+\dfrac{v_t}{\mathrm{Pr}_t}\right)\dfrac{\partial T}{\partial x}\right)+\left(\dfrac{v}{\mathrm{Pr}}+\dfrac{v_t}{\mathrm{Pr}_t}\right)\dfrac{\partial T}{r\partial r}, \\
\dfrac{\partial\rho U}{\partial x}+\dfrac{\partial\rho V}{\partial r}+\dfrac{\rho V}{r}=0.
\end{cases}
\tag{4}
$$

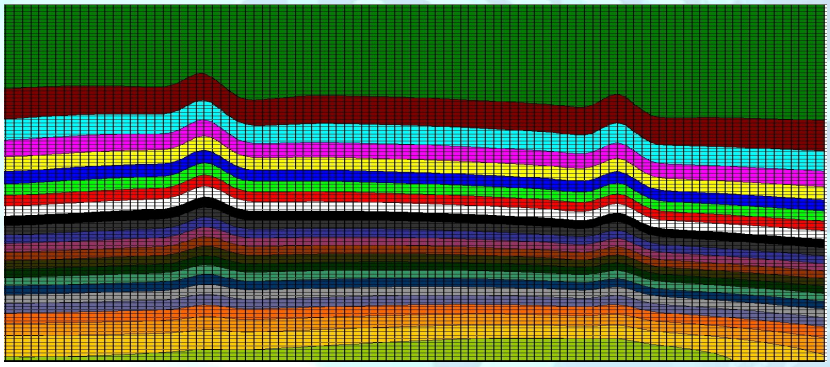
Bu yerda U, V havo oqimining mos holda aksial, radial va tangensial vektor tezliklari, T-havo harorati, P-gidrostatik bosim, ρ-havo zichligi, $\tilde{v}$-Splart-Allmaresning molekulyar yopishqoqlik koeffitsienti, $v, \tilde{v}$ -molekulyar va turbulent yopishqoqligi, Pr,Pr_t-laminar va turbulent Prandtl sonlari, odatda Pr-1, Pr_t-0.7÷0.9. gacha bo‘ladi [15].

ISSN 3030-3907

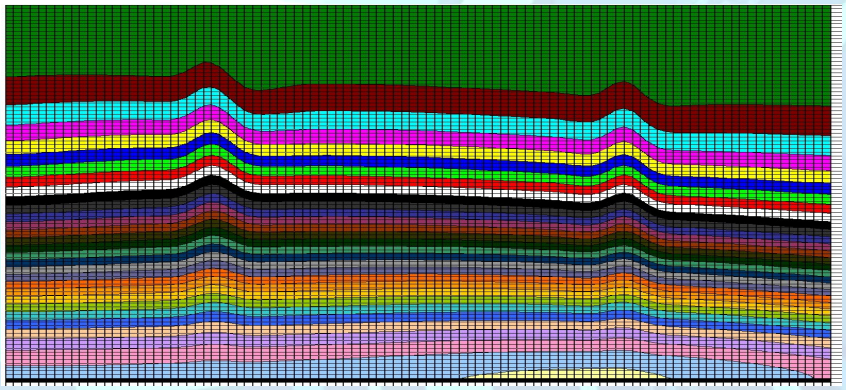
MODELLASHTIRISH NATIJALARI.

Yuqorida keltirilgan sonli usul natijalari, umumiy tahlilida quyosh havo isitgich kollektorining botiq havo quvurlarida issiqlikni bo‘ylama tarqalishi ma’lum bir nuqtalar ($\xi = 0.26; \xi = 0.5; \xi = 0.76$) uchun ko‘rib chiqilgan.

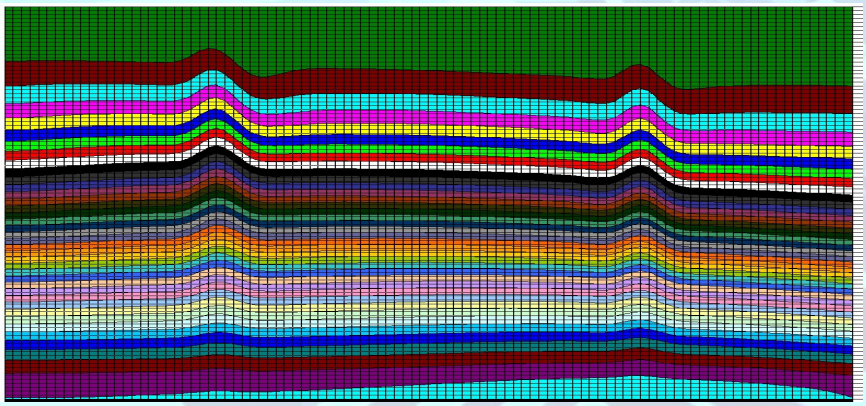
Botiq havo quvurlarining umumiy yuzasi bo‘ylab havo harakati laminar bo‘lganda barcha nuqtalarida issiqlikni bo‘ylama tarqalishi quyidagicha ko‘rinishda bo‘ladi.



