

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI
M.T.O‘ROZBOYEV NOMIDAGI MEXANIKA VA INSHOOTLAR
SEYSMIK MUSTAHKAMLIGI INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY
DARAJALAR BERUVCHI DSC.02/30.12.2019.T/FM.61.01 RAQAMLI
ILMIY KENGASH**

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI
M.T.O‘ROZBOYEV NOMIDAGI MEHANIKA VA INSHOOTLAR
SEYSMIK MUSTAHKAMLIGI INSTITUTI**

SHIRINOV ZIYOMAT ZOYIROVICH

**BIR VA IKKI QUVURLI ISITISH TIZIMLARINI GIDRAVLIK VA
ISSIQLIK HISOBI USULLARINI ISHLAB CHIQISH**

01.02.05 – Suyuqlik va gaz mexanikasi

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA
DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2025

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)
Dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации
доктора философии (PhD) по техническим наукам**

**Contents of Dissertation Abstract of the Doctor of Philosophy (PhD)
on technical Sciences**

Shirinov Ziyomat Zoyirovich

Bir va ikki quvurli isitish tizimlarini gidravlik va issiqlik hisobi usullarini ishlab
chiqish.....3

Ширинов Зиёмат Зойирович

Разработка методов гидравлического и теплового расчета одно- и
двухтрубных сетей отопления.....21

Shirinov Ziyomat Zoyirovich

Development of methods for hydraulic and thermal calculation of one- and two-
pipe heating networks40

E'lon qilingan ishlar ro'uxati

Список опубликованных работ

List of published works44

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI
M.T.O‘ROZBOYEV NOMIDAGI MEXANIKA VA INSHOOTLAR
SEYSMIK MUSTAHKAMLIGI INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY
DARAJALAR BERUVCHI DSc.02/30.12.2019.T/FM.61.01 RAQAMLI
ILMIY KENGASH**

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI
M.T.O‘ROZBOYEV NOMIDAGI MEHANIKA VA INSHOOTLAR
SEYSMIK MUSTAHKAMLIGI INSTITUTI**

SHIRINOV ZIYOMAT ZOYIROVICH

**BIR VA IKKI QUVURLI ISITISH TIZIMLARINI GIDRAVLIK VA
ISSIQLIK HISOBI USULLARINI ISHLAB CHIQISH**

01.02.05 – Suyuqlik va gaz mexanikasi

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA
DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2025

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) Dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2025.1.PhD/T2587 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya ishi O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi M.T.O'rozboyev nomidagi Mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi institutida bajarilgan.

Dissertatsiya avjoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) ilmiy kangash veb-sahifasida (instmech.academy.uz) va "Ziyonet" ta'lim axborot portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Xujayev Ismatulla Kushayevich
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Xudaykulov Savet Ishankulovich
texnika fanlari doktori, professor

Zakirov Asqar Xalilovich
fizika-matematika fanlari nomzodi, dosent

Yetakchi tashkilot:

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti

Dissertatsiya himoyasi O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi M.T.O'rozboyev nomidagi Mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi instituti huzuridagi DSc.02/30.12.2019.T/FM.61.01 raqamli ilmiy kengashning 2025 yil "11" "iyun" soat 14:00 dagi majlisida bo'lib o'tadi (Manzil: 100125, Toshkent, Do'rmon yo'li ko'chasi, 40, 320-majlislar zali. Tel: (99855) 520-02-45; (9985) 520-04-46, e-mail: instmech@academy.uz).

Dissertatsiya bilan O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi M.T.O'rozboyev nomidagi Mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi institutining axborot-resurs markazida tanishish mumkin (30 raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100125, Toshkent sh., Do'rmon yo'li ko'chasi, 40-uy. Tel.: (99855) 520-02-45).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil «30» may kuni tarqatildi.
(2025 yil «30» may dagi 8 raqamli reestr bayonnomasi)



M.M.Mirsaidov
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash raisi, t. f. d.,
professor, O'zR FA akademigi

F.F.Adilov
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash ilmiy kotibi,
PhD, k.i.x.

Z.M.Malikov
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash qoshidagi
ilmiy seminar raisi, t.f.d.

Kirish (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda soʻnggi yillarda aholi turmush tarzini yaxshilash uchun qulay sharoitlar yaratishga katta eʼtibor qaratilmoqda. Tabiiyki, uy-joy qurilishi, sanoat sohalarining kengayishi suv, gaz, elektr va issiqlik energiyasi isteʼmoliga boʻlgan talabni ortiradi. Bu ehtiyojlarni qondirish uchun yangi muhandislik tarmoqlarini barpo etish, mavjud tizimlarni takomillashtirish va avtomatlashtirish orqali kapital xarajatlarni kamaytirish muhim vazifalardan biridir. Qulay mikroiklim yaratishda shamol, quyosh, yer usti va yer osti issiqlik energiyalaridan foydalanish koʻlamini kengaytirishga alohida ahamiyat berilmoqda. Hozirgi kunda rivojlangan mamlakatlarda isitish tizimlarining samaradorligini oshirish, yopiq konturli tizimlarga oʻtish, alohida boshqaruv bloklarini joriy etish, energiya va material sarfini kamaytirish, issiqlik uzatishni jadallashtiruvchi materiallardan foydalanish hamda butun tizimni avtomatlashtirish orqali ekspluatatsiya xarajatlarini qisqartirish belgilangan. Bu borada, jumladan ushbu jarayonlar uchun aniq gidravlik va issiqlik hisoblari usullarini ishlab chiqish va amaliyotga tadbiq etishga alohida eʼtibor qaratilmoqda.

Jahonda isitish tizimlarini loyihalash va boshqarish ishlari amaldagi meʼyoriy hujjatlarga muvofiq, integratsiyalashgan yondashuvga asoslanib, umumiy balans tenglamalari yordamida ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yoʻnalishda, jumladan, gidrodinamika qonunlari, xususan, Kirxgof qonunlarining analoglari hamda massa, impuls va issiqlik miqdorlarining kvazi bir oʻlchovli saqlanish tenglamalaridan foydalaniladi. Halqali struktura va boshqaruv elementlariga ega tarmoqlardan foydalanish, issiqlik uzatish jarayonlarini tezlashtirish hamda uskunalarning foydali ish koeffitsientini oshirish boʻyicha keng qamrovli tadqiqotlar ustivor hisoblanmoqda. Shu bilan birga, isitish tizimlarini loyihalash, monitoring qilish va optimallashtirishga oid ilmiy izlanishlarda murakkab topologiyali tizimda issiqlik uzatgich harakati, uning tizim elementlari va atrof-muhit bilan issiqlik almashinuvi jarayonlarini aks ettiruvchi aniq matematik modellar yaratish, shuningdek, mos masalalarni hal etish uchun samarali algoritmlarni ishlab chiqish bugungi kunning dolzarb vazifalaridan hisoblanmoqda.

Respublikamizda ishlab chiqarish, turar-joy binolarini isitish va energiya manbalaridan keng foydalanish hamda ularning samaradorligini oshirishga yordam beradigan yangi texnologiyalarni yaratish boʻyicha tadqiqotlar oʻtkazish va ularni amalda qoʻllash boʻyicha keng koʻlamli chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. 2022-2026 yillarga moʻljallangan Yangi Oʻzbekistonning taraqqiyot strategiyasida, jumladan «Iqtisodiyotni elektr energiyasi bilan uzluksiz taʼminlash hamda “Yashil iqtisodiyot” texnologiyalarini barcha sohalarga faol joriy etish, iqtisodiyotning energiya samaradorligini 20 foizga oshirish»¹ boʻyicha vazifalari belgilangan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, xususan, isitish va sovutish tizimlarida qayta

¹Oʻzbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son “2022-2026 yillarga moʻljallangan Yangi Oʻzbekistonning taraqqiyot strategiyasi toʻgʻrisida”gi Farmoni.

tiklanadigan issiqlik manbalaridan foydalanish bo'yicha keng ko'lamli ishlar olib borish shu bilan birga isitish tizimlari foydali ish koeffitsientlarini oshirish muhim hisoblanadi. Shu sababli kvazi bir o'lchovli modellar asosida bir va ikki quvurli isitish tizimlarini hisoblashning usullarini ishlab chiqish muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi.

Mazkur dissertatsiya ishi O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi «2022-2026 yillarga mo'ljallangan yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida»gi PF-60-sonli Farmoni, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2008 yil 15 iyuldagi «Innovation loyihalar va texnologiyalarni ishlab chiqarishga tatbiq etishni rag'batlantirish borasidagi qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida»gi PQ-916-sonli va 2018 yil 27 apreldagi «Innovation g'oyalar, texnologiyalar va loyihalarni amaliy joriy etish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi PQ-3682-sonli Qarorlarida, shuningdek mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ma'lum darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalarini rivojlanishining IV.«Matematika, mexanika, informatika» ustuvor yo'nalishi doirasida bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Issiqlik va massa almashinuvi nazariyasi texnik fizikaning muhim bo'limi va isitishning ilmiy asosidir. U gidromexanika, termodinamika va issiqlik uzatish nazariyasi kabi fanlarga asoslangan. Issiqlik uzatishning uch turi – issiqlik o'tkazuvchanlik, konveksiya va issiqlik nurlanishi texnika va texnologiyaning yangi paydo bo'lgan talablari uchun alohida va o'zaro bog'liqlikda muvaffaqiyatli o'rganilgan.

Suyuqlik, gaz va plazmaning impuls, massa va ichki energiya ko'chishi qonunlari ichki va tashqi omillar ta'sirida moddalarning konvektiv va diffuzion, stasionar va nostasionar uzatilishini hisobga olgan holda to'liq Nave-Stoks tenglamalari doirasida o'rganiladi. Impuls, issiqlik va moddalarning diffuzion uzatilishi Nyuton, Fure va Fik qonunlari (gipotezalari) shaklida umumiy gradient asosiga ega. Qattiq jismlar konvektiv uzatishning mavjud emasligi bilan tavsiflanadi, bu yerda issiqlik uzatish an'anaviy Fure issiqlik uzatish gipotezasi doirasida, shuningdek umumlashtirilgan Fure formulasi bilan tavsiflangan va giperbolik tipdagi tenglamalarga olib keladigan issiqlik uzatishning bir fazali va ikki fazali kechikishi doirasida o'rganilgan.

Suv bilan isitish tizimlari faoliyatini tavsiflashda kvazi bir o'lchovli gidrodinamika qonunlari qo'llanilgan ishlar kam. Ayni holda massa, impuls va issiqlikning bir o'lchovli ko'chishi tenglamalariga o'tish Nave-Stoksning ko'p o'lchovli to'liq tenglamalarini chetlab o'tib, issiqlik va massa almashinuvi muammolari sinfini kengaytirishga yordam beradi. Agar kvazi bir o'lchovli gidrodinamika (N.E. Jukovskiy) tenglamalari va boshqariladigan va boshqarilmaydigan isitish tizimlarini hisoblash va loyihalash jarayonida murakkab, halqali quvur tizimlarida oqim taqsimoti qonunlaridan foydalanilsa, yangi imkoniyatlar ochiladi. Buning uchun dastavval bir va ko'p quvurli muhandislik

kommunikasiya tarmoqlari hisoblangan ko'p konturli quvurlar tarmoqlarini gidravlik va issiqlik hisobi usullarini ishlab chiqish talab etiladi.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan muassasaning ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya ishi O'zR FA M.T. O'rozboyev nomidagi Mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi institutining «Suyuqlik, gaz va gidroyuritmalar tizimlari mexanikasi» laboratoriyasining 2020-2024 yillardagi ilmiy-tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi – substantsiyalar ko'chishining kvazi bir o'lchovli tenglamalari doirasida ko'p seksiyali issiqlik almashtirgichli bir va ikki quvurli suv bilan isitish tarmoqlarida issiqlik va massa almashinuvi jarayonlarining xususiyatlarini o'rganishdan iborat.

Tadqiqot vazifalari:

suv bilan isitish tizimlarining tashkil etuvchilari, konstruktsiyalari, hisoblashning ilmiy asoslari va mavjud usullarni o'rganish;

bir quvurli isitish tizimi va unga ulangan ko'p seksiyali issiqlik almashtirgichlarning modellari va hisoblash usullarini qarshilikning kvadratik rejimi doirasida ishlab chiqish;

oqimning ixtiyoriy gidrodinamik rejimi uchun ikki quvurli suv bilan isitish tarmog'i va unga ulangan issiqlik almashtirgichning modellari va hisoblash usullarini ishlab chiqish;

bir va ikki quvurli suv bilan isitish tizimlarida asosiy parametrlarni aniqlash va ularning issiqlik va massa almashinuvi jarayonlariga ta'sirini o'rganish.

Tadqiqot ob'ekti – bir va ikki quvurli suv bilan isitish tizimlari va ularga ulangan ko'p seksiyali issiqlik almashtirgichlarda issiqlik va massa almashinuvi jarayonlari.

Tadqiqot predmetini bir va ikki quvurli suv bilan isitish tarmoqlarini matematik modellashtirish, gidravlik va issiqlik hisoblash usullari hisoblanadi.

Tadqiqot usullari. Tadqiqot davomida bir o'lchovli tutash muhitlar mexanikasi, oqim taqsimoti nazariyasining qoidalari, matematik induksiya va issiqlik uzatish nazariyasi usullari qo'llanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi:

issiqlik va massa almashinuvi jarayonlarining kvazi bir o'lchovli tavsifi va doirasida bir quvurli isitish tarmog'iga ulangan ko'p seksiyali issiqlik almashtirgich konturi bo'ylab issiqlikni tashish gipotezasi va kvadratik oqim rejimiga muvofiq issiqlik almashtirgichning matematik modeli va gidravlik hisoblashning taqribiy usuli ishlab chiqilgan;

Shuxov formulasi va tashqi kontur bo'ylab suyuqlik oqimi gipotezasi asosida ko'p seksiyali issiqlik almashtirgichning issiqlik almashinuvi jarayonini hisoblashning samarali usuli ishlab chiqilgan;

kvazi bir o'lchovli yondashuv, Kirxgof qonunlarining analoglari va matematik induksiya qoidalari asosida, ixtiyoriy gidrodinamik rejimdagi ikki quvurli isitish tarmog'iga ulangan ko'p seksiyali issiqlik almashtirgich uchun gidravlik va issiqlik hisoblash usullari ishlab chiqilgan;

ikki quvurli suv bilan isitish tarmog'ini gidravlik va issiqlik hisoblash usullari oqimning beshala gidrodinamik rejimi va chekli sondagi issiqlik almashtirgich ulangan hollar uchun matematik modeli ishlab chiqilib, olingan natijalar baholangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

bir va ikki quvurli suv bilan isitish tarmoqlariga ulangan ko'p seksiyali issiqlik almashtirgichlarning gidravlik va issiqlik hisobi uchun formulalar olindi va dasturiy mahsulot ishlab yaratilgan;

halqalangan bir va ikki quvurli suv bilan isitish tarmoqlarining gidravlik va issiqlik hisobi uchun hisoblash algoritmi va dasturiy mahsulotlar ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi substansiyalarning ko'chishi va saqlanish qonunlaridan, oqim taqsimoti qonunlaridan to'g'ri foydalanish va olingan natijalarning o'rganilayotgan hodisalar fizikasiga muvofiqligi bilan ta'minlangan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqot natijalarning ilmiy ahamiyati birinchi marta suv bilan isitish tizimlarida issiqlik va massa almashinuvi jarayonlarining tizimli tavsifi substansiyalarning uzatilishi va saqlanishining kvazi bir o'lchovli tenglamalari asosida tuzilgani bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarning amaliy ahamiyati Kirxgofning birinchi va ikkinchi qonunlari analoglari va Shuxov formulasining bir xil va turli xil elementlarga ega bo'lgan ko'p konturli quvurlar tarmog'ini hisoblash jarayonida qo'llash imkoniyatlari ko'rsatib berilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Bir va ikki quvurli suv bilan isitish tizimlarini hisoblash uchun mo'ljallangan matematik modellar, algoritmlar va dasturiy mahsulotlar asosida:

halqalangan isitish jarayonini optimallashtirish va issiqlikning tekis tarqalishini ta'minlash masalalari uchun olingan yuqori darajadagi aniqlikdagi yechimlar YOFA-FTex-2018-13 loyihasini bajarish jarayonida qo'llanilgan (O'zR FA V.I. Romanovskiy nomidagi matematika institutining 2024 yil 24 oktyabrdagi 2/367 sonli ma'lumotnomasi). Bu ilmiy natijalardan foydalanish gidrodinamikaning murakkab fizik jarayonlarini ifodalashda va ushbu tenglamalarni yechish uchun yangi optimal algoritmlar qurish imkonini bergan;

isitish tizimlarini gidravlik va issiqlik hisobining samarali qiymatlarini aniqlash usullari Buxoro viloyati Kogon tuman 5-sonli va 9-sonli maktablarning isitish tizimlarini qayta jihozlash jarayonlariga joriy qilingan (O'zbekiston Respublikasi qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligining 2024 yil 29 oktyabrdagi 24-06/11383-son ma'lumotnomasi). Natijada mavjud muhandislik hisoblariga ketadigan vaqt va mehnatni 15-20% ga kamaytirish va hisoblash aniqligini 10-12% ga oshirishga erishilgan;

bir quvurli isitish tarmog'ini hisoblash uchun yaratilgan dasturiy mahsulotlar „Kogon isitgich moslamalar“ MChJda joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi qurilish va kommunal xo'jalik vazirligining 2024 yil 29 oktabrdagi 24-06/11383-sonli ma'lumotnomasi). Natijada uchastkalar bo'yicha quvurlarning diametrlari

aniqlangan, hisoblash vaqti 20-25% ga qisqartirilgan, gidravlik hisoblashning aniqligi 12-15% ga oshirilgan va isitish jarayonini optimallashtirish va issiqlikning tekis taqsimlanishini ta'minlash hisobiga issiqlik energiyasi sarfini 2-3% ga tejashga erishilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Dissertatsiya ishining asosiy natijalari 1 ta xalqaro va 5 respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha 19 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik Dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan ilmiy jurnallarda 7 ta ilmiy maqola, ulardan 3 tasi xorijiy va 4 tasi respublika jurnallarida chop etilgan hamda 4 ta EHM uchun dasturiy mahsulotga Intellektual mulk agentligining guvohnomalari olingan.

Dissertatsiyaning hajmi va tuzilishi. Dissertatsiya tarkibi kirish, uchta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 119 betni tashkil etgan.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiyaning kirish qismida dissertatsiya mavzusining O'zbekiston Respublikasida fan va texnologiyalarni rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlariga mos kelishi, dolzarbligi va zaruriyati asoslangan, maqsad va vazifalar shakllantirilgan, tadqiqotning ob'ekti va predmeti ko'rsatib berilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ishonchliligi asoslangan va nazariy hamda amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalari amaliyotga joriy etilganligi, chop etilgan ishlar va Dissertatsiya ishining tuzilishi haqida ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiya ishining besh bandedan iborat birinchi «**Isitish tizimlarida issiqlik va massa almashinuvi jarayonlarini o'rganilganligi masalasining holati haqida**» bobida suv isitish tizimining tuzilishi va loyihalashning xususiyatlari ko'rib chiqilgan. Bir, ikki va ko'p quvurli isitish tizimlarini va ularning tarkibiy qismlarini, shuningdek ularni avtomatik boshqarish tizimlarining variantlari muhokama qilingan. Issiqlik va massa almashinuvi jarayonlarining nazariy asoslari va modellashtirish bo'yicha ishlar ko'rib chiqilgan. Issiqlik uzatish tenglamalari konvektiv issiqlik uzatishni hisobga olgan va olmagan holda berilgan. Isitish tizimlarida issiqlik va massa almashinuvi jarayonlari bo'yicha alohida nashrlar tahlil etilgan.

Ushbu bobda suyuq ishchi agentini quvur orqali uzatish jarayonida issiqlik va massa almashinuvi tenglamalari keltirib chiqarilgan.

Massaning saqlanish qonuni kvazi bir o'lchovli tenglama bilan tavsiflanadi:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho w}{\partial x} = 0. \quad (1)$$

Impuls saqlanish qonunining kvazi bir o'lchovli ko'rinishi darsi-Veysbax formulasi yordamida tuzilgan:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial x} + \rho g \frac{dy}{dx} + \frac{\lambda}{2D} \rho |w| w. \quad (2)$$

Issiqlik tashuvchi ichki energiyasi $\xi = c_B T$ saqlanishi va ko'chishi qonuni quyidagi tenglama bilan tavsiflangan:

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + w \frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_T \frac{\partial T}{\partial x} \right) + E_{BU} + E_t - k(T - T_{oc}) \bar{f}_{op} / f, \quad (3)$$

bu yerda harorat o'tkazuvchanlik koeffitsienti λ_T li issiqlik o'tkazuvchanlikdan tashqari issiqlikning oqib kelishi va manbalarining intensivligi E_{BU} , oqim kinetik energiyasining dissipasiyasi E_t , harorati T_{oc} bo'lgan atrof muhitdagi ishchi suyuqligining o'rtacha issiqlik berish koeffitsienti k , quvur ko'ndalang kesimining yuzasi $f = \pi D^2 / 4$ va 1 metr ga mos keluvchi quvur tashqi sirtining solishtirma yuzasi \bar{f}_{op} hisobga olindi.

Yoyda (quvur elementida) gi bosim tushishini aniqlash uchun quyidagi formuladan foydalanilgan:

$$p_K = p_H - \frac{\lambda Q^2 \rho}{2Df^2} l - \rho g (y_K - y_H), \quad (4)$$

bu yerda «H» va «K» indeksleri kirish va chiqish kesimlari (tugunlar) ning ko'rsatkichlarini ajratadi; y – quvur o'qining nivelir balandligi; ρ – o'zgaras qiymatga ega suyuqlik zichligi; Q – suyuqlikning hajmiy sarfi; l – qaralayotgan quvur qismining uzunligi.

Gidravlik hisoblashlar uchun qarshilik koeffitsientining bir hadli ko'rinishidan foydalanilgan:

$$\lambda = \zeta (k_s / D)^\theta Re^n, \quad (5)$$

bu yerda laminar oqim rejimida Stoks formulasi ($\zeta = 64, \theta = 0, n = -1$) qo'llaniladi; o'tish rejimida – Zaychenko formulasi ($\zeta = 0.0025, \theta = 0, n = 1/3$); silliq turbulent oqim rejimida $k_s < 10D / Re$ uchun – Blazius formulasi ($\zeta = 0.3164, \theta = 0, n = -1/4$); aralash rejimda $10 < Re k_s / D < 158$ uchun – Leybenzon formulasi ($\zeta = 10^{-0.627}, \theta = 0.127, n = -0.123$); rivojlangan turbulent oqim rejimida $Re k_s / D > 158$ uchun – Shifrinson formulasi ($\zeta = 0.11, \theta = 0.25, n = 0$) qo'llaniladi. Quvur jonli kesimining ekvivalent g'adirbudurligi k_s bilan belgilangan.

Muallif issiqlik tashuvchi haroratining yo'l-yo'lakay o'zgarishni ifodalash uchun suyuqlik kinetik energiyasi dissipasiyasi $\frac{\lambda Q^3 \rho}{2k_{cp} D f^2 \bar{f}_{op}}$ qo'shimcha hisobga

olingan Shuxov formulasini umumlashtirishga muvaffaq bo'lgan: $Sh = \frac{k_{cp} \bar{f}_{op}}{\rho Q c_B}$ deb

qabul qilinsa

$$T(l) = T_{oc} + \frac{\lambda Q^3 \rho}{2k_{cp} D f^2 \bar{f}_{op}} + \left(T_H - T_{oc} - \frac{\lambda Q^3 \rho}{2k_{cp} D f^2 \bar{f}_{op}} \right) \exp(-Sh l). \quad (6)$$

$\frac{\lambda Q^3 \rho}{2k_{cp} D f^2 \bar{f}_{op}}$ qo'shiluvchilarsiz bu formula birinchi marta Shuxov tomonidan olingan.

Ushbu bobda, shuningdek, Kirxgofning birinchi va ikkinchi qonunlari quvurlar tarmog'iga nisbatan qo'llanilishi ko'rsatib o'tilgan.

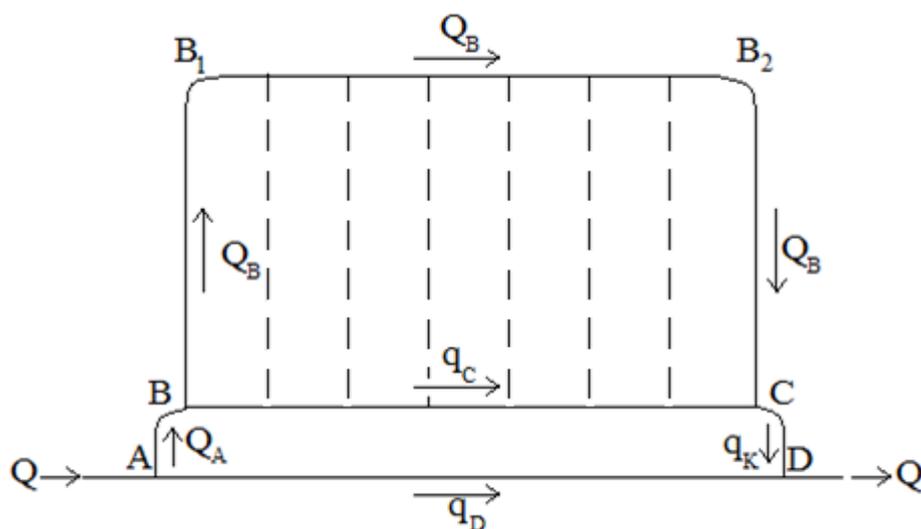
Suv bilan isitish tarmoqlarini bo'yicha ob'ektlari tadqiqotlari va shu kundagi vaziyatning muammolarini bo'yicha tahlil qilish asosida tadqiqotning maqsadi va vazifalari shakllantirilgan.

Dissertatsiya ishining «**Bir quvurli isitish tizimi va unga ulangan issiqlik almashtirgichning gidravlik va issiqlik hisobining kvazi bir o'lchovli usullari**» deb nomlangan ikkinchi bobida pastki oxirlari orqali bir quvurli tarmoqqa ulangan ko'p seksiyali issiqlik almashtirgichning matematik modeli shakllantirilgan va uni gidravlik hisoblash usuli ishlab chiqilgan.

Zamonaviy issiqlik almashtirgichlari yuqori issiqlik o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan materialdan alohida seksiya shaklida ishlab chiqariladi. Har bir seksiyada balandligi h va ichki diametri D_v , uzunligi l_c va ichki diametri D_g bo'lgan yuqorigi va pastki gorizontaal quvurchalar orqali bog'langan vertikal quvurlar bor. Ishchi agentdan atrof-muhitga issiqlik oqimini oshirish uchun atrof-muhit bilan kontakt yuzasini oshiradigan seksiyalar tashqi qovurg'alar bilan jihozlangan. Shunga ko'ra, issiqlik almashtirgichning uzunligi $l = N l_c$ seksiyalar uzunliklaridan bir necha marotaba uzunroq, bu yerda N – issiqlik almashtirgichdagi seksiyalar soni.

Magistral kanal bilan issiqlik almashtirgich orasidagi AB va CD ulovchi (permichka)larning uzunligini h_p bilan belgilaymiz. Faraz qilaylik, sarf

$Q = \frac{\pi D_m^2}{4} w$ magistral kanal (q_D) bilan issiqlik almashtirgichning yuqori (Q_B) va pastki (q_C) gorizontaal quvurchalari orasida taqsimlanadi. Biz o'rta vertikal quvurlardagi oqimlarni e'tiborsiz qoldiramiz. U holda bizda ikki konturli yopiq tarmoq hosil bo'ladi (1-rasm).



1-rasm. Matematik modellashtirishda qo'llanilgan, bir quvurli tarmoqqa ulangan issiqlik almashtirgichning sxematik tasviri

Pastki kontur to'rtta yoyga ega: uzunliklari h_p bo'lgan AB va CD ulagichlar (перемички), taqriban bir xil uzunlikka l ega BC issiqlik almashtirgichning pastki gorizontaal quvurchasi va AD magistral kanalning bir qismi. Suyuqlikning kirish va chiqishdagi sarfi bir xil va Q ga teng. A dan B gacha yoy sarfini Q_A bilan, yuqori yoy bo'ylab sarfini Q_B bilan belgilaymiz va ular biz uchun noma'lum hisoblanadi. Agar biz ularning qiymatlarini topsak, u holda AD yoy bo'yicha sarfni $q_D = Q - Q_A$ kabi, BC yoy bo'yicha sarfni $q_C = Q_B - Q_A$ kabi, CD yoy bo'yicha sarfni $q_K = Q_A$ kabi hisoblaymiz. Ushbu muloxazalar Kirxgofning birinchi qonunining analogidan – tarmoqlangan va tutashgan tugunlardagi suv massasining muvozanatidan kelib chiqadi.

Yoylarda bosim tushishi tenglamalari tuzilgan: AB yoyda –

$$p_H - p_B = \frac{\lambda_p \rho h_p}{2D_p f_p} Q_A^2 = K_A Q_A^2, \quad (7)$$

AD yoyda –

$$p_H - p_K = \frac{\lambda_m \rho l}{2D_m f_m^2} q_D^2 = K_D q_D^2, \quad (8)$$

BC yoyda –

$$p_B - p_C = \frac{\lambda_g \rho l}{2D_g f_g^2} q_C^2 = K_C q_C^2, \quad (9)$$

BC yuqori yoyda –

$$p_B - p_C = \left(2 \frac{\lambda_v \rho h}{2D_v f_v^2} + \frac{\lambda_g \rho l}{2D_g f_g^2} \right) Q_B^2 = K_B Q_B^2, \quad (10)$$

CD yoyda –

$$p_C - p_K = \frac{\lambda_p \rho h_p}{2D_p f_p^2} q_K^2 = K_K q_K^2. \quad (11)$$

Kvadrat qarshilik rejimi uchun (7)-(11) tenglamalar tizimidan yoy sarflari aniqlangan:

$$Q_A = \frac{\sqrt{K_D}}{\sqrt{K_A + K_K + \frac{K_C K_B}{(\sqrt{K_B} + \sqrt{K_C})^2} + \sqrt{K_D}}} Q = KQ \equiv q_K,$$

$$Q_B = \frac{\sqrt{K_C}}{\sqrt{K_B} + \sqrt{K_C}} KQ, \quad q_C = Q_A - Q_B = \frac{\sqrt{K_B}}{\sqrt{K_B} + \sqrt{K_C}} KQ,$$

$$q_D = Q - Q_A = (1 - K)Q, \quad (12)$$

Shuningdek barcha tugunlarda bosimlarni hisoblash uchun formulalar olingan, shu jumladan issiqlik almashtirgichli qismning chiqish kesimidagi bosim uchun ham:

$$p_K = p_H - K_D (1 - K)^2 Q^2. \quad (13)$$

§2.2 da bir quvurli issiqlik tarmog'iga ulangan issiqlik almashtirgichning issiqlik hisobi usuli ishlab chiqilgan.