4-rasm. Issiqlikning Re=698 bo‘lgandagi tarqalishi t=30 sekund

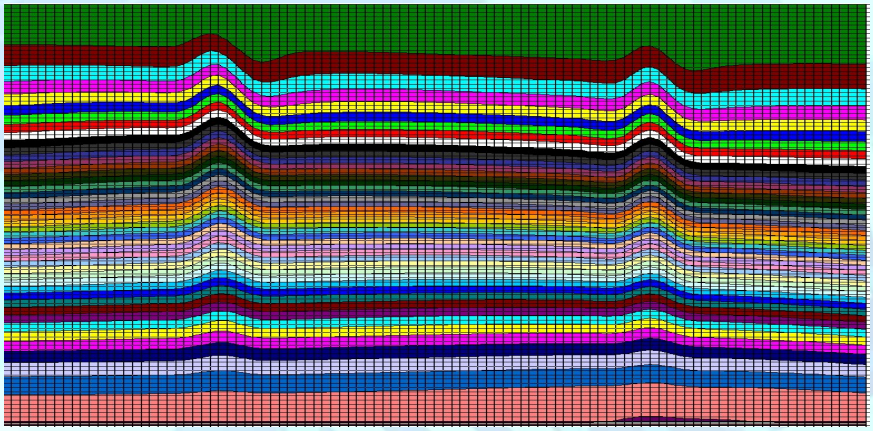


5-rasm. Issiqlikning Re=781 dagi turli vaqt bo‘yicha tarqalish t=30 sekund

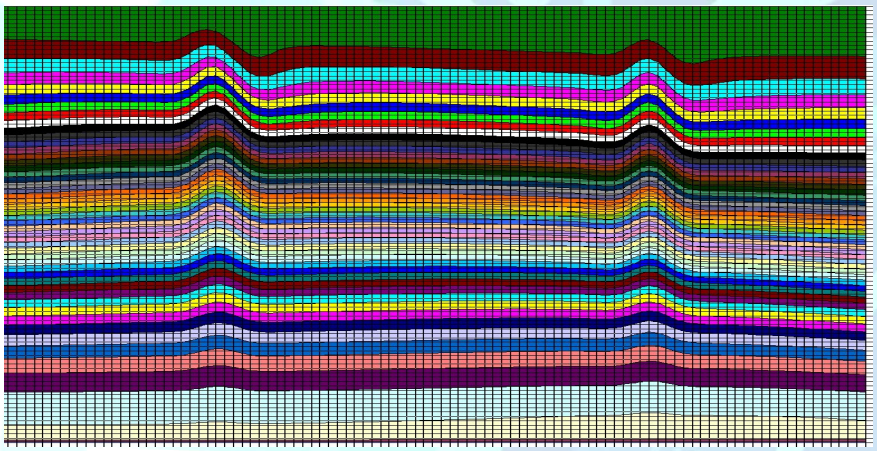


6-rasm. Issiqlikning Re=927 dagi turli vaqt bo‘yicha tarqalish t=30 sekund

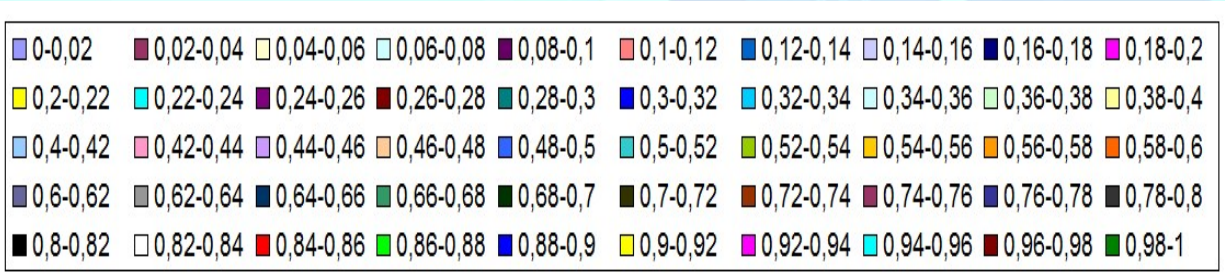
ISSN 3030-3907



7-rasm. Issiqlikning Re=1122 dagi turli vaqt bo‘yicha tarqalish t=30 sekund



8-rasm. Issiqlikning Re=1269 dagi turli vaqt bo‘yicha tarqalish t=30 sekund



Yuqorida keltirilgan (4 va 8-rasm)larda issiqlik botiq havo quvurning sirtiga berilmoqda (keltirilgan grafiklarning yuqori qismi) va issiqlik botiq havo quvurning markaziy o‘qi tomon (keltirilgan grafiklarning ostki qismi) harakati ko‘rsatib o‘tilgan.

Xulosa: O‘tkazilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, quyosh havo isitgich kollektorlarining absorber qismiga botiq quvur shaklidagi havo kanallarini joylashtirish ularning issiqlik samaradorligini oshirishda muhim omil hisoblanadi. Sonli modellashtirish va eksperimental natijalar ushbu konstruktiv yechim issiqlik almashinuv jarayonlarini sezilarli darajada jadallashtirishi, umumiy issiqlik uzatish koeffitsiyentini oshirishi hamda ishchi kamera ichidagi havo oqimining gidrodinamik xususiyatlarini optimallashtirishini tasdiqladi.