Silindrsimon quvurda tinch holatda bo'lgan suyuqlikning issiqlik yo'qotishini aniqlash uchinchi turdagi chegara shartlarida kanalning devor qalinligi orqali suyuqlik va atrof-muhit o'rtasidagi issiqlik almashinuvi masalasi shakllantirilgan va yechilgan:

$$-\frac{dT(r_1)}{dr} = k_B [T_{\mathcal{K}} - T(r_1)], \quad \frac{dT(r_2)}{dr} = k_H [T_{oc} - T(r_2)]. \quad (14)$$

Bu yerda $k_B = \alpha_B / \lambda_T$ va $k_H = \alpha_H / \lambda_T$; α_B, α_H – suyuqlikdan devorga va devordan atrof-muhitga issiqlik berish koeffitsientlari; λ_T – devor materialining temperaturani o'tkazish koeffitsienti.

$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) = 0$ tenglamaning yechimi $T(r)$ funksiya ko'rinishida olingan.

Berilgan $T_{\mathcal{K}}$ va T_{oc} qiymatlar uchun ushbu yechimga muvofik $T(r_2), T(r_1)$ grafiklar qurilgan va atrof-muhitga beriladigan issiqlikning solishtirma kattaligi aniqlangan (2-rasm):

$$q_{y\delta} = -\lambda_T \frac{dT(r_2)}{dr} = \alpha_H [T(r_2) - T_{oc}] = A_0 T_{oc} + B_0 T_{\mathcal{K}}, \quad (15)$$

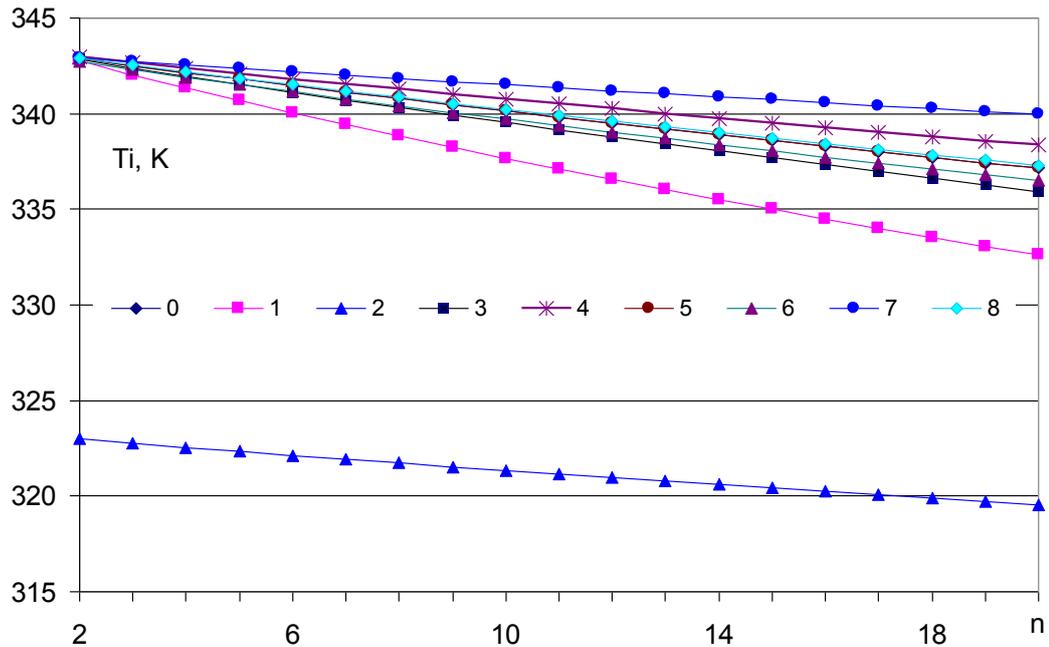
bu yerda $B_0 = \alpha_H \left(1 + r_2 k_H \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_2 k_H}{r_1 k_B} \right)^{-1}$, $A_0 = -B_0$ belgilashlardan foydalanilgan.

Shuxov formulasidan, o'zaro aralashib ketuvchi oqimlarning o'rtacha harorati formulasi va (15) formuladan foydalanib, olingan yoylardagi sarflarga

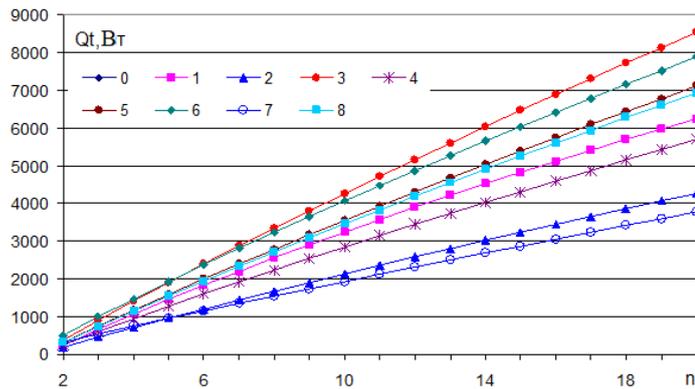
olinganga muvofiq issiqlik almashtirgichning uzellardagi haroratlarini hisoblash algoritmi va dasturi (DGU № 40515) ishlab chiqilgan.

Hisoblash tajribasi va adabiyot manbalarini tahlil qilish tabiiy konveksiya sharoitida tajriba ma'lumotlariga yaqinroq natijalarni beradigan bazaviy ma'lumotlarni (variant 0) tuzish imkonini berdi: $l=0.07 \text{ m}$, $h=0.6 \text{ m}$, $\dot{h}_p=0.15 \text{ m}$, $h_p=0.15 \text{ m}$, $D_m=0.03 \text{ m}$, $D_v=0.01 \text{ m}$, $D_g=0.03 \text{ m}$, $\dot{D}_p=0.03 \text{ m}$, $D_p=0.03 \text{ m}$, $\dot{D}_p=0.03 \text{ m}$, $\delta_m=0.005 \text{ m}$, $\delta_v=0.12 \text{ m}$, $\delta_g=0.03 \text{ m}$, $\dot{\delta}_g=0.20 \text{ m}$, $\dot{\delta}_p=0.05 \text{ m}$, $\delta_p=0.05 \text{ m}$, $p_H=110000.0 \text{ Pa}$, $\rho=1000.0 \text{ kg m}^{-3}$, $\lambda_m=0.002$, $\lambda_v=0.002$, $\lambda_g=0.002$, $\dot{\lambda}_p=0.002$, $\lambda_p=0.002$, $c_B=4190.0 \text{ Дж кг}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $g=9.8 \text{ m s}^{-2}$, $k_{cp}=7.5 \text{ Bm m}^{-2} \text{ c}^{-1}$, $\lambda_T=200 \text{ Bm m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $\alpha_B=3500.0 \text{ Bm m}^{-2} \text{ K}^{-1}$, $\alpha_H=17.0 \text{ Bm m}^{-2} \text{ K}^{-1}$, $T_{oc}=293.15 \text{ K}$, $T_H=343.15 \text{ K}$, $Q=1,4137 \text{ л / c}$.

§2.3 da issiqlik almashtirgichdagi seksiyalar soniga qarab, bazaviy variant uchun hisoblash natijalari keltirilgan. Boshqa ma'lumotlar o'zgarimas bo'lib qolganda, qo'shimcha hisoblashlar alohida ko'rsatkichlarning qiymatini o'zgartirish bilan amalga oshirilgan. Bunday ko'rsatkichlar sifatida quyidagilar qabul qilingan: umumiy sarf uchun – $Q=1,4137 \text{ л / c}$ (1-variant), issiqlik tashuvchining dastlabki harorati uchun – $T_n=323,15 \text{ K}$ (2-variant), atrof-muhit harorati uchun – $T_{oc}=283,15 \text{ K}$ (3-variant) va $T_{oc}=303,15 \text{ K}$ (4-variant), qarshilik koeffitsienti uchun – $\lambda=0,005$ (5-variant), oqimi bo'lgan uchastkalardagi issiqlik berish koeffitsienti uchun – $k_{cp}=17,5 \text{ Bm / m}^2 / \text{c}$ (6-variant), vertikal oraliq quvurchalardagi uch qatlamli issiqlik almashinuvi varianti uchun ma'lumotlar to'plami $\alpha_B=2500,0 \text{ Bm / m / K}$ $\alpha_H=7,0 \text{ Bm / m / K}$ (7-variant), shuningdek yuqori gorizontal quvurlarning qalinligi uchun – $\delta_{gv}=0,10 \text{ m}$ (8-variant).

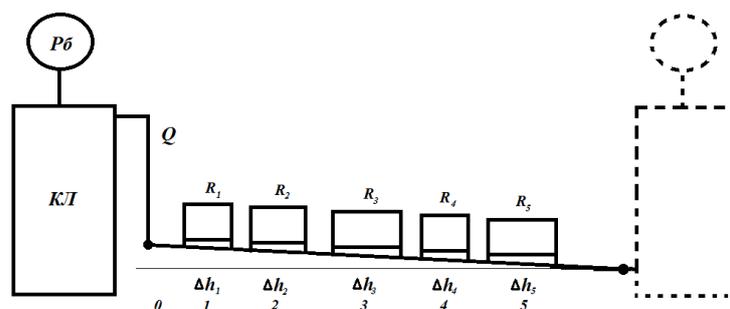


2-rasm. Dastlabki alohida ma'lumotlar o'zgartirilganda seksiyalar soniga bog'liq holda issiqlik tashuvchining chiqishdagi haroratining o'zgarishi



3-rasm. Issiqlik almashtirgichli qismlardan seksiyalar soniga bog'liq holda berilgan issiqlik kattaligi Q (Bm)

Issiqlik almashtirgich seksiyalari soniga va alohida ko'rsatkichlarning o'zgarishiga qarab olingan ma'lumotlarning qiyosiy tahlili o'tkazilgan, bu ko'rib chiqilayotgan ob'ekt natijalarining sifatli kelishuvini ko'rsatadi. 2- va 3-rasmlarda issiqlik almashtirgichli qismdan issiqlik tashuvchining chiqish harorati va issiqlik berilishi intensivligi Q (Bt) o'zgarishi chiziqlari seksiyalar soniga bog'liq holda keltirilgan.



4-rasm. Beshta issiqlik almashtirgichli bir quvurli issiqlik tarmog'ining sxematik ko'rinishi

§2.4 da bir quvurli issiqlik tarmog'ining gidravlik va issiqlik hisobi uchun algoritm va dastur (DGU № 41131) ishlab chiqilgan va undan foydalanilgan holda hisoblash tajribasi o'tkazilgan. Oddiy variantda bir quvurli isitish tarmog'i qozon (KП), kengaytirish baki (P6) va qozonning yuqori qismidan ta'minlanadigan va pastki qismga ulanishi bilan tugaydigan issiqlik almashtirgichli yopiq magistraldan iborat (4-rasm). Har bir issiqlik almashtirgich cheklangan miqdordagi bir xil seksiyalarga ega va o'z haroratiga ega bo'lgan muhit(xona)da o'rnatilgan.

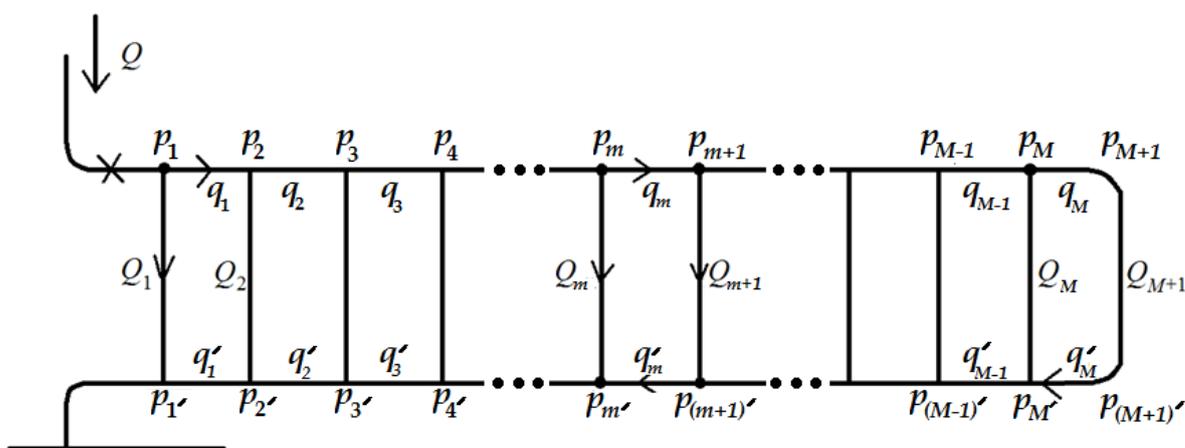
Hisoblashning to'qqizta varianti uchun yakuniy hisoblash ma'lumotlari

Ko'rsatkichlar	Hisoblash variantlari								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Tarmoqdan chiqishdagi bosim $P_{\text{кон}}, Па$	109722.40	109930.60	109722.40	109722.40	109722.40	109306.00	109722.40	109722.40	109722.40
Issiqlik tashuvchining tarmoqdan chiqishdagi harorati $T_{\text{кон}}^0, C$	64.440	59.967	55.499	63.648	65.765	64.440	62.570	66.500	64.569
Tarmoqda issiqlikning yo'qotilish miqdori $Q_{\text{ном}}, Bm$	22870.89	20635.79	18515.91	26129.84	17419.89	22870.89	30561.75	14397.52	22342.23

Bobning oxirgi paragrafida asosiy ma'lumotlar va tarmoqning alohida ko'rsatkichini sakkizta varianti uchun o'zgartirish bo'yicha o'tkazilgan hisoblash tajribasi natijalari muhokama qilingan, hamda tarmoqqa ulangan beshta issiqlik almashtirgichli isitish tarmog'i uchun olingan hisoblash natijalar muhokama qilingan. Tarmoq uchun ham, alohida issiqlik almashtirgichlar uchun ham ishchi suyuqlikning yoylardagi sarf va tugunlardagi haroratlar aniqlangan. To'qqizta hisoblash varianti bo'yicha yakuniy ma'lumotlarni keltirish bilan cheklanamiz (jadvalga qarang).

Agar ikkinchi bobda bir quvurli suv bilan isitish tarmog'ini modellashtirishda issiqlik almashtirgichning oraliq vertikal quvurlarida harakatlanmaydigan issiqlik tashuvchi haqidagi gipoteza va kvadratik oqim rejimi ishlatilgan bo'lsa, uchinchi bobda kvazi bir o'lchovli yondashuv doirasida ikki quvurli suv bilan isitish tarmog'i va uning issiqlik almashtirgichining gidravlik va issiqlik hisobi uchun aniq yechimlar olingan. Ushbu bob «**Zamonaviy issiqlik almashtirgichlari bo'lgan ikki quvurli isitish tarmog'ini hisoblashning matematik modellari va algoritmlari**» deb nomlangan.

§3.1 da bir tomondan ikki quvurli suv isitish tarmog'iga ulangan zamonaviy ko'p seksiyali issiqlik almashtirgichning gidravlik va issiqlik hisobi masalasi shakllantirilgan (5-rasm). Ishchi agentning o'zgarmas hajmiy oqim sarfida issiqlik almashtirgichning bosimi va haroratining berilgan kirish qiymatlari uchun issiqlik almashtirgichning chiqishdagi mos ko'rsatkichlarini topish talab etiladi.



5-rasm. Bir tomondan ikki quvurli tarmoqqa ulangan issiqlik almashtirgichning sxematik ko'rinishi

$M + 1$ seksiyali issiqlik almashtirgichning tepadagi tugunlarini $1, 2, \dots, m, \dots, M, M + 1$ va pastki tugunlarini $1', 2', \dots, m', \dots, M', (M + 1)'$ kabi tartibga solamiz. Vertikal quvurchalardagi sarflarni $Q_1, Q_2, \dots, Q_m, \dots, Q_M$ orqali belgilaymiz. Agar ularning qiymatlari ma'lum bo'lsa, u holda o'ngdagi ohirgi quvurcha bo'yicha suyuqlik sarfi $Q_{M+1} = Q - \sum_{i=1}^M Q_i$ ni tashkil qiladi. Yuqorigi quvurcha bo'yicha yoylarda sarf $q_1 = Q - Q_1, q_2 = Q - Q_1 - Q_2, \dots, q_m = Q - Q_1 - Q_2 - \dots - Q_m, \dots, q_{M-1} = Q - Q_1 - \dots - Q_m - \dots - Q_{M-2} - Q_{M-1}$ va $q_M = Q - Q_1 - Q_2 - \dots - Q_m - \dots - Q_{M-1}$ ni tashkil qiladi. Pastki quvurcha bo'yicha yoylar sarfini $q'_M = Q_M, q'_{M-1} = Q_M + Q_{M-1}, q'_m = Q_M + Q_{M-1} + \dots + Q_m, \dots, q'_2 = Q_M + Q_{M-1} + \dots + Q_m + \dots + Q_3$ va $q'_1 = Q_M + Q_{M-1} + \dots + Q_m + \dots + Q_3 + Q_2$ ni tashkil qilishadi.

Ko'rib turganingizdek, vertikal quvurchalar orqali umumiy suv sarfi Q ga teng. Bu bilan biz Kirxgofning birinchi qonuni analogining bajarilishini ta'minladik.

Tugunlardagi bosimlarni $p_1, p_2, \dots, p_m, \dots, p_M, p_{M+1}, p_1', p_2', \dots, p_{m'}, \dots, p_{M'}, p_{(M+1)'}$ bilan belgilaymiz. Ushbu miqdorlarni aniqlash uchun biz Kirxgofning ikkinchi qonunining analogidan foydalanamiz.

M alohida konturli issiqlik almashtirgich yoylarida oqim sarflari va tugunlaridagi bosimlarini hisoblash uchun formulalar matematik induksiya usulidan foydalanib olingan.

$$r_1 = \frac{\sqrt[\alpha]{2K_g + K_v}}{\sqrt[\alpha]{K_v} + \sqrt[\alpha]{2K_g + K_v}}, r_2 = \frac{\sqrt[\alpha]{2K_g + r_1^\alpha K_v}}{\sqrt[\alpha]{K_v} + \sqrt[\alpha]{2K_g + r_1^\alpha K_v}}, \dots, r_M = \frac{\sqrt[\alpha]{2K_g + r_{M-1}^\alpha K_v}}{\sqrt[\alpha]{K_v} + \sqrt[\alpha]{2K_g + r_{M-1}^\alpha K_v}}$$

Vertikal quvurchalardagi suyuqlik sarfini hisoblashda foydalaniladigan rekurrent koeffitsientlar ketma-ketligi tuzilgan: $Q_1 = r_M Q$, $Q_2 = r_{M-1}(1-r_M)Q$, $Q_3 = r_{M-2}(1-r_{M-1})(1-r_M)Q$, ... , $Q_m = r_{M-m+1}(1-r_{M-m+2})\dots(1-r_M)Q, \dots$, $Q_M = r_1(1-r_2)(1-r_3)\dots(1-r_M)Q$, $Q_{M+1} = (1-r_1)(1-r_2)(1-r_3)\dots(1-r_M)Q$. Ushbu ma'lumotlar tepadagi gorizontalar bo'ylab oqim sarflarini aniqlash imkonini beradi:

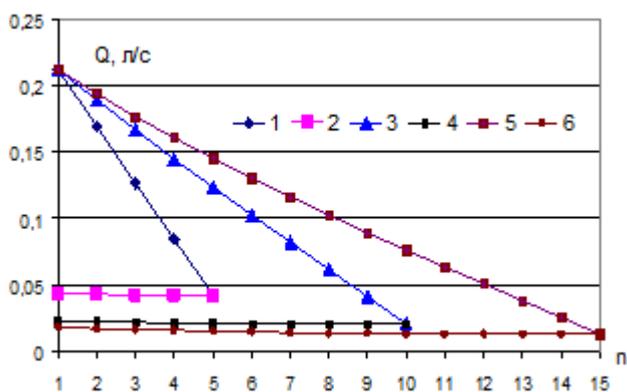
$$q_1 = (1-r_M)Q, \quad q_2 = (1-r_{M-1})(1-r_M)Q, \dots, \\ q_m = (1-r_{M-m+1})(1-r_{M-m+2})\dots(1-r_M)Q, \dots, \quad q_M = (1-r_1)(1-r_2)\dots(1-r_M)Q,$$

shuningdek, pastki gorizontalar bo'ylab ham oqim sarflari aniqlandi.

Ushbu ma'lumotlardan, shuningdek, gidravlik va issiqlik hisobi uchun yuqorida keltirilgan formulalar yordamida issiqlik almashtirgichning tugunlaridagi bosimlar va haroratlar aniqlangan. Issiqlik almashtirgichning issiqlik hisobi seksiyalarning soni turlicha bo'lganida issiqlik almashtirgich oqimining yo'nalishiga va yoy sarflari muvofiq amalga oshirilgan.

Misol tariqasida suyuqlikning dastlabki hajmiy oqim sarfini besh, o'n va o'n besh seksiyali tepa va vertikal yoylarda taqsimlashini keltiramiz (5-rasm). Bu yerda va keyingi grafiklarda 1, 2, 5, 6 raqamlari issiqlik almashtirgichdagi umumiy oqim tezligiga $w = 0.3 \text{ m c}^{-1}$, 3, 4, 7, 8 raqamlar – 0.4 m c^{-1} ga; 1, 3, 5, 7 raqamlar – atrof muhit harorati $T_{oc} = 293.15 \text{ K}$, 2, 4, 6, 8 raqamlar – 293.15 K ; 1-4 raqamlar issiqlik uzatish koeffitsienti $k_{cp} = 7.5 \text{ Bm m}^{-2} \text{ c}^{-1}$ ga; 5-8 raqamlar esa – $17.5 \text{ Bm m}^{-2} \text{ c}^{-1}$ ga mos keladi.

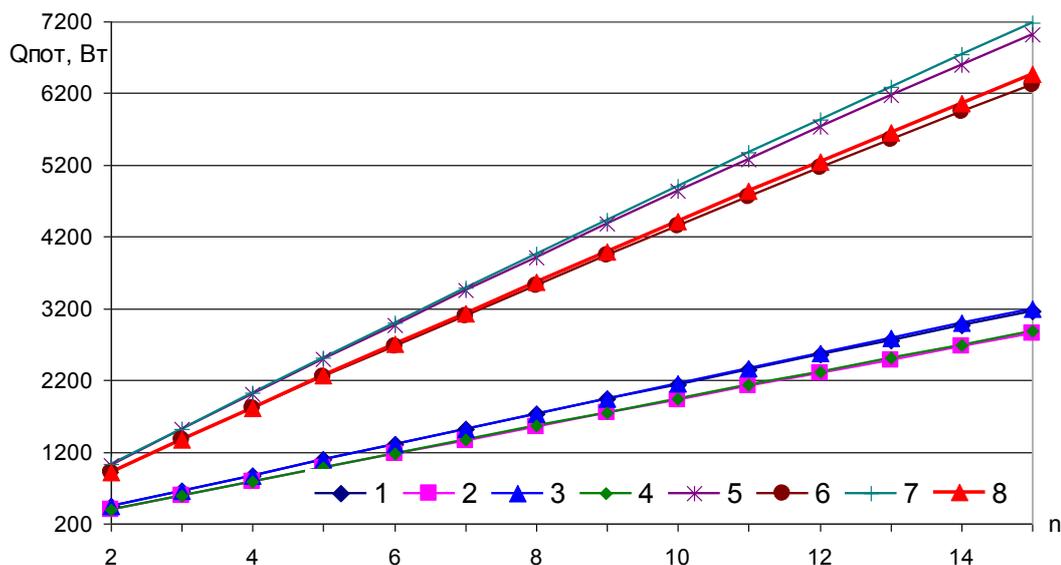
1-8 variantlar uchun issiqlik almashtirgichdagi seksiyalar soniga bog'liq tarzda issiqlik agentining chiqishdagi haroratining o'zgarishi tahlil etilgan. Tahlil quyidagilarni ko'rsatdi:



6-rasm. Hajmiy sarfning besh, o‘n va o‘n besh seksiyali issiqlik almashtirgichlarning tepa (1, 3, 5) yoylarda va vertikal patrubkalaridagi (2, 4, 6) taqsimoti

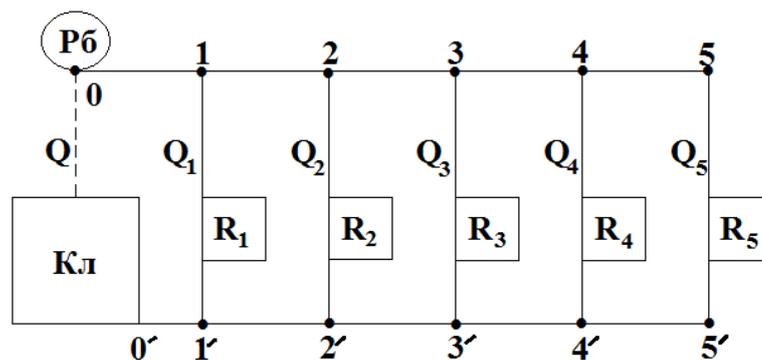
oshishi bilan issiqlik tashuvchining atrofga issiqlik berishi kamayadi.

Ushbu mulohazalar yuqorida sanab o‘tilgan dastlabki ma‘lumotlarning sakkiz varianti uchun n seksiyali issiqlik almashtirgich orqali umumiy issiqlik yo‘qotilishi bo‘yicha hisoblash tajribasi (DGU № 36969) natijalari keltirilgan 7-rasmdagi grafiklar bilan ham tasdiqlanadi.



7-rasm. Issiqlik almashtirgichdagi seksiyalar soniga bog‘liq holda hisoblash tajribasining sakkiz varianti uchun umumiy issiqlik yo‘qotilishi

Ikki quvurli suv bilan isitish tarmog‘ini hisoblashning shunga o‘xshash usuli §3.4 da keltirilgan bo‘lib, unda atrof-muhitning alohida harorati, chiziqli qismlarning turli ko‘rsatkichlari va issiqlik almashtirgich seksiyalarining soni hisobga olingan. Ya‘ni, agar oldingi paragraflarning natijalari bir xil ko‘rsatkichli tashkil qiluvchilarga tegishli bo‘lgan bo‘lsa, ushbu paragrafning natijalari turli ko‘rsatkichlarga ega bo‘lgan tashkil etuvchilarga tegishlidir.



$K_{\text{Л}}$ – qozon; P_6 – kengaytiruvchi bachok; Q – stoyakdagi umumiy sarf; Q_1, Q_2, \dots – zvenolar bo‘yicha sarflar; $1, 2, \dots$ – yuqori magistralga zvenolarni ulanish nuqtalari; $1', 2', \dots$ – pastki magistralga zvenolarni ulanish nuqtalari; R_1, R_2, \dots – issiqlik almashtirgichlar

8-rasm. Beshta issiqlik almashtirgichli ikki quvurli isitish tarmog‘ining sxematik ko‘rinishi

Ikki quvurli issiqlik tarmog‘ining gidravlik va issiqlik hisoblari uchun formulalar matematik induksiya qoidalari asosida olingan. Ushbu paragrafdagi materiallardan dasturiy mahsulotni (DGU № 41130) ishlab chiqishda foydalanilgan. Dissertatsiya ishida ko‘p variantli hisoblash eksperimenti natijalari keltirilgan.

Ikkinchi va uchinchi boblarda olingan natijalar tarmoqqa kuchaytirgich kiritish zaruratini va uning quvvatini (shunday zarurat mavjud bo‘lsa) kerakli quvvatni, shuningdek, suv isituvchi qozonining quvvatini aniqlash imkonini beradi. Algebraik hisoblashlar doirasida taklif etilgan hisoblash usullarining soddaligi ko‘p qavatli turar-joy binolari va ko‘p tarmoqli korxonalar uchun issiqlik ta‘minotini loyihalash bosqichiga to‘g‘ridan-to‘g‘ri qo‘llash uchun yo‘l ochadi.

XULOSA

“Bir va ikki quvurli isitish tizimlarini gidravlik va issiqlik hisobi usullarini ishlab chiqish” mavzusida dissertatsiya tadqiqoti natijalari asosida quyidagi asosiy xulosalar shakllantirildi.

Suv bilan isitish tizimining tashkil etuvchilari, loyihalash texnologiyasi, isitish tizimlarini modellashtirishning nazariy asoslari va oqim taqsimoti nazariyasi tahlil qilindi va uning asosida tadqiqotning maqsadi va vazifalari shakllantirildi.

Suv bilan isitish tizimlariga nisbatan massa, impuls va ichki energiyaning saqlanishi qonunlarining kvazibir o‘lchovli tenglamalari keltirib chiqarildi va issiqlik almashtirgichlarning qovurg‘alarini va oqimning ixtiyoriy gidrodinamik rejimlarini hisobga olgan holda gidravlik va issiqlik hisoblari uchun formulalar olindi.

Issiqlik tashuvchi oqim issiqlik almashtirgichning tashqi konturi bo‘ylab sodir bo‘lish, oraliq vertikal quvurchalarda esa issiqlik tashuvchi turib qolish gipotezasiga asoslanib, bir quvurli tizimga pastki chekkadagi quvurchalar orqali ulangan ko‘p seksiyali issiqlik almashtirgichning kvazi bir o‘lchovli matematik modeli ishlab chiqildi.

Qarshilikning kvadratik qonuni va Kirxgof qonunlarining analoglaridan foydalangan holda uch konturli tarmoq shaklida taqdim etilgan ko'p seksiyali issiqlik almashtirgich yo'ylaridagi sarflari va tugunlaridagi bosimni hisoblash uchun formulalar olindi.

Uchinchi turdagi chegaraviy shartlarga muvofiq oraliq vertikal quvurchalarda issiqlik almashinuvi jarayonining barqaror holati masalasining yechimi olindi, bu suvning ma'lum boshlang'ich harorati va atrof-muhit haroratida quvurning bir birlik uzunligi orqali issiqlik solishtirma yo'qotilishini aniqlash uchun ishlatilgan.