ISSN 3030-3907

Eyler va Navye–Stoks tenglamalari hamda massani saqlash qonuni asosida oqimning nazariy tahlili amalga oshirildi, Spalart–Allmaras turbulentlik modeli esa issiqlik-gaz dinamik jarayonlarini samarali va aniq ifodalash imkonini berdi. Tadqiqot natijalaridan ma'lum bo'ldiki, quvur yuzasidagi geometrik botiqliklar oqim ichida mahalliy uyurmalarning shakllanishiga olib keladi va ular ayniqsa kichik Reynolds sonlarida issiqlik uzatishni kuchaytiruvchi asosiy mexanizm sifatida xizmat qiladi. Shu bilan birga, botiqlik balandligining ortiqcha oshishi ortiqcha turbulentlik hosil qilib, bosim yo'qotishlarini kuchaytirishi mumkinligi aniqlandi.

Umuman olganda, botiq quvur asosidagi quyosh havo kollektorlaridan foydalanish issiqlik almashinuv samaradorligini oshirish va energiya yo'qotishlarini kamaytirishning samarali yechimi bo'lib, qayta tiklanuvchi energiyadan foydalanishda barqarorlikni ta'minlashga xizmat qiladi. Tadqiqot natijalari issiqlik texnologiyalarining kelajakdagi konstruktiv yechimlarini takomillashtirish va yuqori quyosh radiatsiyasi mavjud bo'lgan hududlar, xususan, Markaziy Osiyo sharoitlariga moslashtirish uchun nazariy hamda amaliy asos yaratadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Y Li, X Duanmu, Y Sun, J Li and H Jia, Study on the air movement character in solar wall system College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing, 100022, China Building Simulation 927-932 (2007)
2. Van Hap, N., & Phu, N. M. (2022). Heat Transfer in Double-Pass Solar Air Heater: Mathematical Models and Solution Strategy. In Heat Transfer-Fundamentals, Enhancement and Applications. Intech Open.
3. Duhamel, P. A detailed derivation of conditioned equations for intermittent turbulent flows, Letters in Heat and Mass Transfer, 8, 491 – 502, (1981).
4. Akhbari, M., Rahimi, A., & Hatamipour, M. S. (2020). Modeling and experimental study of a triangular channel solar air heater. Applied Thermal Engineering, 170, 114902.
5. Hai, D. T. H., & Phu, N. M. (2023). A critical review of all mathematical models developed for solar air heater analysis. J Adv Res Fluid Mech Ther Sci, 105(1), 1-14.
6. Kumar, D., & Kumar, P. (2014). Mathematical modelling of conventional solar still coupled with solar air heater. International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, 1(9), 379-383.
7. Youngs, D.L. Numerical simulation of turbulent mixing by Rayleigh-Taylor instability. Physica D 12, 32 – 44, (1984).

ISSN 3030-3907

8. Youngs, D.L. Modelling turbulent mixing by Rayleigh-Taylor instability. Physica D 37, 270 - 2 87, (1989).
9. Markatos N.C. Kotsifaki C.A. One-dimensional, two-fluid modelling of turbulent premixed flames. Appl. Math. Modell., 18 (1994), pp. 646 – 657.
10. Y.M. Shen, C.-O. Ng, A.T. Chwang. A two-fluid model of turbulent two-phase flow for simulating turbulent stratified flows. Ocean Eng., 30 (2003), pp. 153 – 161.
11. Yu K.Z. Ding G.L. Chen T.J. Modified two-fluid model for air curtains in open vertical display cabinets. Int. J. Refrig., 31 (2008), pp. 472 – 482.
12. Liu D., Wu C., Linden K., Ducoste J. Numerical simulation of UV disinfection reactors: evaluation of alternative turbulence models. Appl. Math. Modell., 31 (2007), pp. 1753 – 1769.
13. Spalding D.B. A turbulence model for buoyant and combusting flows. 4th Int. Conf. on Numerical methods in Thermal Problems, Swansea, 15-18 July 1984. Also, as Imperial College report CFD/86/4 (1984).
14. Ilegbusi O.J. and Spalding, D.B. A two-fluid model of turbulence and its application to near-wall flows", Physico-Chemical Hydrodynamics, 9, 127 – 160, (1987a).
15. Ilegbusi O.J. and Spalding, D.B. Application of a two-fluid model of turbulence to turbulent flows in conduits and shear layers. Physico-Chemical Hydrodynamics, 9, 161 – 181, (1987b).
16. Abdukarimov, B.A., Kuchkarov, A.A Numerical Solution of the Mathematical Model of Air Flow Movement in a Solar Air Heater with a Concave Tube Applied Solar Energy, 2022, 58(1), pp. 109–115
17. Moghadasi, M., Ghadamian, H., Khodsiani, M., & Pourbafrani, M. (2022). A comprehensive experimental investigation and dynamic energy modeling of a highly efficient solar air heater with octagonal geometry. Solar Energy, 242, 298-311.

ISSN 3030-3907