Shuxov formulasi va qo'shiluvchi oqimlarning o'rtacha haroratini aniqlash formulasi asosida bir xil tipdagi seksiyalarli issiqlik almashtirgichning issiqlik hisobi uchun algoritm ishlab chiqildi.

Magistral issiqlik o'tkazuvchi qismlaridan, soni cheklangan bir turdagi seksiyali issiqlik almashtirgichlar va atrof-muhit haroratining berilgan qiymatlaridan tashkil topgan bir quvurli suv bilan isitish tizimining issiqlik tashuvchining berilgan kirish harorati va sarfida, kirish bosimida tarmoqdagi bosim va harorat o'zgarishini aniqlab beradigan algoritm ishlab chiqilgan.

Ikki quvurli suv bilan isitish tarmog'i va unga ulangan ko'p seksiyali issiqlik almashinuvchilarining kvazi bir o'lchovli matematik modellari ishlab chiqildiki, bunda darsi-Veysbax formulasida issiqlik tashuvchi oqimining beshta gidrodinamik rejimi uchun qarshilik koeffitsientining bir hadli ko'rinishi amalga oshirilgan.

Yuqori va pastki yo'ylarning elementlari bo'yicha, shuningdek vertikal quvurchalar hamda ko'p qismli issiqlik almashtirgich va ikki qatorli tarmoqdagi ishchi suyuqlikning tugunlardagi bosimlar va haroratlar bo'yicha sarf qiymatlarini hisoblash uchun analitik formulalar olindi.

Hisoblash tajribalari asosida ko'p omilli tadqiqot ob'ektlari uchun bazaviy ma'lumotlarni tanlash ishning yutug'i hisoblanadi.

Bir va ikki quvurli isitish tarmoqlari va ularning faol elementlarini hisoblash uchun taklif qilingan formulalari va algoritmlar bo'yicha dasturiy mahsulotlar (DGU №№ 41131, 40515, 36969 va 41130) ishlab chiqildi va issiqlik tashuvchining bosimi va issiqlik yo'qotilishini aniqlash uchun namunaviy hisoblash tajribalari o'tkazildi.

Tadqiqot natijalari fundamental grantni bajarish, suv bilan isitish avtonom tarmoqlarini loyihalash va rekonstruktsiya qilish bosqichlarida foydalanilgan, natijada hisoblash aniqligi 10-15 % ga ortgan, hisoblashga ketadigan vaqt 12-20 %ga qisqartirilgan. Issiqlik tashuvchining optimizatsiyasi va tekis taqsimlanishi natijasida issiqlik energiyasi – 2 %ga tejashga erishilgan.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/30.12.2019.T/FM.61.01 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ
МЕХАНИКИ И СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ ИМ. М.Т.
УРАЗБАЕВА АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ И СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ
ИМ. М.Т. УРАЗБАЕВА АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН**

ШИРИНОВ ЗИЁМАТ ЗОЙИРОВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО И ТЕПЛОВОГО
РАСЧЕТА ОДНО- И ДВУХТРУБНЫХ СЕТЕЙ ОТОПЛЕНИЯ**

01.02.05 – Механика жидкости и газа

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2025.1.PhD/T2587.

Диссертация выполнена в Институте механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т. Уразбаева Академии Наук Республики Узбекистан.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета (instmech.academy.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Научный руководитель:	Хужаев Исматулла Кушаевич доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Худайкулов Совет Ишанкулович доктор технических наук, профессор Закиров Аскар Халилович кандидат физико-математических наук, доцент
Ведущая организация:	Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий

Защита диссертации состоится «11» июня 2025 г. в 14 часов на заседании Научного совета DSc.02/30.12.2019.T/FM.61.01 при Институте механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т. Уразбаева Академии Наук Республики Узбекистан. (Адрес: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 40, зал заседаний-428. Тел. (99855) 520-02-45; (99855) 520-04-46, e-mail: instmech@academy.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т. Уразбаева Академии Наук Республики Узбекистан (зарегистрирована за № 30). (Адрес: 100125, г. Ташкент, ул. Дурман йули, 40. Тел.(99855) 520-02-45).

Автореферат диссертации разослан «30» май 2025 года.
(реестр Протокола рассылки № 8 от «30» май 2025 года.)



М.М.Мирсаидов
Председатель Научного совета по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор, академик АН РУз

Ф.Ф.Адилов
Ученый секретарь Научного совета по присуждению ученых степеней, PhD, с.н.с.

З.М.Маликов
Председатель Научного семинара при Научном совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире последние годы большое внимание уделяется обеспечению комфортных условий для проживания и работы. Рост промышленного и жилищного строительства приводит к увеличению объемов потребления воды, газа и тепловой энергии. Удовлетворение этих потребностей за счет строительства новых инженерных сетей, а также за счет модернизации и автоматизации существующих систем способствуют уменьшению капитальных вложений. Особое внимание требует расширение объемов использования ветровой, солнечной энергии, энергии земли и тепла подземных вод. В развитых странах намечено уменьшение эксплуатационных расходов за счет увеличения эффективности систем отопления, перехода к замкнутым контурам систем и к отдельным блокам управления, сокращения энерго- и материалозатрат, перехода к автоматизированному управлению полного цикла процесса отопления. Большое внимание обращено успешному решению этих проблем, в частности, путем разработки и внедрения точных гидравлических и тепловых способов расчета отопительных систем.

В мире работы по проектированию систем отопления и управлению ими ведутся по существующим нормативным документам в интегрированной форме и на основе балансовых уравнений. В этом направлении ведутся работы по привлечению законов гидродинамики, в частности, первого и второго аналогов законов Кирхгофа, а также квазиодномерных уравнений сохранения массы, импульсы и количества тепла. Приоритетными, широкомасштабными стали направления исследований по применению сетей с закольцованными структурами и элементами управления, интенсификации процесса теплопередачи в теплообменниках, увеличению коэффициента полезного действия устройств. При этом актуальными вопросами сегодняшнего дня по проектированию, мониторингу и управлению системами отопления являются разработка адекватных математических моделей движения рабочего агента в сети сложной топологии и процессов сложного теплообмена между элементами системы и окружающей средой.

В республике ведутся широкомасштабные научно-исследовательские работы по отоплению производственных и жилых помещений, увеличению эффективности используемой энергии и по внедрению их результатов. В стратегии развития Нового Узбекистан на 2022-2026 годы¹, в частности, намечены задачи по непрерывному обеспечению отраслей экономики электрической энергией, активному внедрению технологий «Зеленой энергетики» всем отраслям и увеличению эффективности энергопользования на 20 %. Претворение в жизнь этих задач предполагает, в частности, ведения широкомасштабных работ по увеличению объемов использования

¹ Указ Президента Республика Узбекистан № УП-60 от 28.01.2022 г. „Стратегия развития Нового Узбекистан на 2022-2026 годы“

возобновляемых источников энергии и коэффициента полезного их действия в процессах отопления и хладобеспечения зданий. В связи с этим, разработка квазиодномерных математических моделей одно- и двухниточных сетей водяного отопления, а также методов их точного расчета приобретают научно-практическое значение.

Данная диссертационная работа в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28.01.2022 г. „Стратегия развитие Нового Узбекистан на 2022-2026 годы“, в Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-916 от 15 июля 2008 года «О дополнительных мерах по стимулированию внедрения инновационных проектов и технологий производства», №ПП-3682 от 27 апреля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов», а также в других нормативно-правовых актах, относящихся к данной области деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан IV. «Математика, механика, информатика».

Степень изученности проблемы. Теория тепло- и массообмена является важным разделом технической физики и научной основой отопления. Она базируется на научных дисциплинах, как гидромеханики, термодинамики и теории теплопередачи. Три вида теплопередачи – теплопроводность, конвекция и тепловое излучение успешно исследованы в связи с вновь возникающими запросами новой техники и технологий в отдельности и совместно.

Законы переноса импульса, массы и внутренней энергии (субстанций) жидкости, газа и плазмы исследуются в рамках полных уравнений Навье-Стокса, которые учитывают конвективный и диффузионный, стационарный и нестационарный переносы субстанций под воздействием внутренних и внешних факторов. Диффузионный перенос импульса, тепла и вещества имеют общую градиентную основу в виде законов (гипотез) Ньютона, Фурье и Фика. Твердое тело характеризуется отсутствием конвективного переноса, где теплопередача происходит как в рамках обычной теплопередачи Фурье, так же в рамках однофазного и двухфазного запаздывания теплопередачи, которые описываются обобщенной формулой Фурье и приводят к уравнениям гиперболического типа.

Мало работ, которые реализуют положений квазиодномерной гидродинамики при описании функционирования систем водяного отопления. Между тем, переход к одномерным уравнениям переноса массы, импульса и количества тепла способствует расширению класса задач тепломассообмена, минуя многомерных полных уравнений Навье-Стокса. Открываются новые возможности, если использовать положений

квазиодномерной гидродинамики (уравнений Н.Е. Жуковского) и потокораспределения в сложных, закольцованных системах трубопроводов в процессах расчета и проектирования управляемых и неуправляемых систем отопления. Для начала необходимо разработать способы гидравлического и теплового расчета многоконтурных сетей трубопроводов, которыми являются одно- и многотрубные инженерные коммуникационные сети.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом научно-исследовательских работ лаборатории „Механика жидкости, газа и систем гидроприводов“ Института механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т.Уразбаев АН РУз в 2020-2024 гг.

Цель работы – изучения особенностей процессов тепло- и массообмена в одно- и двухтрубных системах водяного отопления с многосекционными теплообменниками в рамках квазиодномерных уравнений переноса субстанций.

Задачи исследования:

изучение составляющих, конструкций, научных основ и существующих способов расчета систем водяного отопления;

разработка моделей и методов расчета однотрубной системы отопления и подключенных к ней многосекционных теплообменников в рамках квадратичного режима сопротивления;

разработка моделей и методов расчета двухтрубной сети водяного отопления и подключенных к ней теплообменников для произвольного гидродинамического режима течения;

определение основных параметров и изучения их влияния на тепло- и массообменные процессы в одно- и двухтрубных системах водяного отопления.

Объектом исследования являются процессы тепло- и массообмена в одно- и двухтрубных системах водяного отопления и в подключенных к ним многосекционных теплообменника.

Предметом исследования являются способы математического моделирования, гидравлического и теплового расчета одно- и двухниточных сетей водяного отопления.

Методы исследования. В ходе исследования использованы методы механики сплошных сред в одномерном представлении, положения теории потокораспределения, методы математической индукции и теплопередачи.

Научная новизна результатов исследования:

в рамках квазиодномерного описания тепло- и массообменных процессов и гипотезы о течения теплоносителя только по контуру многосекционного теплообменника, подключенного однотрубной сети водяного отопления и согласно квадратичному режиму течения, разработаны математическая модель и приближенный способ гидравлического расчета теплообменника;

предложен эффективный способ расчета процесса теплопередачи многосекционного теплообменника, основанный на формуле Шухова и на гипотезе о течении жидкости по внешнему контуру;

в рамках квазиодномерного подхода, аналогов законов Кирхгофа и положений математической индукции разработаны способы гидравлического и теплового расчета многосекционного теплообменника, подключенного к двухниточной сети отопления для произвольного гидродинамического режима течения;

на основе математической индукции разработаны способы гидравлического и теплового расчета многоконтурной двухниточной сети водяного отопления в рамках квазиодномерного подхода.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

получены формулы и разработан программный продукт для гидравлического и теплового расчета многосекционных теплообменников, подключенных к одно- и двухниточным сетям водяного отопления;

разработаны алгоритмы расчета и программные продукты для гидравлического и теплового расчета закольцованных одно- и двухниточных сетей водяного отопления;

сформирована база данных, необходимая для квазиодномерного расчета систем водяного отопления.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость полученных результатов заключается в том, что впервые представлена систематизированная картина тепло- и массообменных процессов в системах водяного отопления в приближении квазиодномерных уравнений переноса и сохранения субстанций.

Практическая значимость полученных результатов объясняется тем, что продемонстрированы возможности применения аналогов первого и второго законов Кирхгофа и формулы Шухова в процессе расчета сети многоконтурных трубопровода с одно- и разнотипными элементами.

Достоверность полученных результатов исследования обеспечена строгим использованием законов сохранения и переноса субстанций, положений теории потокораспределения и соответствием полученных результатов физике изучаемых явлений.

Внедрение результатов исследования. На основе математических моделей, алгоритмов и программных продуктов, разработанных для расчета одно- и двухтрубной систем водяного отопления:

программные продукты для расчета однетрубной сети отопления использованы в ООО „Kogon isitgich moslamalar“ (справка №24-06/11383 Министерства строительства и коммунального хозяйства Республики Узбекистан от 29 октября 2024 года). В результате определены диаметры трубопроводов по участкам, сокращено время расчета 20-25%, увеличена точность гидравлического расчета на 12-15% и достигнута экономия количества теплоты на 2-3% за счет оптимизации и равномерного расхода и теплых нагрузок;

точный метод расчета двухтрубной системы отопления и ее составляющих использованы в предприятии (справка №24-06/11383 Министерства строительства и коммунального хозяйства Республики Узбекистан от 29 октября 2024 года). В результате увеличена точность гидравлического, теплового расчета системы отопления на 10-12%, сокращено время расчета на 15-20% и достигнута экономия количества теплы на 2-3% за счет оптимизации и равномерного расхода теплоносителя.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования обсуждались на 1 международных и 5 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 19 научных работ. Из них 4 статьи в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации доктора философии (PhD) и 3 статья в зарубежных журналах. Получены 4 свидетельства об официальной регистрации программ на ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 119 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан, сформулированы цели и задачи, указаны объект и предмет исследования, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведены перечень внедрений результатов исследования в практику, сведения об опубликованных работах и о структуре диссертации.

В первой главе диссертационной работы «**О состоянии вопроса изученности процессов тепло- и массообмена в отопительных системах**» состоящий из пяти параграфов обсуждены особенности компоновки и проектирования системы водяного отопления. Рассмотрены варианты использования одно- двух- и многоточных систем отопления и их составляющих, а также системы их автоматического управления. Представлены теоретические основы и обзор работ по моделированию тепломассообменных процессов. Приведены уравнения теплопередачи с учетом и без учета конвективной теплоотдачи. Проведен анализ отдельных публикаций по процессам тепло- и массообмена в отопительных системах.

В этой главе осуществлен вывод уравнений тепло- и массопереноса в процессе трубопроводной транспортировки жидкого рабочего агента.

Закон сохранения массы описывается квазиодномерным уравнением

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho w}{\partial x} = 0. \quad (1)$$

Квазиодномерное представление закона сохранения импульса сформулировано с привлечением формулы Дарси-Вейсбаха:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial x} + \rho g \frac{dy}{dx} + \frac{\lambda}{2D} \rho |w| w. \quad (2)$$

Закон сохранения и переноса внутренней энергии $\varepsilon = c_B T$ теплоносителя описывали уравнением

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + w \frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_T \frac{\partial T}{\partial x} \right) + E_{BU} + E_t - k(T - T_{oc}) \bar{f}_{op} / f, \quad (3)$$

где, наряду теплопередачей с коэффициентом температуропроводности λ_T , учтены интенсивность стоков и источников тепла E_{BU} , диссипация кинетической энергии потока E_t , осредненный коэффициент теплоотдачи k рабочей жидкости в окружающей среде с температурой T_{oc} , площадь поперечного сечения трубопровода $f = \pi D^2 / 4$ и удельная площадь \bar{f}_{op} наружной поверхности трубопровода на 1 погонный метр.

В ходе гидравлического расчета для определения перепада давления в дуге (элементе трубопровода) использована формула

$$p_K = p_H - \frac{\lambda Q^2 \rho}{2Df^2} l - \rho g (y_K - y_H), \quad (4)$$

где индексы «H» и «K» выделяют показателей входного и конечного сечения; y – нивелирная высота оси трубопровода; ρ – плотность жидкости имеющий постоянное значение; Q – объемный расход теплоносителя; l – длина рассматриваемого участка трубопровода.

Для гидравлического расчета использовано одночленное представление коэффициента сопротивления:

$$\lambda = \zeta (k_s / D)^\theta Re^n, \quad (5)$$

где в ламинарном режиме реализуется формула Стокса ($\zeta = 64, \theta = 0, n = -1$); в переходном режиме – формула Зайченко ($\zeta = 0.0025, \theta = 0, n = 1/3$); в гладком турбулентном режиме при $k_s < 10D / Re$ – формула Блазиуса ($\zeta = 0.3164, \theta = 0, n = -1/4$); в смешанном режиме при $10 < Re k_s / D < 158$ – формула Лейбензона ($\zeta = 10^{-0.627}, \theta = 0,127, n = -0.123$); в развитом турбулентном режиме при $Re k_s / D > 158$ – формула Шифринсона ($\zeta = 0.11, \theta = 0,25, n = 0$). Обозначение k_s использовано для выражения эквивалентной шероховатости живого сечения трубопровода.

Автором удалось получить обобщение формулы Шухова с дополнительным учетом диссипации кинетической энергии жидкости для описания путевого изменения теплоносителя:

$$T(l) = T_{oc} + \frac{\lambda Q^3 \rho}{2k_{cp} D f^2 \bar{f}_{op}} + \left(T_H - T_{oc} - \frac{\lambda Q^3 \rho}{2k_{cp} D f^2 \bar{f}_{op}} \right) \exp(-Sh l) \quad (6)$$

при $Sh = \frac{k_{cp} \bar{f}_{op}}{\rho Q c_B}$. Без слагаемых $\frac{\lambda Q^3 \rho}{2k_{cp} D f^2 \bar{f}_{op}}$ данная формула впервые получена

Шуховым.

В этой главе также представлены первый и второй законы Кирхгофа применительно к трубопроводной сети.

На основе анализа ситуации по исследованию объекта и текущих проблем по сетям водяного отопления сформированы цели и задачи исследования.

Во второй главе «**Квазиодномерные способы гидравлического и теплового расчета одноконтурной системы отопления и подключенного к ней теплообменника**» сформирована математическая модель и разработан метод гидравлического расчета многосекционного теплообменника, подключенного к одноконтурной сети через нижние концы.

Современные теплообменники изготавливаются в виде отдельной секции из материала, который имеет большую теплопроводность. В каждой секции имеются вертикальные патрубки с высотой h и внутренним диаметром D_v , которые соединяются верхним и нижним горизонтальными патрубками с длиной l_c и внутренними диаметрами D_g . Чтобы увеличить поток тепла от рабочего агента в окружающую среду секции снабжаются наружными ребрами, которые увеличивают поверхность контакта с окружающей средой. Соответственно, длина теплообменника кратна длине секции $l = N l_c$, где N – количество секций в теплообменнике.

Обозначим через h_p высоту перемычек AB и CD между магистральным каналом и теплообменником. Предположим, что расход $Q = \frac{\pi D_m^2}{4} w$ распределяется между магистральным каналом (q_D), верхним (Q_B) и нижним (q_C) горизонтальными патрубками. Игнорируем потоки в средних вертикальных трубах. Тогда у нас образуется двухконтурная замкнутая сеть (рис. 1).

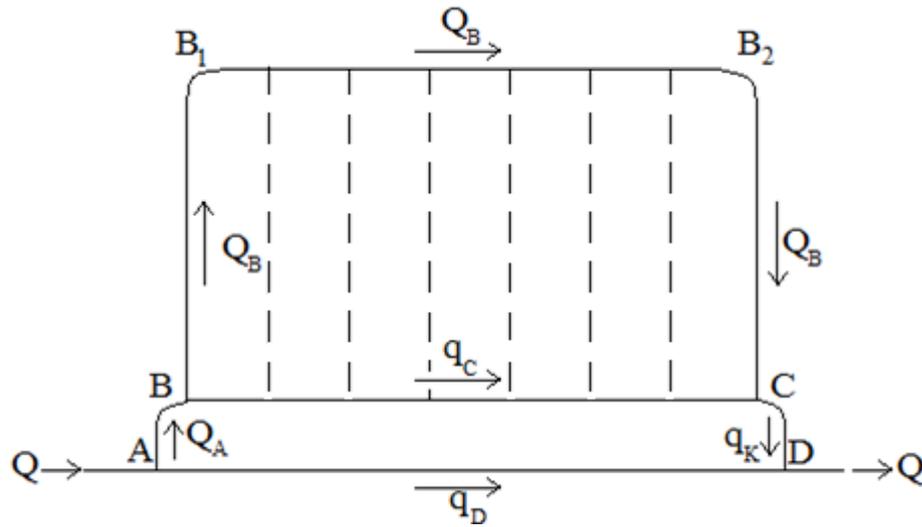


Рис. 1. Схематическое представление теплообменника, подключенного к однотрубной сети, использованное при математическом моделировании

Нижний контур имеет четырех дуг: перемычки AB и CD длинами h_p , нижний горизонтальный патрубок теплообмена BC и часть магистрального канала AD , которые имеют примерно одинаковую длину l . Входной и выходной расходы жидкости одинаковые и составляют Q . Расход дуги от A до B обозначим через Q_A , расход по верхней дуге – через Q_B , которые являются для нас неизвестными. Если найдем их значения, то расход по дуге AD вычислим как $q_D = Q - Q_A$, расход по дуге BC – как $q_C = Q_B - Q_A$, а расход по дуге CD – как $q_K = Q_A$. Эти суждения вытекают из аналога первого закона Кирхгофа – баланса массы воды в узлах разветвления и слияния.

Составлены уравнения для перепада давления: в дуге AB –

$$p_H - p_B = \frac{\lambda_p \rho h_p}{2D_p f_p} Q_A^2 = K_A Q_A^2, \quad (7)$$

в дуге AD –

$$p_H - p_K = \frac{\lambda_m \rho l}{2D_m f_m^2} q_D^2 = K_D q_D^2, \quad (8)$$

в дуге BC –

$$p_B - p_C = \frac{\lambda_g \rho l}{2D_g f_g^2} q_C^2 = K_C q_C^2, \quad (9)$$

в верхней дуге B_1C_1 –

$$p_{B_1} - p_{C_1} = \left(2 \frac{\lambda_v \rho h}{2D_v f_v^2} + \frac{\lambda_g \rho l}{2D_g f_g^2} \right) Q_B^2 = K_B Q_B^2, \quad (10)$$

в дуге CD –

$$p_C - p_K = \frac{\lambda_p \rho h_p}{2D_p f_p} q_K^2 = K_K q_K^2. \quad (11)$$

Для квадратичного режима сопротивления из системы уравнений (7)-(11) определены дуговые расходы:

$$Q_A = \frac{\sqrt{K_D}}{\sqrt{K_A + K_K + \frac{K_C K_B}{(\sqrt{K_B} + \sqrt{K_C})^2} + \sqrt{K_D}}} Q = KQ \equiv q_K,$$

$$Q_B = \frac{\sqrt{K_C}}{\sqrt{K_B} + \sqrt{K_C}} KQ, \quad q_C = Q_A - Q_B = \frac{\sqrt{K_B}}{\sqrt{K_B} + \sqrt{K_C}} KQ,$$

$$q_D = Q - Q_A = (1 - K)Q, \quad (12)$$

Также получены формулы для расчета всех узловых давлений, в том числе на выходе из участка теплообменника:

$$p_K = p_H - K_D (1 - K)^2 Q^2. \quad (13)$$

В §2.2 разработан способ теплового расчета теплообменника, подключенного к одноконтурной сети отопления.

Для определения потери тепла покоящейся в цилиндрической трубе жидкости сформулирована и решена задача о теплообмене между жидкостью и окружающей средой через толщины стенки канала при граничных условиях третьего рода:

$$-\frac{dT(r_1)}{dr} = k_B [T_{ж} - T(r_1)], \quad \frac{dT(r_2)}{dr} = k_n [T_{oc} - T(r_2)]. \quad (14)$$

Здесь $k_B = \alpha_B / \lambda_T$ и $k_n = \alpha_n / \lambda_T$; α_B , α_n – коэффициенты теплоотдачи от жидкости к стенке и от стенки в окружающую среду; λ_T – коэффициент температуропроводности материала стенки.

Получено решение уравнения $\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) = 0$ в виде функции $T(r)$.

Согласно данному решению для заданных значений $T_{ж}$ и T_{oc} построены графики $T(r_2)$, $T(r_1)$ и определена удельная интенсивность теплоотдачи в окружающую среду:

$$q_{y\partial} = -\lambda_T \frac{dT(r_2)}{dr} = \alpha_n [T(r_2) - T_{oc}] = A_0 T_{oc} + B_0 T_{ж}, \quad (15)$$

где использованы обозначения $B_0 = \alpha_n \left(1 + r_2 k_n \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_2 k_n}{r_1 k_B} \right)^{-1}$, $A_0 = -B_0$.

Используя формулы Шухова, формулы для средней температуры взаимно слиющихся потоков и формулы (15) разработан алгоритм и программа (DGU № 40515) расчета узловых температур теплообменника в соответствии полученным дуговым расходам.

Проведенный вычислительный эксперимент и анализ литературных источников позволили составить базовую информацию (вариант 0), которые дали более близкие экспериментальным данным результаты в условиях естественной конвекции: $l=0.07$ м, $h=0.6$ м, $\dot{h}_p=0.15$ м, $h_p=0.15$ м, $D_m=0.03$ м, $D_v=0.01$ м, $D_g=0.03$ м, $\dot{D}_p=0.03$ м, $D_p=0.03$ м, $\dot{D}_p=0.03$ м, $\delta_m=0.005$ м, $\delta_v=0.12$ м, $\delta_g=0.03$ м, $\dot{\delta}_g=0.20$ м, $\dot{\delta}_p=0.05$ м, $\delta_p=0.05$ м, $p_H=110000.0$ Па, $\rho=1000.0$ кг м⁻³, $\lambda_m=0.002$, $\lambda_v=0.002$, $\lambda_g=0.002$, $\dot{\lambda}_p=0.002$, $\lambda_p=0.002$, $c_B=4190.0$ Дж кг⁻¹ К⁻¹, $g=9.8$ мс⁻², $k_{cp}=7.5$ Вт м⁻² с⁻¹, $\lambda_T=200$ Вт м⁻¹ К⁻¹, $\alpha_B=3500.0$ Вт м⁻² К⁻¹, $\alpha_H=17.0$ Вт м⁻² К⁻¹, $T_{oc}=293.15$ К, $T_H=343.15$ К, $Q=1,4137$ л/с.

В §2.3 приведены результаты расчетов по базовому варианту в зависимости от количества секций в теплообменнике. Дополнительные расчеты проводили с изменением значения отдельного показателя, когда остальные данные оставались как базовые. В качестве таких показателей приняты: для массового расхода – $Q=1,4137$ л/с (вариант 1), для начальной температуры теплоносителя – $T_n=323,15$ К (вариант 2), для температуры окружающей среды – $T_{oc}=283,15$ К (вариант 3) и $T_{oc}=303,15$ К (вариант 4), для коэффициента сопротивления – $\lambda=0,005$ (вариант 5), для коэффициента теплоотдачи в участках с потоком – $k_{cp}=17,5$ Вт/м²/с и набора (вариант 6) $\alpha_B=2500,0$ Вт/м/К $\alpha_H=7,0$ Вт/м/К данных для варианта трехслойного теплообмена в вертикальных промежуточных патрубках (вариант 7), а также для толщины верхних горизонтальных патрубков – $\delta_{gv}=0,10$ м (вариант 8).

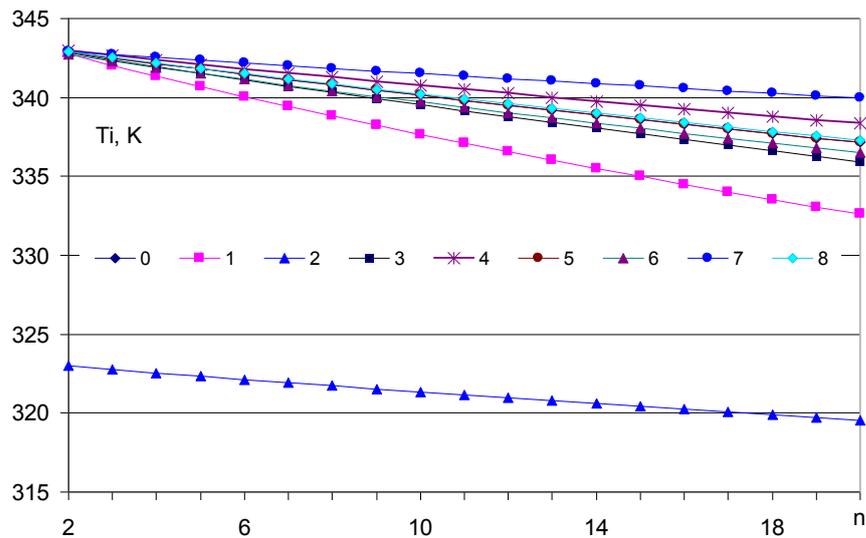


Рис. 2. Изменение выходной температуры теплоносителя в зависимости от количества секций теплообменника при изменении отдельных исходных данных

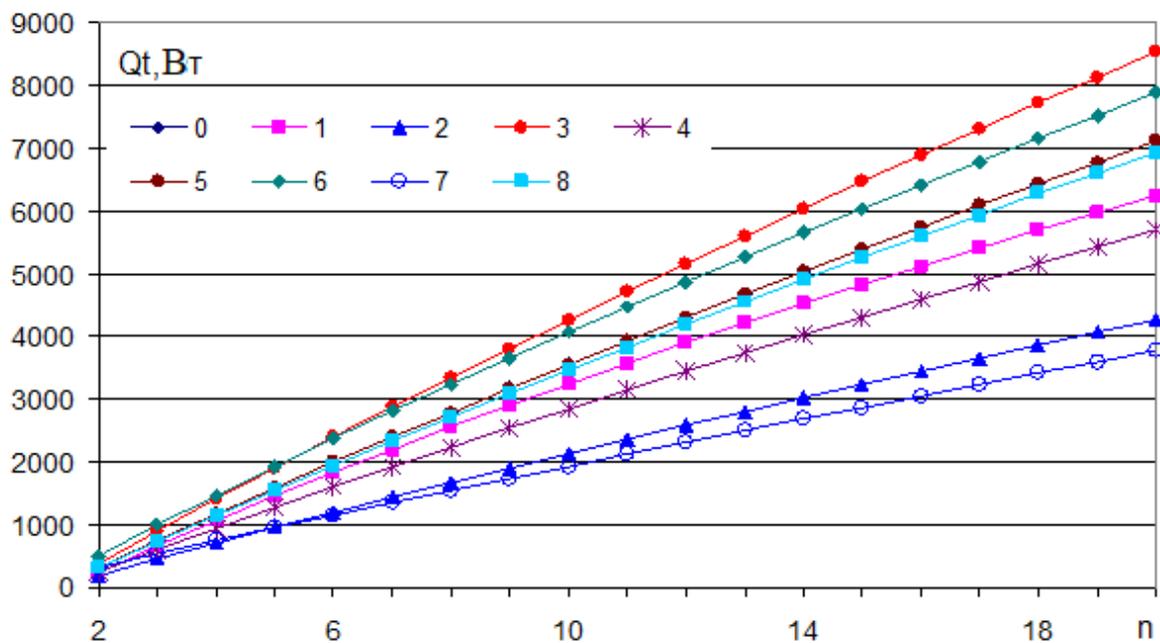


Рис. 3. Интенсивность тепловыделения Q (Вт) из участка с теплообменником в зависимости от числа секций

Проведен сравнительный анализ полученных данных в зависимости от числа секций теплообменника и изменения отдельных показателей, который демонстрировал качественное согласие результатов рассматриваемого объекта. На рис. 2 и 3 представлены кривые изменения выходной температуры теплоносителя и интенсивность тепловыделения Q (Вт) из участка с теплообменником в зависимости от количества секций.

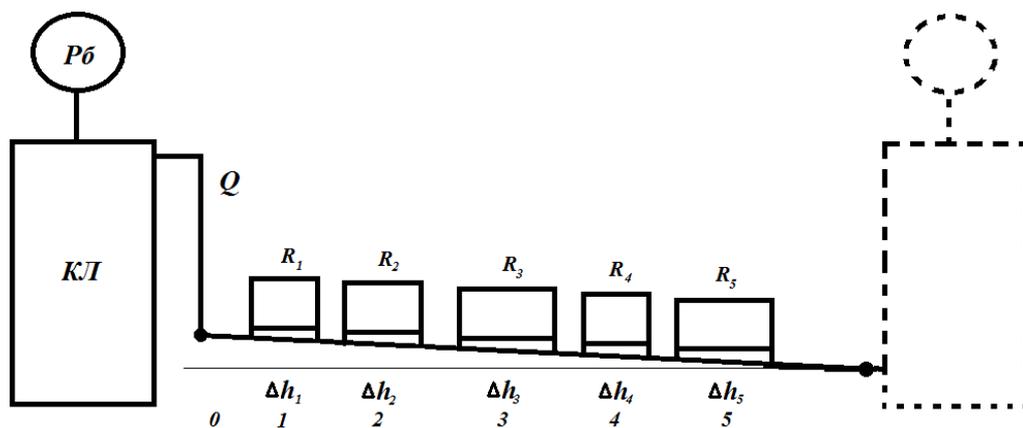


Рис. 4. Схематическое представление однотрубной сети отопления с пятью теплообменниками

Итоговые данные расчета для девяти вариантов расчета

Показатели	Варианты расчета								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Давление на выходе из сети $P_{кон}$, Па	109722.40	109930.60	109722.40	109722.40	109722.40	109306.00	109722.40	109722.40	109722.40
Температура теплоносителя на выходе из сети $T_{кон}^0$, C	64.440	59.967	55.499	63.648	65.765	64.440	62.570	66.500	64.569
Потеря количества тепла в сети $Q_{пот}$, Вт	22870.89	20635.79	18515.91	26129.84	17419.89	22870.89	30561.75	14397.52	22342.23

В §2.4 разработаны алгоритмы и программа (DGU № 41131) для гидравлического и теплового расчета однотрубной сети отопления и вычислительный эксперимент по нему. Однотрубная сеть отопления в простом варианте состоит из котла (Кл), расширительного бака (Рб) и замкнутой магистрали с теплообменниками, которая питается из верхней части котла и заканчивается подключением к нижней части котла (рис. 4). Каждый теплообменник имеет ограниченное количество одинаковых секций и установлен в среде со своей заданной температурой.

В последнем параграфе главы обсуждены результаты проведенного вычислительного эксперимента по базовому варианту и по восьми вариантам изменения отдельного показателя сети и обсуждены полученные результаты расчетов сети отопления с пятью теплообменниками. Определены дуговые

расходы и узловые температуры рабочей жидкости, как в сети, так и в отдельных теплообменниках. Ограничимся приведением итоговых данных для девяти вариантов расчета (см. табл.).

Если в этой главе при моделировании однониточной сети водяного отопления использована гипотеза об отстаивающем теплоносителе в промежуточных вертикальных патрубках теплообменника и использован квадратичный режим течения, то в третьей главе получены точные решения для гидравлического и теплового расчета двухниточной сети водяного отопления и его теплообменника в рамках казиодномерного подхода. Эта глава называется «**Математические модели и алгоритмы расчета двухтрубной отопительной сети с современными теплообменниками**».

В §3.1 сформулирована задача о гидравлическом и тепловом расчете современного многосекционного теплообменника, подключенного к двухниточной сети водяного отопления с одной стороны (рис. 5). При заданных входных значениях давления и температуры теплоносителя требуется найти соответствующих показателей на выходе из теплообменника при постоянстве объемного расхода рабочего агента.

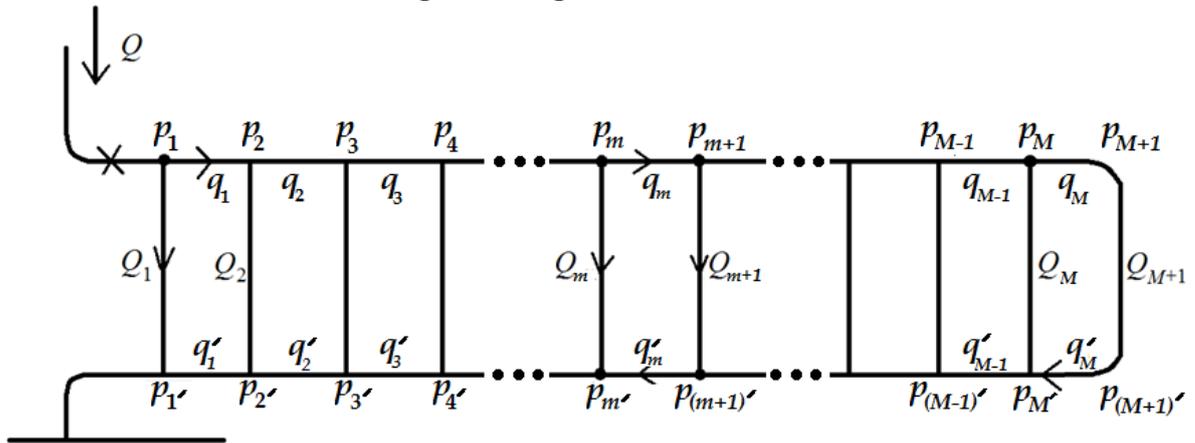


Рис. 5. Схематическое представление теплообменника, подключенного к двухтрубной сети с одной стороны

Верхние узлы теплообменника с $M + 1$ секциями упорядочим как 1, 2, ..., m , ..., M , $M + 1$, а нижние – через $1'$, $2'$, ..., m' , ..., M' , $(M + 1)'$. Расходы по вертикальным патрубкам обозначим через $Q_1, Q_2, \dots, Q_m, \dots, Q_M$. Если их значения известны, то расход жидкости по последнему справа патрубку составляет $Q_{M+1} = Q - \sum_{i=1}^M Q_i$. Дуговые расходы по верхнему патрубку составляют $q_1 = Q - Q_1$, $q_2 = Q - Q_1 - Q_2$, ..., $q_m = Q - Q_1 - Q_2 - \dots - Q_m$, ..., $q_{M-1} = Q - Q_1 - \dots - Q_m - \dots - Q_{M-2} - Q_{M-1}$ и $q_M = Q - Q_1 - Q_2 - \dots - Q_m - \dots - Q_{M-1}$. Дуговые расходы по нижней патрубке составляют $q'_M = Q_M$, $q'_{M-1} = Q_M + Q_{M-1}$, $q'_m = Q_M + Q_{M-1} + \dots + Q_m$, ..., $q'_2 = Q_M + Q_{M-1} + \dots + Q_m + \dots + Q_3$ и $q'_1 = Q_M + Q_{M-1} + \dots + Q_m + \dots + Q_3 + Q_2$.

Как видно, общий расход воды через вертикальные патрубки составляет Q . Этим мы обеспечили выполнение аналога первого закона Кирхгофа.

Узловые давления обозначим через $p_1, p_2, \dots, p_m, \dots, p_M, p_{M+1}, p_1', p_2', \dots, p_m', \dots, p_{M+1}'$. Для определения значений этих величин пользуемся аналогом второго закона Кирхгофа.

Методом математической индукции получены формулы расчета дуговых расходов и узловых давлений теплообменника с M отдельными контурами. Построена последовательность рекуррентных коэффициентов

$$r_1 = \frac{\sqrt[\alpha]{2K_g + K_v}}{\sqrt[\alpha]{K_v} + \sqrt[\alpha]{2K_g + K_v}}, r_2 = \frac{\sqrt[\alpha]{2K_g + r_1^\alpha K_v}}{\sqrt[\alpha]{K_v} + \sqrt[\alpha]{2K_g + r_1^\alpha K_v}}, \dots, r_M = \frac{\sqrt[\alpha]{2K_g + r_{M-1}^\alpha K_v}}{\sqrt[\alpha]{K_v} + \sqrt[\alpha]{2K_g + r_{M-1}^\alpha K_v}},$$

которые используются при расчете расхода жидкости по вертикальным патрубкам: $Q_1 = r_M Q, Q_2 = r_{M-1}(1-r_M)Q, Q_3 = r_{M-2}(1-r_{M-1})(1-r_M)Q, \dots, Q_m = r_{M-m+1}(1-r_{M-m+2})\dots(1-r_M)Q, \dots, Q_M = r_1(1-r_2)(1-r_3)\dots(1-r_M)Q, Q_{M+1} = (1-r_1)(1-r_2)(1-r_3)\dots(1-r_M)Q$. Эти данные позволяют определить значения расходов по верхним горизонтальным дугам: $q_1 = (1-r_M)Q, q_2 = (1-r_{M-1})(1-r_M)Q, \dots, q_m = (1-r_{M-m+1})(1-r_{M-m+2})\dots(1-r_M)Q, \dots, q_M = (1-r_1)(1-r_2)\dots(1-r_M)Q$, а также по нижним горизонтальным дугам.

С привлечением этой информации, а также приведенных выше формул гидравлического и теплового расчета определены узловые давления и температуры теплообменника.

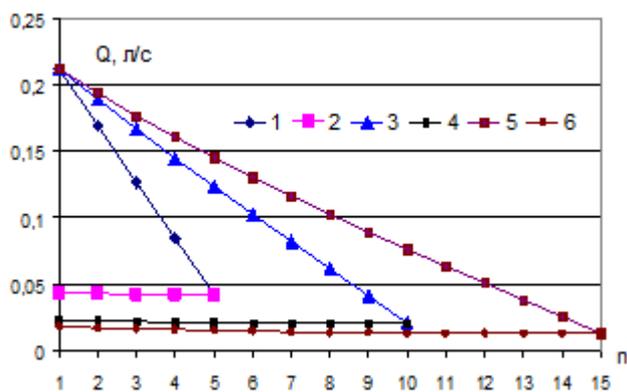


Рис. 6. Распределение объемных расходов в верхних (1, 3, 5) дугах и вертикальных патрубках (2, 4, 6) в теплообменниках с пятью, десятью и пятнадцатью секциями

соответствуют скорости общего потока в теплообменнике $w = 0.3 \text{ мс}^{-1}$, цифры 3, 4, 7, 8 0.4 мс^{-1} ; цифры 1, 3, 5, 7 – температуре окружающей среды $T_{oc} = 293.15 \text{ К}$, а цифры 2, 4, 6, 8 – 293.15 К ; цифры 1-4 коэффициенту теплоотдачи $k_{cp} = 7.5 \text{ Вт м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, а цифры 5-8 – $17.5 \text{ Вт м}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Проведен анализ изменения выходной температуры теплоносителя в зависимости от числа секций теплообменника для вариантов 1-8. Они указывают на то, что:

а) с увеличением значения осредненного коэффициента теплоотдачи интенсифицируется процесс теплоотвода (этого можно достигать также увеличением площади контакта с теплоносителем, теплообменника и воздуха);

б) при меньших расходах также наблюдается увеличение теплоотвода;

в) отопительный процесс является саморегулируемым: с возрастанием температуры окружающей среды уменьшается теплоотдача теплоносителя.

Эти суждения подтверждаются также графиками рис. 7, где представлены результаты вычислительного эксперимента по общей потере тепла через теплообменник с n секциями при перечисленных выше восьми вариантах исходных данных (DGU № 36969).

Аналогичный способ расчета двухниточной сети водяного отопления приведен в §3.4, где учитывали отдельные температуры окружающей среды, разные показатели линейных участков и количества секций теплообменников. Т.е. если результаты предыдущих параграфов относились объекту с одинаковыми показателями составляющих, то результаты данного параграфа относятся к объекту с разными показателями составляющих.

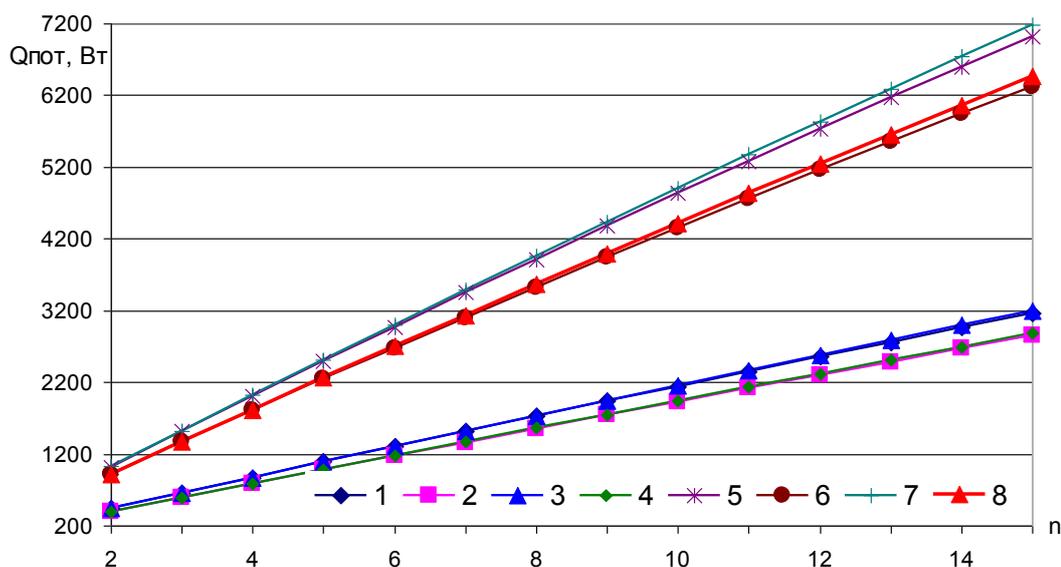
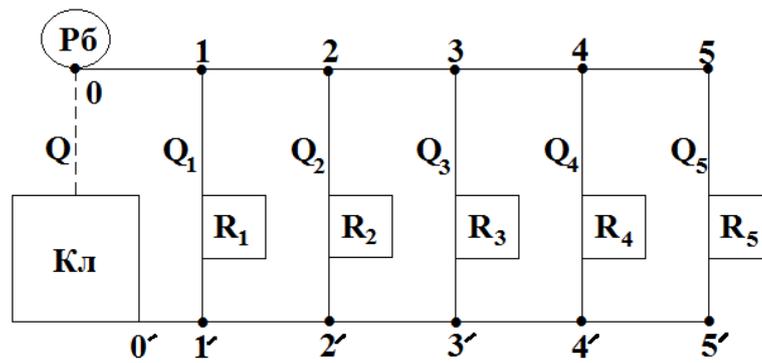


Рис. 7. Общая потеря тепла по восьми вариантам вычислительного эксперимента в зависимости от числа секций в теплообменнике



Кл – котёл; *Рб* – расширительный бачок; *Q* – общий расход на стояке; Q_1, Q_2, \dots – расходы по звеньям; 1, 2, ... – точки подключения звеньев к верхней магистрали; 1', 2', ... – точки подключения к нижней магистрали; R_1, R_2, \dots – теплообменники

Рис. 8. Схематическое представление двухтрубной сети отопления с пятью теплообменниками

На основе положений математической индукции, получены формулы для гидравлического и теплового расчета двухниточной сети отопления. Материалы параграфа использованы при разработке программного продукта (DGU № 41130). В диссертации приведены результаты проведенного многовариантного вычислительного эксперимента.

Полученные во второй и третьей главах диссертации результаты позволяют определить необходимость включения в сеть нагнетателя и его мощности (при наличии на его необходимость), а также мощность водогрейного котла. Простота предложенных способов расчета в рамках алгебраических вычислений открывает путь к непосредственному применению к стадии проектирования теплоснабжения многоэтажных жилых помещений и многоцеховых предприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов исследований диссертации по теме «Разработка методов гидравлического и теплового расчета одно- и двухтрубных сетей отопления» формулированы следующие основные выводы.

Проведен анализ составляющих, технологии проектирования системы водяного отопления, теоретических основ моделирования отопительных систем и теории потокораспределения, на основе которого сформулированы цель и задачи исследования.

Применительно к системам водяного отопления выведены квазиодномерные уравнения законов сохранения массы, импульса и внутренней энергии и получены формулы гидравлического и теплового расчета с учетом гидродинамических режимов течения и обребрения теплообменников.

На основе гипотезы, что поток теплоносителя происходит по внешнему контуру теплообменника, а в промежуточных вертикальных патрубках теплоноситель отстаивает, разработана квазиодномерная математическая

модель многосекционного теплообменника, подключенного к однопиточной сети по нижним крайним патрубкам.

С применением квадратичного закона сопротивления и аналогов законов Кирхгофа получены формулы для расчета дуговых расходов и узловых давлений в многосекционном теплообменнике, который представлен в виде трехконтурной сети.

Получено решение задачи об установившемся режиме процесса теплообмена в промежуточных вертикальных патрубках согласно граничным условиям третьего рода, которое использовано при определении удельной потери тепла через единичной длины трубы при заданных начальной температуры и температуры окружающей среды.

На основе формулы Шухова и формулы для определения средней температуры слиющихся потоков разработан алгоритм теплового расчета теплообменника с однотипными секциями.

Разработан алгоритм расчета однопиточной сети отопления, состоящей из участков магистрального теплопроводника, ограниченного количества теплообменников с однотипными секциями и с заданными значениями температуры окружающей среды, который при заданных входных температуры и расхода теплоносителя, входного давления позволяет определить перепады давления и температуры теплоносителя в сети.

Разработаны квазиодномерные математические модели двухпиточной сети водяного отопления и подключенных к ней многосекционных теплообменников, где в формуле Дарси-Вейсбаха реализовано одночленное представление коэффициента сопротивления для пяти гидродинамических режимов течения теплоносителя.

Получены аналитические формулы для расчета значений расхода по элементам верхней и нижней дуг, а также по вертикальным патрубкам, и узловых давлений и температуры рабочей жидкости в многосекционном теплообменнике и двухпиточной сети.

Успехом работы является выбор базовых данных для многофакторных объектов исследования, которые использованы в ходе вычисленного эксперимента.

По предложенным формулам и алгоритмам расчетов одно- и двухпиточных сетей и их активных элементов разработаны программные продукты (DGU №№ 41131, 40515, 36969, и 41130) и проведены вычислительные эксперименты по определению потери давления и тепла теплоносителя в примерных расчетах.

Результаты исследования использованы в ходе выполнения фундаментального гранта и в этапах проектирования и реконструкции автономных систем водяного отопления, в результате чего точность расчета увеличена 10-15%, а время расчета сокращено на 12-20%. В результате оптимизации и равномерного распределения теплоносителя достигнута экономия тепловой энергии на 2%.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc. 02/30.12.2019.T/FM.61.01 AWARDING
THE SCIENTIFIC DEGREE AT THE INSTITUTE OF MECHANICS AND
SEISMIC STABILITY OF STRUCTURES NAMED AFTER M.T.
URAZBAEV UZBEKISTAN ACADEMY OF SCIENCES**

**INSTITUTE OF MECHANICS AND SEISMIC STABILITY OF
STRUCTURES NAMED AFTER M.T. URAZBAEV UZBEKISTAN
ACADEMY OF SCIENCES**

SHIRINOV ZIYOMAT ZOYIROVICH

**DEVELOPMENT OF METHODS FOR HYDRAULIC AND THERMAL
CALCULATION OF ONE- AND TWO-PIPE HEATING NETWORKS**

01.02.05 – Mechanics of liquid and gas

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2025

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under the number B2025.1.PhD/T2587

The dissertation has been prepared in the Institute of Mechanics and Seismic stability of structures named after M.T.Urazbaev, Uzbekistan Academy of Sciences.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of Scientific Council (instmech.academy.uz) and on the information-educational portal "ZiyoNet" at the address (www.ziynet.uz.)

Scientific adviser:	Khujaev Ismatulla Kushaevich Doctor of Technical Sciences, professor
Official opponents:	Khudaykulov Savet Ishankulovich Doctor of Technical Sciences, professor Zakirov Askar Khalilovich Candidate of Physical-Mathematical Sciences, docent
Leading organization:	Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi

Defense will take place «11» june 2025 at 14 the meeting of the Scientific Council DSc.02/30.12.2019.T/FM.61.01 at the Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures named after M.T.Urazbaev, Uzbekistan Academy of Sciences (Address 100125, Tashkent, Durman yuli street 40, Conference hall – 428. Tel: (99855) 520-02-45; (99855) 520-04-46, e-mail:instmech@academy.uz).

Dissertation is possible to review in Information-resource center of the Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures named after M.T.Urazbaev, Uzbekistan Academy of Sciences (registration number №. 30). (Address: 1000125, Tashkent, st. Durmon Yuli, 40. Tel. (99855) 520-02-45).

Abstract of the dissertation sent out on "30" May 2025 y.
(mailing report №. 8 on "30" May 2025 y.)



M.M.Mirsaidov
Chairman of the Scientific Council
for awarding scientific degrees, doctor
of technic sciences, professor,
academician

F.F.Adilov
Scientific secretary of Scientific Council
for awarding scientific degrees, PhD

Z.M.Malikov
Chairman of the council seminar at the
Scientific Council for the awarding
degrees, doctor of technical sciences

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research is to study the features of heat and mass transfer processes in single- and double-pipe water heating systems with multi-section heat exchangers within the framework of quasi-one-dimensional equations of substance transfer.

The object of the research work is the processes of heat and mass exchange in single- and double-pipe water heating systems and in multi-section heat exchangers connected to them.

The scientific novelty of the work is as follows:

within the framework of a quasi-one-dimensional description of heat and mass transfer processes and a hypothesis about the flow of the coolant only along the contour of a multi-section heat exchanger connected to a single-pipe heating network and according to a quadratic flow regime, a mathematical model and an approximate method for hydraulic calculation of the heat exchanger have been developed;

a method for thermal calculation of a multi-section heat exchanger connected to the network through the lower branches has been proposed, based on the Shukhov formula and on the hypothesis of fluid flow along the external contour, and in the intermediate vertical branches the temperature of the coolant is determined by the establishment method;

within the framework of a quasi-one-dimensional approach, analogs of Kirchhoff's laws, and the provisions of mathematical induction, accurate methods for hydraulic and thermal calculation of a multi-section heat exchanger connected to a two-line heating network on one side for an arbitrary hydrodynamic flow regime have been developed;

Based on mathematical induction, methods for hydraulic and thermal calculation of a multi-circuit two-thread water heating network have been developed within the framework of a quasi-one-dimensional approach.

Implementation of research results. Based on mathematical models, algorithms and software products developed for calculating single- and double-pipe water heating systems:

software products for calculating a single-pipe heating network were used in OOO "Kogon isitgich moslamalar" (Certificate No. 24-06/11383 of the Ministry of Construction and Public Utilities of the Republic of Uzbekistan dated October 29, 2024). As a result, the diameters of pipelines by sections were determined, the calculation time was reduced by 20-25%, the accuracy of hydraulic calculation was increased by 12-15% and heat savings were achieved by 2-3% due to optimization and uniform consumption and heat loads;

an accurate method for calculating a double-pipe heating system and its components were used in the enterprise (Certificate No. 24-06/11383 of the Ministry of Construction and Public Utilities of the Republic of Uzbekistan dated October 29, 2024). As a result, the accuracy of hydraulic, thermal calculation of the heating system was increased by 10-12%, the calculation time was reduced by

15-20% and heat savings were achieved by 2-3% due to optimization and uniform consumption of the coolant.

Volume and structure of dissertation. The dissertation consists of an introduction, three chapters, conclusion, references and appendices. The dissertation volume is 119 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (I часть; I part)

1. Хужаев И.К., Ширинов З.З. Гидравлический и тепловой расчет многосекционного теплообменника, работающего в однотрубной сети теплоснабжения // Механика муаммолари, 2023, №4. – С. 43-54. (05.00.00; № 6)
2. Ширинов З.З., Хужаев И.К., Моделирование процесса теплообмена на элементарном участке цилиндрического трубопровода // Ҳисоблаш ва амалий математика муаммолари, 2023, № 6. – С. 38-48. (05.00.00; № 23)
3. Хамдамов М.М., Ширинов З.З. Математическое моделирование процессов в цилиндрической камере сгорания в программном пакете Ansys Fluent // Механика муаммолари, №4, 2022. – С. 90-97. (05.00.00; № 6)
4. Shirinov Z.Z., Ravshanov Sh.A. Mathematical models and algorithms for calculating a two-pipe heating network with modern heat exchangers // International Journal of Informatics and Data Science Research. Vol 2, № 4, 2025. - С.150-165. (05.00.00; № 14)
5. Khujaev I.K, Shirinov Z.Z. Algorithm for hydraulic and thermal calculation of a two-pipe heating network based on quasi-one-dimensional modeling // Central Asian journal of mathematical theory and computer sciences. Vol 2, № 3, 2025. - С.105-121. (05.00.00; ResearchBib №14)
6. Хужаев И.К., Ширинов З.З., Бегимов О.М. Квазиодномерное моделирование однотрубной системы водяного отопления // Muhammad al-Horazmiy avlodlari, 2024, №3(29). – С. 211-218. (05.00.00; № 10)
7. Хужаев И.К., Ширинов З.З. Упрощенный способ расчета участка однотрубной сети отопления с современным теплообменником // Universum: технические науки, 2024. 8(125). – С. 25-37. DOI - 10.32743/UniTech.2024.125.8.18044. (05.00.00; ResearchBib №14)

II bo'lim (II часть; II part)

8. Shirinov Z. Thermal Calculation of a Modern Multi-Section Heat Exchanger // International Conference: “Ensuring Seismic Safety and Seismic Stability of Buildings and Structures, Applied Problems of Mechanics” AIP Conf. Proc. 3265, 060005-1–060005-8; <https://doi.org/10.1063/5.0265498>
9. Khujaev I., Mamadaliev Kh., Aminov Kh., Shirinov Z. Post-pass regime at stationary functioning of main gas pipelines // International Scientific and Practical Conference on “Modern Problems of Applied Mathematics and Information Technology (MPAMIT2022)” AIP Conf. Proc. 3004, 060010-1–060010-8; <https://doi.org/10.1063/5.0200002>
10. Хужаев И.К., Ширинов З.З. Исследование газодинамического состояния трубопровода // “Амалий математика ва ахборот

технологияларининг замонавий муаммолари” халқаро илмий-амалий анжумани, Бухоро, 11-12 май, 2022. – Б. 371-372.

11. Хужаев И.К., Ширинов З.З. Вывод уравнений тепло- и массопереноса при трубопроводной транспортировке жидкого рабочего агента // Международной научно-практической конференции «Актуальные задачи математического моделирования и информационных технологий», Нукус, 2-3 мая, 2023. – С. 334-336.

12. Хужаев И.К., Ширинов З.З., Гофуров М.Р. О выводе уравнений тепло- и массопереноса при трубопроводной транспортировке жидкого рабочего агента // Международная научно-практическая конференция «Рахматулинские чтения», Ташкент, 26-27 мая, 2023. – С. 85-86.

13. Khujaev I.K., Shirinov Z.Z., Ravshanov Sh.A. Mathematical model and calculation algorithm modern heat exchanger connected to a two-pipe heating network // Mechanics, Seismic Resistance, Mechanical Engineering on the problems of “Ensuring Seismic Safety and Seismic Resistance of Buildings and Structures, Solving Applied Problems of Mechanics”. Volume III. Tashkent. May 27-29, 2024. – Pp. 136-145.

14. Хужаев И.К., Ширинов З.З., Жумаев Ж. Тепловой расчет современного многосекционного теплообменника, подключенного к сети с одной стороны // Научный вестник Бухарского государственного университета, 2024/7 (112). – С. 105-114. (01.00.00; № 3)

15. Shirinov Z.Z. Thermal calculation of a modern multi-section heat exchanger // Mechanics, Seismic Resistance, Mechanical Engineering on the problems of “Ensuring Seismic Safety and Seismic Resistance of Buildings and Structures, Solving Applied Problems of Mechanics”. Volume III. Tashkent. May 27-29, 2024. Pp. 122-130.

16. Хужаев И.К., Эргашев Д.Й., Ширинов З.З. Гидравлический и теплофизический расчет современного теплообменника в однетрубной сети. ЕНМ dasturi uchun guvohnoma. № DGU 41131, 2024.

17. Xujayev I.K., Ravshanov Sh.A., Shirinov Z.Z. Radiatorlar ketma-ket ulangan issiqlik ta'minoti tarmog'ining gidravlik va teplofizik hisobi. DGU 41130, 2024.

18. Xujayev I.K., Shirinov Z.Z. Ikki chiziqli tarmoqdagi zamonaviy issiqlik almashtirgichni hisobi. DGU 36969, 2024.

19. Xujayev I.K., Shirinov Z.Z. NN radiatorlar ketma-ket ulangan issiqlik ta'minoti tarmog'ining gidravlik va teplofizik hisobi. DGU 40515, 2024.

Avtoreferatning o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi nusxalari
«Mexanika muammolari» ilmiy jurnali
tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi

Bosishga ruxsat etildi: