

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS  
TA‘LIM VAZIRLIGI**

**ISLOM KARIMOV NOMLI TOSHKENT DAVLAT  
TEXNIKA UNIVERSITETI**

**TERMODINAMIKA  
fanining**

**ISSIQLIK UZATILISHI**

**qismidan o‘quv qollanma**

Toshkent- 2018

«Termodinamika» fanining “Issiqlik uzatilishi” qismi bo‘yicha o‘quv qo‘llanma. M.M.Alimova, L.O.Alimova, F.Sh.Umardjanova, S.R.Axmatova. Toshkent, ToshDTU, 2018. 128 b.

Ushbu o‘quv qo‘llanma issiqlik almashinuvi turlari: issiqlik o‘tkazuvchanlik, issiqlik beruvchanlik, nurlanish va ularning qonunlari, koeffitsiyentlari, qaynash va kondensatsiyada issiqlik beruvchanlik, issiqlik almashinuvi apparatlari va ularning turlari, ularning issiqlik va gidravlik hisoblari to‘liq bayon etilgan.

“5310100 – Energetika (issiqlik energetikasi)” yo‘nalishida ta’lim oluvchi talabalar uchun dastlabki ma’lumotlar va ilova materiallar ma’lumotlari keltirilgan.

*Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy-uslubiy kengashi qarori bilan chop etildi.*

Taqrizchilar:

Anarbayev A.I.- AO O‘zbekenergo ITM laboratoriya mudiri, t.f.n.

Badalov A. - «Energetikada tizimlarni boshqarish va nazorat qilish» kafedrasida dotsenti, t.f.n.

Issiqlik va elektr energiyasini tejash va ulardan to‘g‘ri foydalanish chora-tadbirlari davlat ahamiyatidagi siyosiy-iqtisodiy muammo darajasiga chiqdi. Ushbu muammolarni hal etishda yosh mutaxassis kadrlaro‘quv qo‘llanmalari va darsliklarning tutgan o‘rni boshqachadir.

Ushbu o‘quv qo‘llanmada issiqlik uzatish turlari, qaynash va kondensatsiya jarayonlari, nurlanish va unung qonunlari, issiqlik almashinuv apparatlari haqida ma’lumotlar berilgan.

Мероприятия по сбережению и правильному использованию электрической и тепловой энергии стали политико-экономической проблемой государственной важности. В решении данных проблем особую роль играют учебники и учебные пособия для подготовки молодых специалистов.

В данном учебном пособии приведены сведения о видах теплопередачи, процессах кипения и конденсации, излучении и его законах, аппаратах теплообмена.

Measures to save and properly use electric and thermal energy have become a political and economic problem of state importance. In solving these problems a special role is played the textbooks and tutorials for the training of young specialists.

In this tutorial, you will find information on the types of transmission of thermal energy, processes of boiling and condensation, irradiation and Irradiation and its rules, heat exchangers.

## K i r i s h

Insoniyat o'zining tarixiy taraqqiyoti mobaynida turli tuman hayotiy ehtiyojlarini qondirish uchun ma'lum darajada issiqlik energiyasidan foydalanib kelgan.

Bu dastlab odamlarning o'zlarini sovuqdan muhofaza qilish masaladida turli himoya vositalaridan foydalanish, quyosh nurlanishidan tabiiy holda yoki gulxan yoqib isitish tarzida bo'lgan bo'lsa, keyinchalik ovqat pishirishdan boshlab to issiqlik energiyasini sanoati miqyoslarida ishlab chiqarish va undan energetika, isitish ta'minoti tizimlari, oziq-ovqat mahsulotlarini qayta ishlash sanoati va shunga o'xshash qator iste'molchilarning ehtiyojlarini qondirish uchun zamonaviy va avtomatlashtirilgan texnikaviy vositalardan foydalanish darajasigacha kelib yetdi.

XX asrning oxirlariga kelib sayyoramizda issiqlik energiyasi ishlab chiqarish ko'lamlari shu darajaga borib yetdiki, endi u bir tomondan kurrai zaminimizda bir necha o'n million yillar davomida shakllangan yoqilg'i zaxiralarini tugash muddatlarini tezlashtirgan bo'lsa, ikkinchi tomondan atrof-muhitning yonish mahsulotlari bilan ifloslanish darajasining keskin oshishi va natijada sayyoramiz iqlimining sezilarli o'zgarishlarga olib keldi. Tabiiyki, insoniyat taraqqiyoti uchun salbiy bo'lgan mazkur jarayonlarning bundan keyingi jadal rivojlanishlarining oldini olishning asosiy yo'nalishlaridan biri hosil qilingan issiqlik energiyasidan xalq xo'jaligining turli sohalarida oqilona va samaraliroq foydalanishdir. Bu muammoning ijobiy hal qilinishi ma'lum darajada issiqlik energiyasini ishlab chiqarish va undan foydalanishga asoslangan texnikaviy vositalarda ro'y beradigan issiqlik uzatish va qabul qilish jarayonlarining chuqur tahlil qilinishi, aniq hisoblanishi va zarur hollarda tegishli tajribaviy izlanishlarning bajarilishini taqozo qiladi.

Issiqlik almashinish nazariyasi issiqlikning tarqalish va bir jismdan ikkinchi jisimga uzatilish qonuniyatlari to'g'risidagi fan bo'lib, texnikaviy termodinamika fani bilan birgalikda issiqlik texnikasining nazariy asoslarini tashkil qiladi.

Ma'lumki, issiqlik tabiiy holda faqat harorati yuqori bo'lgan (ya'ni issiq) jismlardan harorati past bo'lgan (ya'ni sovuq) jismlarga o'tadi va mazkur jarayon natijasida issiq jismlar soviydi va sovuq jismlar isiydi. Ammo biz uchun dastlab juda oddiy bo'lib tuyulgan bu jarayon aslida yetarlicha murakkab bo'lgan va mexanizmlari turlicha bo'lgan issiqlik o'tkazuvchanlik, konvektiv issiqlik almashinish va nurlanish kabi issiqlik almashinish jarayonlari majmuasidan iboratdir. Issiqlik o'tkazuvchanlik jarayoni issiqlikning jismlarning harorati yuqori bo'lgan qismlaridan harorati past bo'lgan qismlariga mazkur jismlar mikroskopik zarrachalarning issiqlik

harorati vositasida uzatilishiga asoslanadi. Bu jarayon issiqlik texnikasida ayrim hollarda konduktiv issiqlik uzatish jarayoni deb ham nomlanadi va ideal holda faqat qattiq jismlarga xosdir. Suyuqliklar va gazlarda issiqlik uzatilishi ularni tashkil qiluvchi makroskopik jismlarining o'zaro aralashuvi natijasida amalga oshiriladi va bu jarayon konvektiv issiqlik almashinish jarayoni deb ataladi. Odatda konvektiv issiqlik almashinish jarayoni issiqlik o'tkazuvchanlik jarayoni bilan uyg'unlashgan holda ro'y beradi. Nurlanish orqali issiqlik almashinish jarayoni issiqlikning issiq jismlardan sovuq jismlarga elektromagnit to'lqinlari vositasida uzatilishiga asoslanadi. Qattiq jism sirti bilan gaz yoki suyuqliklar o'rtasidagi issiqlik almashinish jarayoni odatda ularning bir - biroviga tegib issiqlik almashinishida tashqari nurlanish vositasida ham amalga oshishi ham mumkin. Bunday jarayon issiqlik texnikasida radiatsion konvektiv issiqlik almashinish jarayoni deb nomlanadi va yuqorida ta'riflangan va turli tabiatga ega bo'lgan uchchala jarayonni ham o'z ichiga oladi. Turmushda va texnikaning turli sohalarida eng ko'p uchraydigan issiqlik almashinish jarayonlaridan biri qattiq jismdan iborat devor bilan ajratib qo'yilgan. Ikki suyuq yoki gazsimon muhitlar o'rtasida ro'y beradigan jarayon bo'lib, bunday jarayon issiqlik texnikasi nazariyasi va amaliyotida issiqlik uzatish jarayoni deb nomlanadi. Ko'pchilik holatlarda issiqlik uzatilish jarayoni bug'lanish, kondensatsiya kabi ma'lum modda uzatilishi jarayonlari bilan uyg'unlashgan holda ro'y beradi va bunday jarayon issiqlik va massa almashinuv jarayoni deb nomlanadi.

# 1. ISSIQLIK O‘TKAZUVCHANLIK

## 1.1. Issiqlik o‘tkazuvchanlik

Yuqorida qayd qilinganidek, issiqlikning jismlarning harorati yuqori bo‘lgan qismlaridan harorati past bo‘lgan qismlariga mazkur jismlar mikroskopik zarrachalarning issiqlik harakati tufayli uzatilishiga asoslangan jarayon issiqlik o‘tkazuvchanlik jarayoni deb ataladi.

### Haroratlar maydoni

Jismlarning issiqlik holatlarining harorati ( $T, t$ ) bilan belgilanadi. Issiqlik o‘tkazuvchanlik mexanizmiga asoslangan issiqlik uzatilish jarayonida jismlarning turli nuqtalarining harorati turlicha bo‘ladi va uzluksiz o‘zgarib turadi. Jism nuqtalari haroratlarining barcha qiymatlari majmuasiga mazkur jismning harorat maydoni deyiladi. Jismlarning harorati bir ( $x$ ), ikki ( $x; u$ ) va uch ( $x; y; z$ ) koordinata o‘qlari bo‘ylab o‘zgarishi mumkinligi sababli ularning harakat maydoni ham mos ravishda bir, ikki va uch o‘lchamli bo‘lishi mumkin.

Agar jismlarning harorat maydoni vaqtga ( $\tau$ ) bog‘liq ravishda o‘zgarib tursa, bunday maydon nostatsionar, nobarqaror harorat maydoni deyiladi va

$$t = f(x, y, z, \tau) \quad (1.1)$$

tenglama bilan ifodalanadi(1.1), ifoda uch o‘lchamli nobarqaror harorat maydoni ifodasi hisoblanadi. Agar jismlarning harorati 2ta o‘q va vaqt bo‘yicha o‘zgarsa bunday harorat maydoni ikki o‘lchamli deyiladi, quyidagicha aniqlanadi:

$$t = f(x, y, \tau) \quad (1.2)$$

Agar jismlarning harorati 1ta o‘q va vaqt bo‘yicha o‘zgarsa bunday harorat maydoni bir o‘lchamli deyiladi, quyidagicha aniqlanadi:

$$t = f(x, \tau) \quad (1.3)$$

Harorat maydoni vaqtga bog‘liq bo‘lmasa, bunday maydon statsionar yoki barqaror harorat maydoni deyiladi va

$$t = f(x, y, z) \quad (1.4)$$

tenglama bilan ifodalanadi. (1.4) ifoda uch o'lchamli barqaror harorat maydoni ifodasi hisoblanadi.

Agar jismlarning harorati 2 ta o'q bo'yicha o'zgarsa bunday harorat maydoni ikki o'lchamli barqaror harorat maydoni deyiladi, quyidagicha aniqlanadi:

$$t = f(x, y, z) \quad (1.5)$$

Agar jismlarning harorati bitta o'q bo'yicha o'zgarsa bunday harorat maydoni bir o'lchamli barqaror harorat maydoni deyiladi, quyidagicha aniqlanadi:

$$t = f(x, y, z) \quad (1.6)$$

## 1.2. Haroratlar gradiyenti

Jismlarning bir xil haroratli nuqtalarini tutashtiruvchi sirtlar izotermik sirtlar deyiladi va ular tekislik, silindr, shar, ellipsoid va shunga o'xshash sirtlar shaklida bo'lishi mumkin.

Agar jismning ikkita  $F_1$  va  $F_2$  izotermik sirtlarining haroratlari mos ravishda  $t_1$  va  $t_2$  hamda  $t_1 > t_2$  bo'lsa, issiqlik  $F_1$  sirdan  $F_2$  sirtga o'tadi  $F_1$  sirdan  $F_2$  sirtga uzatilgan issiqlik oqimi  $Q$  mazkur sirtlar haroratlarining ayirmasi  $\Delta t = t_1 - t_2$  va oralaridagi masofaga ( $\Delta n$ ) bog'liq bo'lib  $Q$  ning eng katta qiymati mazkur sirtlarga nisbatan normal ( $n$ ) yo'nalishida bo'ladi.

Izotermik sirtlar haroratlari ayirmasining mazkur sirtlar orasidagi masofaga nisbatining ( $\Delta t / \Delta n$ )  $\Delta n \rightarrow 0$  ga intilgandagi limitiga haroratlar gradiyenti deb ataladi va quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\lim_{\Delta n \rightarrow 0} \frac{\Delta t}{\Delta n} = \frac{\delta t}{\delta n} = \text{grad } t = \nabla t \quad (1.7)$$

Haroratning ortish yo'nalishi harorat gradiyentining musbat yo'nalishi hisoblanadi. Issiqlik tabiiy holda faqat harorati yuqori bo'lgan sirdan harorati past bo'lgan sirtga, ya'ni haroratning kamayish yo'nalishida uzatilishi mumkinligi sababli issiqlik oqimi bilan harorat gradiyenti o'zaro qarama-qarshi yo'nalishda bo'ladi.

## 1.3. Issiqlik o'tkazuvchanlikning asosiy qonuni

Issiqlik oqimi ( $Q$ ) deb vaqt birligi ( $\Delta \tau$ ) ichida ma'lum bir sirt orqali o'tayotgan issiqlik miqdoriga ( $\Delta Q$ ) aytiladi.

$$Q = \frac{\Phi}{\tau} [Vt] \quad (1.8)$$

Issiqlik oqimining (Q) mazkur oqim o'tayotgan sirtning ko'ndalang kesim yuzasiga (F) nisbati bilan o'lchanadigan kattalik issiqlik oqimining zichligi (q) deb ataladi, ya'ni

$$q = \frac{Q}{F}, \quad \frac{Vt}{m^2} \quad (1.9)$$

Issiqlik oqimi va uning zichligi vektor kattalik bo'lib, ularning yo'nalishi issiqlikning tarqalish yo'nalishida bo'ladi.

Yuqorida bayon qilingan mulohazalardan issiqlik uzatuvchanlik vositasida uzatilgan issiqlik oqimi harorat gradieyntiga va issiqlik oqimi o'tayotgan sirtning ko'ndalang kesim yuzasiga to'g'ri mutanosibligi kelib chiqadi, ya'ni

$$Q = -\lambda F \frac{\delta t}{\delta n}. \quad (1.10)$$

Agar uzatilgan issiqlik oqimining birlik yuzaga nisbatini oladigan bo'lsak

$$q = -\lambda \frac{\delta t}{\delta n}. \quad (1.11)$$

tenglama kelib chiqadi va u issiqlik o'tkazuvchanlik asosiy qonunining matematik ifodasi bo'lib, issiqlik texnikasida Fur'ye qonuni deb nomlanadi. (1.10) va (1.11) tenglamalardagi «minus» ishorasi issiqlik oqimi bilan harorat gradiyenti vektoralarining yo'nalishlari qarama - qarshi ekanligini bildiradi. Mazkur tenglamalardagi mutanosiblik koeffitsiyenti  $\lambda$  jismning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti deb ataladi va quyidagicha aniqlanadi:

$$\lambda = - \frac{\varphi}{F \frac{\delta t}{\delta n} \tau} = - \frac{q}{\frac{\delta t}{\delta n}}. \quad (1.12)$$

(1.12) ifodadan ko'rinib turibdiki, u son jihatdan vaqt birligi ichida issiqlik oqimi yo'nalishiga tik bo'lgan birlik yuzadan harorat gradiyenti bir birlikka teng bo'lgandagi o'tadigan issiqlik miqdorini ifodalaydi. Bundan issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti jismlarning o'zlari orqali issiqlik o'tkaza olish qobiliyatini ko'rsatadigan fizikaviy kattalik ekanligi kelib chiqadi. Issiqlik



oʻtkazuvchanlik koeffitsiyentining son qiymati moddalarning tarkibiy tuzilishi, zichligi, namligi, bosim va haroratga bogʻliq boʻlib, turli xil moddalar uchun maxsus tajribalar yordamida aniqlanadi. Olingan natijalar asosida turli moddalarning issiqlik oʻtkazuvchanlik koeffitsiyentlari boʻyicha maxsus maʼlumotnomalar tayyorlanadi.

Issiqlik oʻtkazish jarayonlarini aniq hisoblash uchun moddalar issiqlik oʻtkazuvchanlik koeffitsiyentining haroratga bogʻliqligini eʼtiborga olish talab qilinadi. Tajribalar natijasiga koʻra koʻpchilik moddalar uchun bunday bogʻliqlik

$$\lambda = \lambda_0 (1 + at) \quad (1.13)$$

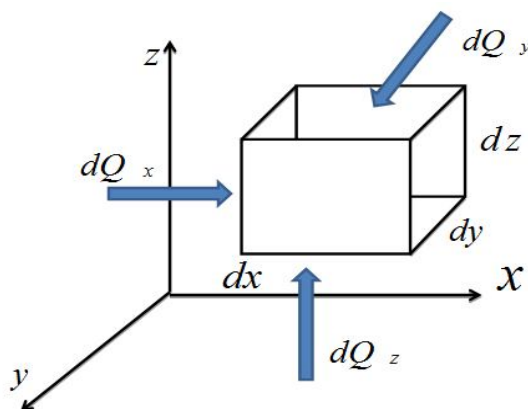
koʻrinishdagi chiziqli funktsiya orqali ifodalanishi mumkin. Bu yerda  $\lambda_0$ – moddaning harorati (t) nolga teng boʻlgandagi issiqlik oʻtkazuvchanlik koeffitsiyenti; a– tajriba asosida aniqlanadigan doimiy koeffitsiyent.

Barqaror jarayonlar uchun issiqlik oʻtkazuvchanlik koeffitsiyentining oʻrtacha qiymati jism haroratining oʻrtacha arifmetik qiymatiga koʻra aniqlanishi mumkin.

#### 1.4. Issiqlik oʻtkazuvchanlikning differensial tenglamasi

Buning uchun jismda elementar tomonlari dx, dy, dz boʻlgan parallelepiped ajratamiz. Chekkadagi haroratlar har xil boʻlgani uchun x, y, z oʻqlari yoʻnalishi boʻyicha parallelepipeddan issiqlik oqib oʻtadi.

dx dy yuzadan  $d\tau$  vaqt ichida Furʼye qonuniga binoan parallelepipedga kiruvchi issiqlik oqimini yozib olamiz.



1.1-pacm. Fazoviy elementar parallelepiped.

$dQ_{z_1} = -\lambda dx dy d\tau \left( \frac{\delta t}{\delta z} \right)$  qarama-qarshi tomondan  $dz$  masofada parallelopiped chiquvchi issiqlik oqimini yozamiz:

$$dQ_{z_1} = -\lambda dx dy d\tau \left( t + \frac{\delta t}{\delta z} dz \right),$$

- bu yerda  $t + \frac{\delta t}{\delta z} dz$  - ikkinchi qirraning harorati hisoblanadi.

Ikkala tenglamani quyidagicha yozishimiz mumkin.

$$dQ_z = -\lambda dx dy d\tau \left( \frac{\delta t}{\delta z} \right) - \lambda dx dy dz d\tau \left( \frac{\delta^2 t}{\delta z^2} \right) \quad (1.14)$$

zo‘qi bo‘yicha ichki energiyaning o‘zgarishi

$$dQ_z = dQ_{z_1} - dQ_{z_2} = -\lambda dx dy d\tau \left( \frac{\delta t}{\delta z} \right) + \lambda dx dy d\tau \frac{\delta t}{\delta z} + \lambda dx dy dz d\tau \frac{\delta^2 t}{\delta z^2} \quad (1.15)$$

Qisqartirish natijasida

$$dQ_z = \lambda dx dy dz d\tau \left( \frac{\delta^2 t}{\delta z^2} \right)$$

ega bo‘lamiz.  
yo‘qi bo‘yicha

$$dQ_y = \lambda dx dy dz d\tau \left( \frac{\delta^2 t}{\delta y^2} \right) \quad (1.16)$$

xo‘qi bo‘yicha

$$dQ_x = \lambda dx dy dz d\tau \left( \frac{\delta^2 t}{\delta x^2} \right) \quad (1.17)$$

Boshqacha qilib aytganda, energiya saqlanish qonuniga binoan

$$dQ = dx dy dz \rho c \left( \frac{\delta t}{\delta \tau} \right) d\tau \quad (1.18)$$

(1.18) dagi  $dx, dy, dz$  –parallelopiped hajmi  $dx, dy, dz \rho$  -parallelopiped hissasi,  $c$ -issiqlik sig‘imi,  $\left( \frac{\delta t}{\delta \tau} \right) d\tau$  - haroratni vaqt bo‘yicha o‘zgarishi

To'liq ichki energiyani o'zgarishi

$$dQ = dQ_x + dQ_y + dQ_z = \lambda dx dy dz dt \left( \frac{\delta^2 t}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 t}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 t}{\delta z^2} \right) \quad (1.19)$$

(1.18) va (1.19) ifodalarni chap tomoni bir biriga teng bo'lgani uchun o'ng tomonlarini ham tenglab yozamiz.

$$\lambda dx dy dz dt \left( \frac{\delta^2 t}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 t}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 t}{\delta z^2} \right) = dx dy dz \rho c \frac{\delta t}{\delta \tau} d\tau \quad (1.20)$$

$$\text{yoki } \frac{\delta t}{\delta \tau} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} = \left( \frac{\delta^2 t}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 t}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 t}{\delta z^2} \right) \quad (1.21)$$

bu yerda  $\nabla^2 t = \frac{\delta^2 t}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 t}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 t}{\delta z^2}$  - Laplas operatori

$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$  -harorat o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti deb ataladi.

$\frac{\delta t}{\delta \tau} = a \nabla^2 t$  -ushbu tenglama issiqlik o'tkazuvchanlik differensial

tenglamasi deyiladi

Agar jism ichki manbaga ega bo'lgan tenglama quyidagicha yoziladi;

$$\frac{\delta t}{\delta \tau} = a \nabla^2 t + \frac{q_v}{c \cdot \rho}$$

## 1.5. Bir o'lchamlik shartlari

Bir o'lchamlik maydon uchun (1.22) tenglama ko'rib chiqilgan differensial tenglamaning yechimini topish uchun juda katta, murakkab matematik kattaliklarni yechishga to'g'ri keladi. Bizga bular yechishda bir o'lchamlilik shartlari yordam beradi. Ular quyidagilarga bo'linadi:

1. Geometrik sharti – jismning tuzilishi va geometrik o'lchamlari keltiriladi;
2. Fizik sharti - jism va atrof - muhitni fizik parametrlari beriladi.
3. Baqt sharti - haroratning vaqt bo'yicha o'zgarishi keltiriladi.
4. Chegara sharti - haroratning jism qirrasida o'zgarishi keltiriladi:

1 tartibli - qattiq jism sirti harorati –  $t_{d1}, t_{d2}$ ;

2 tartibli - jism bo‘ylab oqib o‘tuvchi issiqlik oqimi -  $Q_d$ ;

3 tartibli – atrof-muhitning harorati beriladi –  $t_{c1}, t_{c2}$ .

$$\frac{\delta t}{\delta \tau} = a \frac{\delta^2 t}{\delta x^2} + \frac{q_v}{c\rho} \quad (1.22)$$

ko‘rinishga ega.

Barqaror issiqlik jarayonlari uchun  $t = const$  va  $\frac{\delta t}{\delta \tau} = 0$  bo‘lganligi sababli (1.23) tenglama

$$\frac{d^2 t}{dx^2} + \frac{q_v}{\lambda} = 0 \quad (1.23)$$

shaklida yoziladi.

Endi yuqorida bayon qilingan asosiy tushunchalaridan foydalanib barqaror issiqlik o‘tkazuvchanlik jarayonlari uchun hisoblash ifodalarini keltirib chiqaramiz.

$$\begin{aligned} x=0 & \text{ bo‘lganda } t=t_1 \\ x=\delta & \text{ bo‘lganda } t=t_2 \end{aligned}$$

Shaklida yozish mumkin (1.22) tenglama (1.23) chegaraviy shartlar bo‘yicha ikki marta integrallash natijasida bir jinsli. Yassi devorning harorat maydoni tenglamasini

$$t(x) = t_1 - \frac{x}{\delta}(t_1 - t_2) \quad (1.24)$$

keltirib chiqaramiz.

(1.24) tenglamadan bir jinsli yassi devor orqali issiqlik o‘tayotganda harorat mazkur devor qalinligi bo‘ylab to‘g‘ri chiziqli qonunyat asosida o‘zgarishi kelib chiqadi.

Yassi devor orqali o‘tayotgan issiqlik oqimi zichligini hisoblash uchun Fur‘ye qonuni asosida

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx} = \frac{\lambda}{\delta}(t_1 - t_2) \quad (1.25)$$

ifodani hosil qilamiz.

(1.25) ifodadan bir yassi devor orqali o‘tayotgan issiqlik oqimi zichligi mazkur devor materialining issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyentini va shu devor tashqi sirtlari haroratlari ayirmasiga to‘g‘ri va mazkur devor qalinligiga teskari mutnosib ekanligi ko‘rinib turibdi.

(1.25) ifoda bir qatlamli yassi devorning issiqlik o'tkazuvchanligini hisoblash ifodasi bo'lib, u to'rtta kattalikni, ya'ni  $q, \lambda, \delta$  va  $t_1 - t_2$  larni o'zaro bog'laydi. Ulardan istalgan uchtasining qiymatiga ko'ra to'rtinchisini topish mumkin.

$$\lambda = \frac{q\delta}{t_1 - t_2}; \quad t_2 - t_1 = \frac{q\delta}{\lambda}; \quad \delta = \lambda \frac{t_1 - t_2}{q} \quad (1.26)$$

Yuqorida keltirib chiqarilgan ifodalarda  $\frac{\lambda}{\delta}$  nisbat yassi devorning issiqlik o'tkazuvchanligi, va uning teskarisi, ya'ni  $\frac{\delta}{\lambda}$  mazkur devorning issiqlik yoki termik qarshiligi deb ataladi.

### Masalalar

1. Uzunligi  $\ell=5$  m , balandligi  $h = 4$  m va qalinligi  $\delta=250$  mm bo'lgan qizil g'isht devordan o'tgan issiqlik oqimini toping. Devor sirtlaridagi haroratlar  $t_1 = 110$  °C ,  $t_2 = 40$  °C va qizil g'ishtning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti  $\lambda = 0,7$  Vt/m<sup>0</sup>C ga teng.

Javob :  $Q = 3920$  Vt.

2. Qalinligi 180 mm bo'lgan alyuminiy g'olaning bir tarafdan  $t_{s1} = 400$  °S isitkich va ikkinchi tarafdan  $t_{s2} = 10$  °C sovutgich bilan siqilgan. Agar issiqlik oqimi  $Q=176,8$  Vt, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti  $\lambda = 204$  Vt/m<sup>0</sup>C va yon sirtlaridan issiqlik yo'qolishi bo'lmaganda g'olaning termik qarshiligi, harorat gradiyenti va ko'ndalang kesimi yuzasini toping.

3. Yassi sirtni shunday izolyatsiya qilish kerakki, bunda vaqt birligi ichida birlik yuzadan o'tgan issiqlik 450 Vt/m<sup>2</sup> g'dan oshmasin. Izolyatsiya sirtlaridagi haroratlar  $t_1 = 450$  °C va  $t_2 = 50$  °C ga teng. Ikki xil holat uchun izolyatsiya qalinligini aniqlang:

a) sovelitdan qilingan izolyatsiya uchun issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti  $\lambda = 0,09 + 0,0000874 t$  Vt/m<sup>0</sup>C

b) asbotermitdan qilingan izolyatsiya uchun issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti  $\lambda = 0,109 + 0,000146 t$  Vt/m<sup>0</sup>C

Javob : a)  $\delta = 100$  mm ;

b)  $\delta = 130$  mm.

4. Bug' qozoni yonish kamerasining devori qalinligi  $\delta_1 = 150$  mm bo'lgan shamot, qalinligi  $\delta_2 = 50$  mm bo'lgan diatomit va qalinligi  $\delta_3 = 250$  mm bo'lgan qizil g'ishtdan iborat. Materiallarning issiqlik o'tkazuvchanlik

koeffitsiyentlari mos ravishda  $\lambda_1 = 0,93$ ;  $\lambda_2 = 0,13$  va  $\lambda_3 = 0,7$   $\text{Vt/m}^0\text{C}$  ga teng. Yonish kamerasining ichki sirtidagi harorat  $t_1=1200^0\text{C}$  va tashqi sirtidagi harorat  $t_4=50^0\text{C}$  ga teng. Yonish kamerasining devoridan o'tgan issiqlik oqimining zichligi va qatlamlar yopishgan sirtlaridagi haroratlarni aniqlang.

Javob :  $q = 1274$   $\text{Vt} / \text{m}^2$  ,  $t_2= 995$   $^0\text{C}$ ,  $t_3 = 505^0\text{C}$ .

### **Nazorat savollari**

1. Issiqlik uzatilishini turlarini aytib bering.
2. Issiqlik o'tkazuvchanlikning sodir bo'lish shart-sharoitlari nimalarga bog'liq?
3. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti nima?
4. Haroratlar gradiyent qanday kattalik?
5. Issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamasini tushuntirib bering.

## 2. Birinchi tartibli chegara shartidagi barqaror issiqlik o'tkazuvchanligi

### 2.1. Bir qatlamli yassi devorining issiqlik o'tkazuvchanligi

Hamma nuqtalarida fizikaviy xususiyatlari (issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, zichligi, solishtirma issiqlik sig'imi harorat o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti va h. k.) bir xil bo'lgan devorga bir jinsli devor deyiladi.

Qalinligi  $\delta$ , chap ( $F_1$ ) va o'ng ( $F_2$ ) izotermik sirtlarining haroratlari mos ravishda  $t_1$  va  $t_2$ , hamda materialining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti  $\lambda$  bo'lgan bir jinsli yassi devorning (rasm) harorat maydoni tenglamasini va shu devor orqali o'tayotgan issiqlik oqimi zichligini mazkur devorda ichki issiqlik manbai bo'lmagan (ya'ni  $q_v=0$ ) holat uchun hisoblash ifodalarini keltirib chiqaramiz.

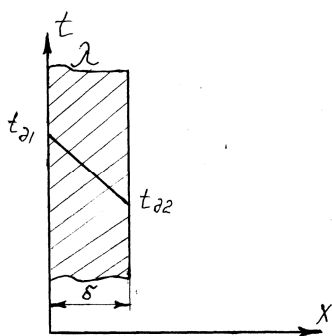
Bir o'lchamlilik shartlarini yozib olamiz:

- 1) geometrik shart- $\delta$ , bir qatlamli
- 2) fizik shart- $\lambda$
- 3) vaqt sharti-harorat o'zgarmaydi
- 4) chegara sharti-I tartibli  $t_1, t_2$
- 5) bizga kerak bo'lgan issiqlik oqimining zichligini aniqlashimiz zarur.

Buning uchun devorning chap izotermik sirtidan  $x$  masofada turgan va qalinligi  $dx$  va ikkita izotermik sirtlar bilan chegaralangan qatlamni ajratib olamiz. Mazkur devorda harorat faqat  $x$  o'qi yo'nalishida o'zgarganligi tufayli harorat maydoni bir o'lchamlilik deb qaralishi mumkin.

Demak mazkur devor uchun  $q_v=0$  bo'lgan (2.1) tenglamako'rinishga kelib, uning yechilishi uchun zaruriy chegaraviy shartlar 2.1 - rasimga muvofiq

$$\frac{d^2 t}{dx^2} = 0 \quad (2.1)$$



2.1–rasm. Bir qatlamli yassi devorining issiqlik o'tkazuvchanligi

$$\left. \begin{array}{l} x = 0 \text{ — bo' lganda} \quad t = t_1 \\ x = \delta \text{ — bo' lganda} \quad t = t_2 \end{array} \right\} (2.2)$$

shaklida yozilishi mumkin.

(2.1) tenglamani (2.2) chegaraviy shartlar bo'yicha ikki marta integrallash natijasida bir qatlamli yassi devorning harorat maydoni tenglamasini keltirib chiqaramiz:

$$t(x) = t_1 - \frac{x}{\delta}(t_1 - t_2) \quad (2.3)$$

(2.3) tenglamadan bir qatlamli yassi devor orqali issiqlik o'tayotganda harorat mazkur devor qalinligi bo'ylab to'g'ri chiziqli qonun asosida o'zgarishi kelib chiqadi.

Yassi devor orqali o'tayotgan issiqlik oqimining zichligini hisoblash uchun Fur'ye qonuni asosida ifodani hosil qilamiz:

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx} = \frac{\lambda}{\delta}(t_1 - t_2) \quad (2.4)$$

(2.4) ifodadan bir jinsli yassi devor orqali o'tayotgan issiqlik oqimi zichligi mazkur devor materialining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti va shu devor tashqi sirtlari haroratlari ayirmasiga to'g'ri va mazkur devor qalinligiga teskari mutanosib ekanligi ko'rinib turibti.

(2.4) ifoda bir jinsli Yassi devorning issiqlik o'tkazuvchanligini hisoblash ifodasi bo'lib, u to'rtta kattalikni, ya'ni  $q, \lambda, \delta$  va  $t_1 - t_2$  larni o'zaro bog'laydi. Ulardan istalgan uchtasining qiymatiga ko'ra to'rtinchisini topish mumkin:

$$\lambda = \frac{q \delta}{t_1 - t_2}; \quad t_2 - t_1 = \frac{q \delta}{\lambda} \quad \text{va} \quad \delta = \lambda \frac{t_1 - t_2}{q}. \quad (2.5)$$

Yuqorida keltirib chiqarilgan ifodalarda  $\frac{\lambda}{\delta}$  nisbat yassi devorning issiqlik o'tkazuvchanligi, va uning teskarisi, ya'ni  $\frac{\delta}{\lambda}$  mazkur devorning issiqlik yoki termik qarshiligi deb ataladi.

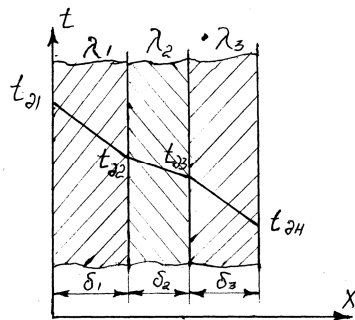


## 2.2. Ko‘p qatlamli yassi devorning I tartibli chegara shartidagi issiqlik o‘tkazuvchanligi

Qalinliklari va issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyentlari har hil bo‘lgan vao‘zaro jips qilib tutashtirib qo‘yilgan bir jinsli yassi devorlar majmuasidan iborat devorni ko‘p qatlamli Yassi devorlarga ichki va tashqi tomonlaridan qumsuvoq bilan qoplangan g‘isht qatlamidan iborat turar joy binolarining devorlari va shungao‘xshagan devorlar misol bo‘lishi mumkin. Bir o‘lchamlilik shartlarini yozib olamiz:

- 1) Geometrik shart- $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  uchqatlamli yassi devor;
- 2) Fizik shart-devorning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti berilgan  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ;
- 3) Vaqt sharti-harorat o‘zgarmaydi (barqaror);
- 4) Chegara sharti-Itartibli  $t_1, t_4$ .

O‘zaro tutash va mos ravishda qalinliklari  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ , va issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyentlari  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  bo‘lgan yassi devorlardan iborat ko‘p qatlamli devor berilgan bo‘lsin (2.2-rasm).



2.2 - rasm.Ko‘p qatlamli yassi devorning issiqlik o‘tkazuvchanligi

Devorning tashqi sirtlarining haroratlari mos ravishda  $t_1$  va  $t_4$ , hamda qatlamlarning o‘zaro jipslashtirib qo‘yilgan sirtlarining haroratlari  $t_2$  va  $t_3$  ekanligi ma’lum.

Barqaror issiqlik o‘tkazuvchanlik jarayonlarida issiqlik oqimi zichligi ko‘p qavatli devorni tashkil qiluvchi alohida qatlamlar uchun bir xil, ya’ni doimiy bo‘lganligi sababli (2.4) ifodagaasosan ko‘p qatlamli yassi devorning alohida qatlamlari uchun quyidagi tenglamalarni yozish mumkin.

$$\left. \begin{aligned} q &= \frac{\lambda_1}{\delta_1} (t_1 - t_2); \\ q &= \frac{\lambda_2}{\delta_2} (t_2 - t_3); \\ q &= \frac{\lambda_3}{\delta_3} (t_3 - t_4). \end{aligned} \right\} (2.5)$$

Bu tenglamalardan ko‘p qatlamli devorning alohida qatlamlarida haroratlar o‘zgarishini hisoblaymiz :

$$\left. \begin{aligned} t_1 - t_2 &= q \frac{\delta_1}{\lambda_1}; \\ t_2 - t_3 &= q \frac{\delta_2}{\lambda_2}; \\ t_3 - t_4 &= q \frac{\delta_3}{\lambda_3}. \end{aligned} \right\} (2.6)$$

(2.6) tenglamani qo‘shish natijasida quyidagini hosil qilamiz:

$$t_1 - t_4 = q \left( \frac{\lambda_1}{\delta_1} + \frac{\lambda_2}{\delta_2} + \frac{\lambda_3}{\delta_3} \right) (2.7)$$

tenglamani keltirib chiqaramiz.

Hosil qilingan tenglamadan ko‘p qatlamli yassi devor orqali o‘tayotgan issiqlik oqimi zichligini hisoblash uchun quyidagi ifodani keltirib chiqaramiz

$$q = \frac{t_1 - t_4}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}}. \quad (2.8)$$

Ko‘p qatlamli yassi devor qatlamlarining soni n ta bo‘lsa (2.8) ifoda umumiy holda

$$q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad (2.9)$$

shaklda yozilishi mumkin.

Agar (2.9) ifoda orqali hisoblangan yassi devor orqali o‘tayotgan issiqlik oqimi zichligining qiymatini (2.10) tenglamalar tuzimiga keltirib qo‘ysak, qiymatlari noma’lum bo‘lgan ko‘p qatlamli yassi devor qatlamlarining o‘zaro jips qilib tutashtirib qo‘yilgan sirtlarining haroratlarini, ya’ni  $t_2$  va  $t_3$  larni hisoblash ifodalarini keltirib chiqarish mumkin:

$$t_2 = t_1 - \left( \frac{t_1 - t_4}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} \right) \frac{\delta_1}{\lambda_1};$$

$$t_3 = t_2 - \left( \frac{t_1 - t_4}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} \right) \frac{\delta_2}{\lambda_2} = t_4 + \left( \frac{t_1 - t_4}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} \right) \frac{\delta_3}{\lambda_3}. \quad (2.10)$$

### 2.3. Bir qatlamli silindrik devorning I tartibli chegara shartidagi issiqlik o'tkazuvchanligi

Bir qatlamli silindrik devor berilgan bo'lib, uning uzunligi  $l$  ga teng.

Ushbu holat uchun bir o'lchamlilik shartlarini yozib olamiz:

- 1) geometrik shart-bir qatlamli silindrik devor,  $r_1, r_2$ ;
- 2) fizik shart-issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti  $\lambda$ ;
- 3) vaqt sharti-barqaror, harorat vaqt bo'yicha o'zgarmaydi;
- 4) chegara sharti-I tartibli:  $t_{d1}, t_{d2}$ .

Shu devor orqali oqib o'tuvchi issiqlik oqimining zichligini aniqlang.

Buning uchun ushbu qatlamda radiusi dr gateng bo'lgan elementar qatlam ajratib olamiz. Elementar qatlam uchun issiqlik oqimini ifodasi quyidagicha yoziladi:

$$Q = -\lambda \frac{dt}{dr} F \tau \quad (2.11)$$

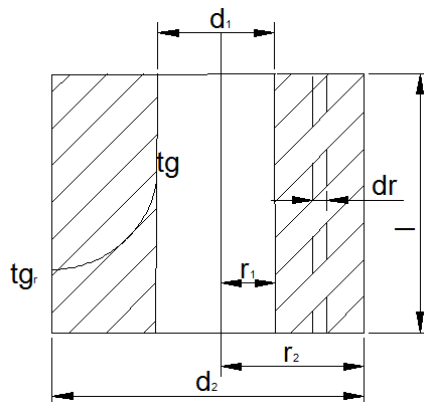
$$F = 2\pi r l \quad (2.12)$$

(2.12) ni silindrning yuzasini ifodani (2.11) dagi  $F$  ni o'rniga qo'yamiz:

$$Q = -2\pi\lambda r l \frac{dt}{dr} \tau \quad (2.13)$$

(2.13) dagi  $dt$  ni qiymatini aniqlaymiz:

$$dt = -\frac{Q}{2\pi\lambda l} \cdot \frac{dr}{r} \quad (2.14)$$



2.3-rasm qatlamli silindrik devorning 1 tartibli chegara shartidagi issiqlik o'tkazuvchanligi

(2.14) ifodani integrallaymiz:

$$Q = \frac{2\pi\lambda l(t_{d1} - t_{d2})}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \quad (2.15)$$

Quvur uzunligiga nisbatan olingan issiqlik oqimining zichligini aniqlaymiz.

Mazkur devorda radiusi  $r$  va qalinligi  $dr$  ga teng bo'lgan halqasimon qatlam ajratamiz ( $dr$ ). Silindrik devorda harorat faqat radial yo'nalishda o'zgarishini hisobga olsak barqaror jarayonlar uchun issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamasi ( $dr$ ) silindrik koordinatlar tizimida

$$\frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dt}{dr} = 0 \quad (2.16)$$

ko'rinishga ega bo'lib uning yechilishi uchun zaruriy chegaraviy shartlar sistemaga muvofiq (2.17)

$$\left. \begin{array}{l} r = r_1 \text{ bo'lganda } t = t_1 \\ r = r_2 \text{ bo'lganda } t = t_2 \end{array} \right\} \quad (2.17)$$

shaklda yozilishi mumkin.

(2.16) tenglamani (2.17) chegaraviy shartlar bo'yicha ikki marta integrallash asosida bir jinsli devorda harorat maydoni tenglamasini keltirib chiqaramiz, ya'ni

$$t = t_1 - (t_1 - t_2) \frac{\ln \frac{r}{r_1}}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.18)$$

Hosil qilingan tenglamada bir jinsli silindrik devor orqali issiqlik o'tayotganda harorat mazkur devor qalinligi bo'ylab logarifmik qonuniyat bo'yicha o'zgarishi kelib chiqadi.

Silindrik devor orqali o'tayotgan issiqlik oqimi zichligini hisoblash uchun Fur'ye qonunidan foydalanish asosida

$$q = \frac{\lambda}{r} \cdot \frac{t_1 - t_2}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.19)$$

ifodani keltirib chiqaramiz.

Silindrik devor orqali o'tayotgan issiqlik oqimini mazkur devor uchun  $\frac{r_2}{r_1} = \frac{d_2}{d_1}$  va  $F = 2\pi r \ell$  ekanligini hisobga olgan holda

$$Q = qF = \frac{2\pi\lambda\ell}{\ln \frac{d_2}{d_1}} (t_1 - t_2) \quad (2.20)$$

ifoda orqali hisoblash mumkin.

Silindrik devor orqali o'tayotgan issiqlik oqimi zichligini hisoblash ifodalari mazkur devorning uzunligi ( $\ell$ ), ichki ( $F_1 = \pi d_1 \ell$ ) yoki tashqi ( $F_2 = \pi d_2 \ell$ ) sirtlariga nisbatan yozilishi mumkin, Ya'ni

$$q_e = \frac{Q}{\ell} = \frac{2\pi\lambda}{\ln \frac{d_2}{d_1}} (t_1 - t_2), \frac{Bm}{M}; \quad (2.21)$$

$$q_1 = \frac{Q}{F_1} = \frac{2\lambda}{d_1 \ln \frac{d_2}{d_1}} (t_1 - t_2), \frac{Bm}{M^2}; \quad (2.22)$$

$$q_2 = \frac{Q}{F_2} = \frac{2\lambda}{d_2 \ln \frac{d_2}{d_1}} (t_1 - t_2), \frac{Bm}{M^2}; \quad (2.23)$$

Hosil qilingan hisobiy ifodalardan silindrik devor orqali o'tayotgan issiqlik oqimi zichligi mazkur devor materialining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti va shu devorning ichki va tashqi sirtlari haroratlarining ayirmasiga to'g'ri va uning tashqi va ichki diametrlari nisbatining natural logarifmiga teskari mutanosib ekanligi ko'rinib turibti. Tabiiyki, (2.22) - (2.23) ifodalardan  $q_e$ ,  $q_1$  va  $q_2$ lar orasidagi quyidagi o'zaro bog'liqlik ifodasi kelib chiqadi:

$$q_e = \pi d_1 q_1 = \pi d_2 q_2. \quad (2.24)$$

## 2.4. Silindrik ko‘p qatlamli devornin izzislik o‘tkazuvchanligi

Qalinligi va izzislik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti harxil bo‘lgan silindrik devorlar majmuasidan iborat devorni ko‘p qatlamli silindrik devor deyiladi. Ko‘p qatlamli silindrik devorlarga tashqi sirtlari izzislik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyentlari past bo‘lgan moddalar bilan bir necha qavat qilib qoplangan izzislik ta‘minoti tizimi quvurlari misol bo‘la oladi.

O‘zaro tutash, ya’ni jips qilib yopishtirib qo‘yilgan, mos ravishda qalinliklari  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  va izzislik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyentlari  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  bo‘lgan 3 qatlamdan iborat silindrik devor ichki va tashqi sirtlarining haroratlari mos ravishda  $t_1$  va  $t_4$  bo‘lsin. Devorning birinchi va ikkinchi, ikkinchi va uchinchi qatlamlari o‘zaro tegib turgan sirtlaridagi haroratlar mos ravishda  $t_2$  va  $t_3$  ekanligi ma’lum.

$$\left. \begin{aligned} q_e &= \frac{2 \pi \lambda_1}{\ell n \frac{d_2}{d_1}} (t_1 - t_2) \\ q_e &= \frac{2 \pi \lambda_2}{\ell n \frac{d_3}{d_2}} (t_2 - t_3) \\ q_e &= \frac{2 \pi \lambda_3}{\ell n \frac{d_4}{d_3}} (t_3 - t_4) \end{aligned} \right\} \quad (2.25)$$

Barqaror izzislik o‘tkazuvchanlik jarayonida ko‘p qatlamli silindrik devorning alohida qatlamlari uchun (2.25) tenglama misolida quyidagi tenglamalar tizimini yozish mumkin.

(2.25) tenglamalar tizimini mos ravishda haroratlarga nisbatan yechish va olingan natijalarni o‘zaro qo‘shish asosida

$$\left. \begin{aligned} t_1 - t_2 &= q \frac{1}{2\pi\lambda_1\ell} \ln \frac{d_2}{d_1} \\ t_2 - t_3 &= q \frac{1}{2\pi\lambda_2\ell} \ln \frac{d_3}{d_2} \\ t_3 - t_4 &= q \frac{1}{2\pi\lambda_3\ell} \ln \frac{d_4}{d_3} \end{aligned} \right\} \quad (2.26)$$

ifodani keltirib chiqaramiz.

Hosil qilingan ifodadan ko‘p qatlamli silindrik devor orqali o‘tayotgan issiqlik oqimi zichligining mazkur devor uzunligiga nisbatan olingan qiymatini hisoblash ifodasi kelib chiqadi, ya’ni

$$t_1 - t_4 = q \left( \frac{1}{2\pi\lambda_1\ell} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\pi\lambda_2\ell} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{2\pi\lambda_3\ell} \ln \frac{d_4}{d_3} \right) \quad (2.27)$$

Ko‘p qatlamli silindrik devor qatlamlarining soni 3 ta bo‘lsa (2.27) ifoda umumiy holda

$$q_r = \frac{2\pi\ell(t_1 - t_4)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3}} \quad (2.28)$$

shaklda yozilishi mumkin.

Qatlamlar soni n ta bo‘lgan ko‘p qatlamli silindrik devor orqali o‘tayotgan issiqlik oqimi zichligini hisoblash ifodasi mazkur devorning ichki ( $t_1$ ) yoki tashqi ( $t_n$ ) sirtlariga nisbatan mos ravishda

$$q_\ell = \frac{\ell(t_1 - t_n)}{\sum \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}} \quad (2.29)$$

## 2.5. Shar shaklidagi jismning issiqlik o‘tkazuvchanligi

Issiqlik oqimi shar shaklidagi jismdan oqib, lekin issiqlik manbai sharning ichida joylashgan. Harorat sharning radiusi bo‘ylab o‘zgaradi.

Ichki yuzaning harorati  $t_{d1}$  tashqi yuzaniki esa  $t_{d2}$  deb belgilanadi.

$$Q = -\lambda F \frac{dz}{dr} \quad (2.30)$$

(2.30) dagi F ni qiymati quyidagiga teng bo‘ladi

$$F = 4\pi r^2$$

Shuni hisobga olgan holda (2.30) ifodani quyidagicha yozish mumkin.

$$\text{yoki } Q = -\lambda 4\pi r^2 \frac{dt}{dr} \quad (2.31)$$

Devorning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti  $\lambda$  o'zgarmaydi, sharning ichki radiusi  $r_1$  tashqisi esa  $r_2$  ga teng.

$dr$  qalinlikka va  $r$  radiusga ega bo'lgan devor uchun issiqlik oqimining ifodasini Fur'ye qonuniga binoan quyidagicha yechiladi.

$$dt = \frac{Q}{4\pi r^2} \frac{dr}{r^2} \quad (2.32)$$

Oxirgi ifodani integrallash natijasida quyidagini hosil qilamiz.

$$Q = \frac{4\pi r^2 (tg_1 - tg_2)}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)} = \frac{2\pi r^2 (tg_1 - tg_2)}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)} \quad (2.33)$$

(2.33) ifoda shar shaklida jism uchun 1 tartibli chegara shartidagi issiqlik o'tkazuvchanligi ifodasi bo'lib hisoblanadi.

## 2.6. Ixtiyoriy shakldagi jismning I tartibli chegara shaklidagi issiqlik o'tkazuvchanligi

Ko'rib chiqilganlardan shu narsa yuzaga keldiki har bir shakl uchun issiqlik o'tkazuvchanligi tenglamalari bo'lib ular boshqa jismlar uchun ishlata olmaydi.

Ixtiyoriy shaklga ega bo'lgan jismlar issiqlik o'tkazuvchanlikni quyidagi ifoda orqali aniqlansa bo'ladi.

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{d1} - t_{d2}) F \quad (2.34)$$

bu yerda  $F$  - ixtiyoriy shakldagi jism yuzasi ( $m^2$ ).

Yassi va silindrik yuzalar uchun  $\frac{F_1}{F_2} < 2$  bo'lganda

$$F_{o'r} = \frac{F_1 + F_2}{2} \quad (2.35)$$



bilan aniqlanadi. Bunda  $F_1$  – jismning ichki yuzasi,  $F_2$  – jismning tashqi yuzasi.

Silindrik shakildagi yuza uchun  $\frac{F_1}{F_2} > 2$  bo‘lganda

$$F_{or} = \frac{F_2 - F_1}{2.3 \lg \frac{F_2}{F_1}} \quad (2.36)$$

Shar shaklidagi yuza uchun

$$F_{or} = \sqrt{A_1 - A_2} \quad (2.37)$$

Ushbu keltirilgan tenglamalar hammasi hisoblashga qulay bo‘lgan yaqinlashtirilgan usulda keltirib chiqarilgandir. Agar aniqlikdagi hisoblashlarga majbur bo‘lsak, u holda shaklning har bir elementi yuzasi va undagi harorato‘zgarishi e‘tiborga olinadi.

### Masalalar:

1. Uzunligi 3 m, ichki diametri 140 mm li bug‘ quvuri qalinligi  $\delta_2 = 20$  mm va  $\delta_3 = 40$  mm bo‘lgan izolyatsiya qatlamidan iborat. Quvurning va izolyatsiya qatlamlarining issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyentlari mos ravishda  $\lambda_1 = 55$  ;  $\lambda_2 = 0,037$  va  $\lambda_3 = 0,14$  Vt/m<sup>0</sup>C ga teng. Quvurning ichki sirtidagi harorat  $t_1 = 300^0$ C va izolyatsiyaning tashqi sirtidagi harorat  $t_4 = 55^0$ C ga teng. Bug‘ quvurining qalinligi  $\delta = 5$  mm . Bug‘ quvuridan o‘tgan issiqlik oqimini aniqlang.

Javob : 517,5 Vt / m .

2. Agar 1-masaladagi izolyatsiya qatlamlarining o‘rnini almashtirsak, izolyatsiyalangan bug‘ quvuridan o‘tgan issiqlik qanday o‘zgaradi?

3. Diametri 160/170 mmligi bug‘ quvuri  $\delta = 100$  mm va issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti  $\lambda_{iz} = 0,062(1 + 0,00363 t)$  Vt/m<sup>0</sup>C bo‘lgan izolyatsiya qatlamidan iborat. Quvurning tashqi sirtidagi harorat  $t_2 = 300^0$ C , izolyatsiyaning tashqi sirtidagi harorat  $50^0$ C ga teng bo‘lganda 1 m bug‘quvurdan yo‘qolgan issiqlikning va quvurning ichki sirtidagi haroratni aniqlang.

Javob:  $q_1 = 205 \text{ Vt/m}$ ,  $t_1 = 300^\circ\text{C}$ .

### **Nazorat savollari.**

1. Bir qatlamli yassi devor issiqlik o'tkazuvchanligini ifodalashni keltirib chiqaring.
2. Ko'p qatlamli yassi devorni I tartibli chegara shartidagi issiqlik o'tkazuvchanligini yozib bering.
3. Bir qatlamli silindrik devor issiqlik o'tkazuvchanligi.
4. Ko'p qatlamli devorninig issiqlik o'tkazuvchanligi.
5. Shar shaklidagi jismning issiqlik o'tkazuvchanligi.

### 3.Barqaror sharoitda III - tartibli chegara shartidagi issiqlik o'tkazuvchanlik.

#### 3.1.Bir qatlamli yassi devor orqali issiqlik uzatilishi

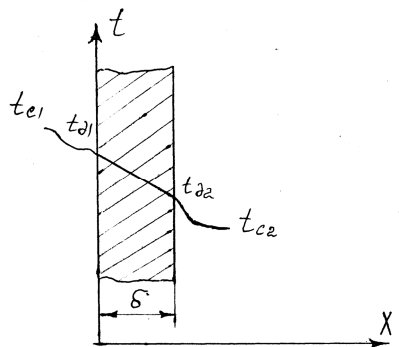
Bir muhitdan (suyuqlik yoki gaz) ikkinchi muhitga bir qatlamli yoki ko'p qatlamli qattiq devor orqali issiqlikning o'tishiga **issiqlik uzatilishi** deyiladi.

Qalinligi  $\delta$  va sirt yuzasi  $F$  m<sup>2</sup> bo'lgan bir qatlamli devorning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti  $\lambda$  (Vt/m·K). Muhit haroratlari  $t_{s1}$  va  $t_{s2}$  hamda ikkala oqimning  $\alpha_1$  va  $\alpha_2$  issiqlik berish koeffitsiyentlari berilgan (3.1-rasm). Issiq muhitdan devorga issiqlik konveksiya orqali o'tadi:

$$q = \alpha_1 (t_{c1} - t_{d1})$$

devordan issiqlik o'tkazuvchanlik orqali o'tadi:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{d1} - t_{d2}) \quad (3.1)$$



3.1-rasm.Barqaror sharoitda 3-tartibli chegara shartidagi issiqlik o'tkazuvchanlik

devordan muhitga konveksiya orqali o'tadi:

$$q = \alpha_2 (t_{d1} - t_{s2})$$

Bu ifodalarni haroratga nisbatan olamiz.

$$\left. \begin{aligned} t_{c2} - t_{q1} &= q \frac{1}{\alpha} \\ t_{q1} - t_{q2} &= q \frac{1}{\alpha} \\ t_{q2} - t_{c1} &= q \frac{1}{\alpha} \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

\*Tenglamalar tizimini qo'shamiz.

Bu ifodalarni haroratlar farqi orqali ifodalab, keyin qo‘shib issiqlik uzatish tenglamasini hosil qilamiz:

$$q = \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \kappa(t_{c_1} - t_{c_2}) \quad \text{Vt/m}^2 \quad (3.3)$$

bu yerda  $\kappa$ – issiqlik uzatish koeffitsiyenti.

$$\kappa = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad \text{Vt/m}^2\text{K} \quad (3.4)$$

Issiqlik uzatish koeffitsiyenti son jihatdan vaqt birligi ichida birlik yuzadan haroratlar farqi  $1^{\circ}\text{C}$  ga teng bo‘lganda o‘tgan issiqlik miqdoriga teng. Issiqlik uzatish koeffitsiyentiga teskari bo‘lgan kattalik issiqlik uzatilishning **to‘liq termik qarshiligi** deyiladi.

$$R = \frac{1}{\kappa} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad \text{m}^2\text{K/Vt} \quad (3.5)$$

### 3.2. Ko‘p qatlamli yassi devor orqali issiqlik uzatish

Ko‘p qatlamli yassi devor orqali o‘tayotgan issiqlik oqimining zichligi, masalan, uch qatlamli devor orqali o‘tgan issiqlik:

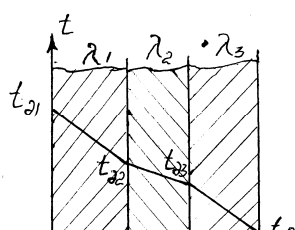
$$q = \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}} = \kappa(t_{c_1} - t_{c_2}) \quad \text{Vt/m}^2 \quad (3.6)$$

bu yerda:

$$\kappa = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad \text{Vt/m}^2\text{K}$$

$F$  ( $\text{m}^2$ ) sirtga ega bo‘lgan yassi devor orqali issiqlik oqimi  $Q$  ga teng

$$Q = q \cdot F = \kappa \cdot \Delta t \cdot F \quad \text{Vt} \quad (3.7)$$



### 3.2-rasm 3-qatlamli yassi devor 3 tartibli chegara sharti

Devor qatlamlari orasidagi haroratlar quyidagicha topiladi:

$$Q = \alpha(t_d - t_s)F \quad (3.8)$$

Silindr yuzasi quyidagicha teng:

$$F = \pi dl \quad (3.9)$$

Shuni hisobga olganda:

$$Q = \alpha \pi d_{ich} l (t_s - t_{d_2}) \quad (3.10)$$

Devor orqali o'tgan issiqlik oqimi:

$$Q = \frac{\pi e(t_{d_1} - t_{d_2})}{\frac{1}{2\pi} \ln \frac{d_2}{d_1}} \quad (3.11)$$

Devordan suyuqlikka berilgan issiqlik oqimi:

$$Q = \alpha_2 d_{tashqi} l (t_{d_2} - t_{s_2}) \quad (3.12)$$

Hosil bo'lgan (3), (4), (5), tenglamalarni haroratlarga nisbatan yechamiz:

$$\left. \begin{aligned} t_{s_1} - t_{d_1} &= Q \frac{1}{\alpha_1 \pi d_1 l} \\ t_{d_1} - t_{d_2} &= Q \frac{1}{2\pi \lambda l} \ln \frac{d_2}{d_1} \\ t_{d_2} - t_{s_2} &= Q \frac{1}{\alpha_2 \pi d_2 l} \end{aligned} \right\} \quad (3.13)$$

Hosil bo'lgan tenglamalar tizimi (6)dan Q ni aniqlaymiz:

$$Q = \frac{\pi l(t_{s_1} - t_{s_2})}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} \quad (3.14)$$

Chiziqli issiqlik uzatish harorati  $K_e$  quyidagiga teng:

$$K_e = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}}, \quad \text{Vt/km} \quad (3.15)$$

Issiqlik oqimining zichligi:

$$q = \frac{Q}{l} = K_e \pi (t_{d_1} - t_{d_2}), \quad \text{Vt/m} \quad (3.16)$$

Shularni hisobga olganda (3.16) tenglama quyidagicha yoziladi:

$$Q = K_e \pi l (t_{s_1} - t_{s_2}) \quad (3.17)$$

Bir qatlamli silindrik devorning chiziqli zichligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned} t_{d_1} &= t_{s_1} - q \frac{1}{\alpha_1} \\ t_{d_2} &= t_{s_1} - q \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right) \\ t_{d_3} &= t_{s_1} - q \left( \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) \end{aligned} \quad (3.18)$$

### 3.3. Bir qatlamli va ko'p qatlamli silindrik devor orqali III - tartibli chegara shartidagi issiqlik uzatish

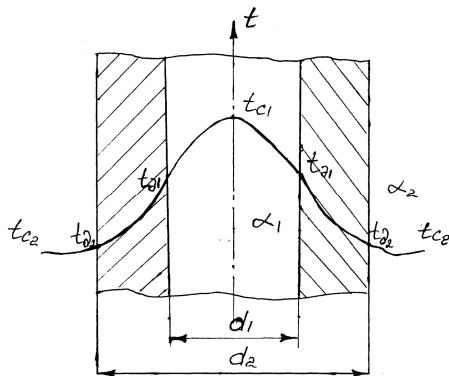
Bir yo'nalishlilik shartlari:

Issiqlik oqimining chiziqli zichligi:

$$q_{\ell} = \frac{\pi(t_{s_1} - t_{s_2})}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} = \kappa_{\ell} \pi(t_{s_1} - t_{s_2}), \text{ Vt/m}^2 \quad (3.19)$$

bu yerda:  $\kappa_{\ell}$  – issiqlik uzatishning chiziqli koeffitsiyenti – son jihatdan bir muhitdan ikkinchi muhitga vaqt birligi ichida uzunligi 1m boʻlgan quvur devorida haroratlar farqi  $1^{\circ}\text{C}$  ga teng boʻlganda oʻtayotgan issiqlik miqdoriga teng (3.3-rasm).

Bir qatlamli silindrik devorning chizmasi quyidagi koʻrinishga ega boʻladi:



3.3-rasm. Bir qatlamli silindrik devor 3-tartibli chegara shartidagi issiqlik oʻtkazuvchanlik.

Issiqlik uzatish chiziqli koeffitsiyentiga teskari boʻlgan kattalik  $R = 1/\kappa_{\ell}$  issiqlik uzatishning **chiziqli termik qarshiligi** deyiladi.

$$R_e = \frac{1}{\kappa_{\ell}} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}, \quad \text{m}^2\text{K/Vt}. \quad (3.20)$$

Qatlamlar orasida harorat quyidagi formulalar orqali topiladi:

$$\begin{aligned} t_{o_1} &= t_{s_1} - q_e \frac{1}{\pi \alpha_1 d_1} \\ t_{o_2} &= t_{s_1} - \frac{q_e}{\pi} \cdot \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} \\ t_{o_3} &= t_{s_1} - \frac{q_e}{\pi} \cdot \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_{12}} \end{aligned} \quad (3.21)$$

Koʻp qatlamli silindrikdevor uchun issiqlik uzatilishi.

Koʻp qatlamli silindrik devor uchun issiqlik oqim quyidagicha yoziladi:

$$Q = \frac{\pi e(t_{s_1} - t_{s_2})}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 d_{2n+1}}} \quad (3.22)$$

Chiziqli issiqlik o'tkazuvchanlik haroratga teskari bo'lgan termik qarshilik deyiladi va R harfi bilan belgilanadi:

Ko'p qatlamli silindrik devor uchun:

$$R = \frac{1}{K_e} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 d_{2n+1}} \quad (3.23)$$

Bu ifodalarda:

$$\frac{1}{\alpha_1 d_1} \text{ va } \frac{1}{\alpha_2 d_2} - \text{tashqi termik qarshilik}$$

$$\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} \text{ va } \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} - \text{ichki termik qarshilik:}$$

Ko'p qatlamli silindrik devor orqali o'tayotgan issiqlik oqimining zichligi:

$$q_\ell = \frac{\pi(t_{d_1} - t_{d_2})}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_1}{d_2} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_3 d_3}} = \kappa_\ell \pi(t_{s_1} - t_{s_2}) \quad (3.24)$$

### 3.4. Izolatsiyaning kritik diametri

Qizitilayotgan yuzasi shunday qoplama qoplanganki yuzadagi issiqlik tashqi muhitga yo'qolib ketmaydi. Shunday qoplamalar issiqlik izolyatsiyasi deb ataladi. Issiqlik izolyatsiyasi sifatida turli xil materiallar ishlatiladi. Bularning issiqlik o'tkazuvchanligi juda past bo'ladi, masalan asbest, probka, jun materiallar, torf va boshqalar.

Silindr shaklidagi jismlarni, ya'ni quvurlarni tahlil qilish ifodalaridan shu narsa aniq bo'ladiki, quvurlarning izolyatsiya kesimidan issiqlikning yoqolishi shunchalik kamayadi.

Quvurni izolyatsiya qilish uchun ishlatilayotgan material issiqlik yo'qolishini kamaytirishi holatini ko'rib chiqamiz.



Issiqlik quvur bir qatlamli izolyatsiya bilan o‘ralgan deb olamiz. Bunda  $\alpha_1, \alpha_2, d_1, d_2, \lambda_1, \lambda_2, t_1, t_2$  lar o‘zgarmas deb hisoblab to‘liq termik qarshilik izolyatsiya qalinligini o‘zgarishida qanday o‘zgarishini ko‘rib chiqamiz.

Ikki qatlamli silindrik devor uchun termik qarshilikning tenglamasida

$$R_e = \frac{1}{K_e} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 d_2} \quad (3.25)$$

Tashqi diametr  $d_3$  ni (3.25) ifodadagi qatlam qarshiligi ( $\frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2}$ ) ortadi, lekin issiqlik berish qarshiligi  $\frac{1}{\lambda_2 d_3}$  kamayadi.

(3.26) ifodadagi o‘ng tomonida  $d_1$  bo‘yicha hosil bo‘lib va uni nolga tenglash natijasida quyidagiga ega bo‘lamiz.

$$\frac{d(R_y)}{d(d_3)} = \frac{1}{2\lambda d_3} - \frac{1}{\alpha_2 d_3^2} = 0 \quad (3.26)$$

Unga ko‘ra  $R=f(d_3)$  egri chiziqdagi nuqtaga mos keluvchi izolyatsiyaning kritik diametri quyidagicha aniqlanadi.

$$d_{kr} = d_{iz} = \frac{2\lambda_{iz}}{\alpha_2} \quad (3.27)$$

(3.27) ifodadan shu narsa aniq bo‘ldiki, izolyatsiyaning kritik diametri quvurning o‘lchamlariga bog‘liq emas, u izolyatsiyaning issiqlik o‘tkazuvchanligi qancha kam bo‘lsa, shuncha kam boladi, issiqlik chiqarish koeffitsiyenti ko‘p bo‘lsa, ko‘p bo‘ladi.

$R_y$  ni noldan katta deb hisoblasak, demak kritik diametr issiqlik qarshiligini minimumga issiqlik oqimini maksimumga mos keladi. Buni quyidagi rasmda ko‘rish mumkin.

(3.27) tenglamani tahlil qilish shunu ko‘rsatadiki, agar tashqi izolyatsiya diametri faqat  $d_{kr}$  dan kuchli holda oshsa unda issiqlik yo‘qolishlari ortadi (Ax egri chizig‘i)  $d_{kr}=d_{iz}$  bo‘lgan holatda tashqi muhitga maksimal issiqlik yo‘qolishlari yuzaga keladi. Izolyatsiyasi tashqi diametrini oshirib borsak  $d_{iz}>d_{kr}$  yo‘qolishari kamayadi (Bx egri chizig‘i).

Demak kritik diametri eng samarador holati y hol bo‘lsa, izolyatsiyaning diametri izolyatsiyaga ega bo‘lmagan holatdagi quvurning tashqi diametridan kichik holatda bo‘lar ekan, yani  $d_{iz}<d_2$ .

Shunday qilib quvurlarni izolyatsiya qilish issiqlik berish koeffitsiyenti  $\alpha_2$  va izolyatsiya qilinmagan holatdagi quvurlarning tashqi diametri  $d_2$  berilganda quyidagicha bo‘lishi kerak

$$\lambda_{iz} < \frac{\alpha_2 d_2}{2} \quad (3.28)$$

(3.28) shar shaklidagi yuzaning issiqlik uzatilishi ifodasi.

III- tartibli chegara shartida sharning ichki diametri -  $d_1$  berilgan. Sharning ichidagi issiq issiqlik tashuvchi harorati  $-t_1$ , sovuq issiqlik tashuvchining harorati  $-t_2$  issiq, issiqlik tashuvchining issiqlik berish chegarasi koeffitsiyenti-  $\alpha_1$ , sovuq issiqlik tashuvchining esa -  $\alpha_2$  berilgan.

Barqaror holatda izotermik yuzalardan oqib chiquvchi issiqlik oqimi o‘zgarmas.

$$\left. \begin{aligned} Q &= \alpha_1 \pi d_1^2 (t_1 - t_{g_2}) \\ Q &= \frac{2\pi\lambda}{\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}} (t_{g_1} - t_{g_2}) \\ Q &= \alpha_2 \pi d_2^2 (t_{g_2} - t_2) \end{aligned} \right\} \quad (3.29)$$

(3.29) ifodani haroratga nisbatan yechib, quyidagini hosil qilamiz.

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{(\alpha_1 d_1^2)} + \left[ \frac{1}{(2\lambda)} \left( \frac{1}{d_1} - \frac{1}{\alpha_2 d_2^2} \right) \right]} \quad (3.30)$$

yoki

$$Q = K_{sh} \pi d (t_1 - t_2); \quad (3.31)$$

(3.31) ifodani issiqlik uzatish koeffitsiyentini aniqlaymiz.

$$K_{sh} = \frac{1}{\frac{1}{(\alpha_1 d_1^2)} + \left( \frac{1}{(2\lambda)} \left( \frac{1}{d_1} - \frac{1}{\alpha_2 d_2^2} \right) \right) + \frac{1}{(\alpha_2 d_2^2)}} \quad (3.32)$$

## Masalalar

1. Bug' qozonidagi tutun gazlarining harorati  $t_{c1}=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , suvning harorati  $t_{c2}=200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , gazlardan devorga issiqlik berish koeffitsiyenti  $\alpha_1=100\text{ Vt/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$  va devordan suvga issiqlik berish koeffitsiyenti  $\alpha_2=5000\text{ Vt/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$  bo'lganda  $1\text{ m}^2$  isitish sirtidan o'tgan issiqlikni va devor sirtlaridagi haroratlarni toping. Devor materialining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti  $\lambda=50\text{ Vt/m }^{\circ}\text{C}$  va qalinligi  $\delta=12\text{ mm}$  ga teng.

Javob:  $q=76560\text{ Vt/m}^2$ ,  $t_1=234\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_2=215\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

2. Qozondagi gazning harorati  $t_{c1}=1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , suvning harorati  $t_{c2}=200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , yassi devordan o'tgan issiqlik oqimining zichligi  $q=50000\text{ Vt/m}^2$  va devordan suvga issiqlik berish koeffitsiyenti  $\alpha_2=5700\text{ Vt/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$  ga teng. Agar devor materialining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti  $\lambda=56\text{ Vt/m }^{\circ}\text{C}$ , qalinligi  $\delta=12\text{ mm}$  bo'lsa, issiqlik uzatish koeffitsiyenti, gazlardan devorga issiqlik berish koeffitsiyenti va qozon devori sirtlaridagi haroratlarni aniqlang.

Javob:  $k=55,6\text{ Vt/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\alpha_1=55,5\text{ Vt/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  
 $t_1=200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_2=188\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

3. Bug' qozonining devori qalinligi  $\delta_1=230\text{ mm}$  bo'lgan o'tga bardoshli g'ishtdan, qalinligi  $\delta_2=40\text{ mm}$  havodan va qalinligi  $\delta_3=380\text{ mm}$  bo'lgan qizil g'ishtdan iborat. Bug' qozonidagi gazlarining harorati  $t_{c1}=1100\text{ }^{\circ}\text{C}$  va havoning harorati  $t_{c2}=30\text{ }^{\circ}\text{C}$  bo'lganda, qozon devori qatlamlari orasidagi havoning atrof- muhitga yo'qalayotgan issiqlikka va tashqi sirt haroratiga ta'sirini aniqlang. Gazlardan devorga issiqlik berish koeffitsiyenti  $\alpha_1=10\text{ Vt/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$  va devordan havoga issiqlik berish koeffitsiyenti  $\alpha_2=5\text{ Vt/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$  teng. Devor materialining issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti mos ravishda:  $\lambda_1=1,65\text{ Vt/m }^{\circ}\text{C}$ ,  $\lambda_2=0,4\text{ Vt/m }^{\circ}\text{C}$  va  $\lambda_3=0,7\text{ Vt/m }^{\circ}\text{C}$ .

Javob: Issiqlikning yo'qolishi  $50,5\%$ ,  
 tashqi qatlam harorati  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  ga kamayadi.

Diametri  $150/165\text{ mm}$  bo'lgan quvur ichida harorati  $t_{c1}=90\text{ }^{\circ}\text{C}$  bo'lgan suv harakatlanadi. Quvurning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti  $\lambda=50\text{ Vt/m }^{\circ}\text{C}$ , atrof-muhitning harorati  $t_{c2}=-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , suvdan quvur devoriga issiqlik berish koeffitsiyenti  $\alpha_1=1000\text{ Vt/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$  va quvurdan havoga issiqlik berish koeffitsiyenti  $\alpha_2=12\text{ Vt/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$  bo'lganda,  $1\text{ m}$  quvur sirtidan o'tgan issiqlik va quvurning ichki, tashqi sirtlaridagi haroratlarni aniqlang.

Javob:  $q_1=652\text{ Vt/m}$ ,  $t_1=89,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_2=89,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## Nazorat savollari.

1. III- tartibli chegara shartlari nima?
2. Bir qatlamli yassi devor uchun issiqlik uzatishni ifodasini keltirib chiqaring.
3. Ko'p qatlamli yassi devor orqali issiqlik uzatilishini ifodasini yozib bering.
4. Bir qatlamli silindrik devor uchun III- tartibli chegara sharti ifodasini yozing.
5. Ko'p qatlamli silindrik devor uchun issiqlik uzatish.
6. Izolyatsiyaning kritik diametri.
7. Shar shaklidagi yuzaning issiqlik uzatishi.

## 4. Nobarqaror sharoitda issiqlik o'tkazuvchanlik

### 4.1. Asosiy tushunchalar

Agar harakatlar maydoni vaqt bo'yicha o'zgarsa bunday sharoitda bo'lib o'tadigan issiqlik jarayonlari nobarqaror jarayonlar deyiladi. Nobarqaror issiqlik o'tkazuvchanlik jarayonlari metall sovutishda qattiq jisimlarni o'yishda shishalarni tayyorlashda, g'ishtni pishitishda, daraxtni qizdirishda va boshqalarda uchraydi.

Nobarqaror issiqlik o'zgaruvchanligini agar harorat maydonini o'zgarishi qonuni va issiqlik oqimini vaqt o'tishi bilan o'zgarishi bo'lsa aniqlasa bo'ladi.

$$t = f(x, y, z, \tau) \quad \text{va} \quad Q = f(x, y, z, \tau) \quad (4.1)$$

Bu yerda :  $x, y, z$  - nuqta koordinatalari

$\tau$  - vaqt.

Vaqtining o'zgarishini va issiqlikning o'zgarishi Fur'yening issiqlik o'tkazuvchanligi differensial tenglamasini yechish bilan aniqlash mumkun;

$$\frac{\partial z}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = a \nabla^2 t, \quad (4.2)$$

Quyidagi (4.2) yechishda chegara shartlari va jism yuzasida haroratning o'zgarishini bilish kerak bo'ladi.

Chegara shartlari quyidagi tenglama yordamida beriladi:

$$\left(\frac{\partial t}{\partial \tau}\right)_{yuza} = -\left(\frac{\alpha}{\lambda g}\right)(t_{yuza} - t_{muhit}) \quad (4.3)$$

Bunda  $\left(\frac{\partial t}{\partial \tau}\right)_{yuza}$  - yuza bo‘ylab yo‘nalgan harorat gradienti

$\alpha$ -yuza va muhit orasidagi issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti.

$\lambda_d$ - devorning issiqlik o‘tkazuvchanligi koeffitsiyenti.

$t_{yuza}$ -yuzaning harorati.

$T_{muhit}$ -muhitning harorati.

Fizik kattaliklar  $\lambda, c, \rho$  o‘zgarmas kattalik bo‘lib qoladi.

Ko‘rilayotgan jismning boshlang‘ich vaqt birligi ichida, ya‘ni  $\tau = 0$  bo‘lganida bir tekis taqsimlangan ya‘ni  $t_0 = \text{const}$

(4.2) va (4.3) tengliklarni chegara vaqt shartlari bilan birgalikda yechish natijasida haroratlar maydoni tenglamasini quyidagi ko‘rinishga olib keladi.

$$t = f(a, \lambda, \alpha, \tau, x, y, z, t_0, t_{o'r}, l_0, l_1, \dots, l_n) \quad (4.4)$$

(4.4) ifodadan ko‘rinib turibdiki, harorat juda ko‘p o‘zgaruvchi parametrlarga bog‘liq shuning uchun uning yechimi juda katta qiyinchiliklarga olib keladi

(4.4) ifodani tahlil qilish shunu ko‘rsatib turibdiki, ifodadagi o‘zgaruvchan kattaliklarni guruhlar asosida yozishimiz mumkin.

$$\frac{al}{\lambda g} = Bi \quad - \text{Bio soni}$$

$$\frac{a\tau}{l^2} = Fo \quad - \text{Fure soni}$$

$$\frac{x}{l} \quad - \text{o'lchamsiz koordinata}$$

O‘lchamsiz harorat  $\frac{V}{V_1}$  quyidagicha yoziladi:

$$V = t_{jism} - t_{muhit} \quad (4.5)$$

$V$ - tashqi muhitning haroratidan hisoblangan harorat bo‘lib qattiq jisimni ortiqcha harorati hisoblanadi.

Shularni hisobga olganda ifoda quyidagicha aniqlanadi:

$$\frac{V}{V_1} = F\left(F_o, Bi, \frac{x}{l}\right) \quad (4.6)$$

## 4.2. Regulyar rejim. Regulyar rejim holatda nobarqaror issiqlik o'tkazuvchanlik

Nobarqaror issiqlik o'tkazuvchanlikda harorat vaqt o'tishi bilan o'zgarishdan qoladi. Shuning uchun har bir holat o'zgarishini haroratga bog'liq ravishda o'zgarishini tekshirish zarurdir. Istalgan yuza bo'ylab harorat o'zgarib borsa, u holda yuza bo'ylab haroratning vaqt bo'yicha taqsimlanishi e'tiborga olinadi.

Ixtiyoriy jismni o'zgarmas harorat va o'zgarmas issiqlik berish koeffitsiyentini vaqt bo'yicha o'zgarishi issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamasi yordamida aniqlanadi.

$$\frac{dt}{dt} = q \nabla^2 t \quad (4.7)$$

va chegara shartlari:

$$\left(\frac{dt}{dt}\right)_{n=0} = 0 = -\left(\frac{\ell}{\alpha}\right)(t_d - t_{o,r})(t)_{\tau=0} = f(\alpha_1, y_1, z) \quad (4.8)$$

Harorat xohlagan nuqtada quyidagicha o'zgaradi:

$$v = \sum_{i=1}^{\infty} A_i V_i E^{-m_i \tau} \quad (4.9)$$

Bunda  $V = t_0 - t_{o,r}$ ;  $A_i$  – o'zgarmas kattaliklar bo'lib, u jismning tuzilishi va haroratlarning taqsimlanishiga bog'liqdir:

$V_i$  – haroratni fazoda o'zgarishini xarakterlaydigan koordinata funksiyasi;

$m_i$  – bir qator o'sib boradigan sonlarni xarakterlaydigan o'zgarmas kattaliklar;

(4.8)- tenglamani tahlil qilish shuni ko'rsatadiki,  $\tau$  ning kichik sonlarida ( $\tau = 0$  dan  $\tau = \tau_p$  gacha) sovitish jarayoni, sovitishning boshlang'ich shartiga bog'liq, sovitish shartiga bog'liqmasdir. Sovitishning bu oralig'i (4.8) ifodadagi faqat birinchi emas, balki qolganlari bilan ham aniqlanadi. Bu sovitish jarayonining birinchi oralig'i deyiladi.

Vaqtning oshishi bilan birinchi qatordan tashqari, qolganlari nolga intiladi.  $\tau > \tau_1$  bo'lganida boshlang'ich shartlar ikkilamchi xususiyatga ega bo'lib qoladi va jarayon jism yuzasining sovitilishi shartlariga uning fizik parametrlariga geometrik tuzilishiga, o'lchamlariga bog'liq bo'ladi. Sovitish jarayonining ikkinchi bosqichi regulyar holat bilan yoziladi:

$$V = A_1 U_1 L^{-mi} \tau \quad (4.10)$$

(4.10)ni logariflaymiz.

$$\ln V = \ln(AU) - m\tau = -m\tau + C \quad (4.11)$$

(4.11) ifoda shuki ko'rsatadiki ortiqcha harorat (V) ning natural logarifmi vaqt bo'yicha to'g'ri chiziqli bog'lanishga ega.

(4.11) ning ikkala qismni vaqt differensiallash natijasida quyidagiga ega bo'ladi:

$$m = -\frac{1}{V} \frac{dV}{d\tau}, c^{-1} \quad (4.12)$$

Bu ifodadan ko'rinib turibdiki, jismning istalgan nuqtadan vaqt birligida haroratni o'zgarishining nisbiy tezligi koordinataga va vaqtga bog'liq emas. M kattaligi regulyar rejimning me'yori deyiladi.

Umuman olganda m kattalik quyidagicha aniqlanadi:

$$m = \varphi A \frac{\alpha}{c}, c^{-1} \quad (4.13)$$

Bu yerda:  $\varphi$  - o'lchamsiz proporsiallik koeffitsiyenti

$\alpha$  – issiqlik berish koeffitsiyenti

A – jism yuzasi

$C = cpv$  – to'liq issiqlik sig'imi

### 4.3 Yassi yuzada nobarqaror issiqlik o'tkazuvchanlik

Cheksiz yassi devorning qalinligi  $2\delta$  ( $L=d$ ) deb qilingan bo'lsin. Agar boshlang'ich hisoblovchi haroratga atrof muhitni  $t_m$  ni va devorning ortiqcha haroratini, belgilansa, yani  $v = t_c - t_0$  deb belgilasak, tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{dv}{d\tau} = q \frac{d^2v}{dx^2} \quad (4.14)$$

$x = \pm\delta$  bo'lganda chegara shartlaridan

$$- \frac{dv}{d\tau} = \frac{ag}{\lambda g} \quad (4.15)$$

Boshlang'ich shartlariga ko'ra, agar  $\tau=0$  bo'lsa, u holda

$$v = v^1 \quad (4.16)$$

Texnik hisoblashlarda ko'pincha yuzaning harorati  $v_g$  ni va devorning o'rtasidagi harorat  $-v_0$  ni bilsak yetarli bo'ladi. Shunda tenglama quyidagicha yoziladi:

$$\begin{aligned} x = 0 \text{ bo'lganida} & \quad \alpha = 0, \\ x = \delta \text{ bo'lganida} & \quad \alpha = 1 \text{ bo'ladi.} \end{aligned}$$

Demak,

$$\frac{v_g}{v^1} = \phi_g(B_i, F_0) \quad (4.17)$$

yoki

$$\frac{v_g}{v^1} = \phi_0(B_i, F_0) \quad (4.18)$$

Haroratlar taqsimlanishidan tashqari issiqlik oqimini  $Q_g$  ni topish kerak bo'ladi.

Nazorat savollari:

1. Nobarqaror issiqlik o'tkazuvchanlik nima?
2. Nobarqaror issiqlik o'tkazuvchanlikdagi kriteriylarni izohlab bering.
3. Regulyar rejimnimaning izohlaydi?

## 5.KONVEKTIV ISSIQLIK ALMASHINUVI (ISSIQLIK BERISH)

### 5.1. Umumiy tushunchalar

Konvektiv issiqlik almashinuvi yoki **issiqlik berish** deb, qattiq jism bilan suyuqlik yoki gazlar orasidagi issiqlik almashuviga aytiladi. Konvektiv issiqlik almashinuvi bir vaqtning o'zida ikki usul: konveksiya va issiqlik o'tkazuvchanlik yo'li bilan amalga oshiriladi. Bunda issiqlik tarqalishi harakatlanuvchi muhitga (suyuqlik yoki gazga) uzluksiz bog'liqdir.



Issiqlik berish jadalligi ko'p hollarda issiqlik tashuvchining Issiqlik berish yuzasiga nisbatan harakat tezligiga bog'liq bo'ladi. Issiqlik tashuvchining harakati erkin yoki majburiy bo'lishi mumkin.

Erkin harakatlanish yoki **erkin konveksiya** deganda tizimda suyuqlik yoki gazning tashqi bir xil bo'lmagan massaviy kuchlar maydoni (gravitatsion, magnit, elektr yoki inersiya maydonlari kuchlari) ta'siridagi harakat tushuniladi.

Majburiy harakat yoki **majburiy konveksiya** tizim chegaralariga qo'yilgan tashqi yuza kuchlari yoki tizim ichidagi suyuqlikka quyilgan massaviy kuchlarning bir xil maydoni; suyuqlikka tizimdan tashqari berilgan kinetik energiya hisobiga yuzaga keluvchi harakat hisoblanadi.

Amaliyotda suyuqlik yoki gazlarda erkin konveksiya suyuqlikning issiq va sovuq zarrachalari zichliklari farqi tufayli sodir bo'ladi.

Majburiy konveksiya esatashqi kuch ventilyator yoki nasos ta'sirida sodir bo'ladi.

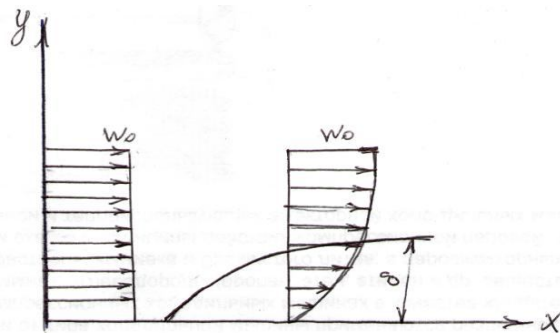
Suyuqlikning oqish tartibi konvektiv issiqlik mashinuvining yuzaga kelishining asosini tashkil etadi.

1884 yilda Reynolds o'zining tajribalari asosida suyuqlikning harakatini **laminar** yoki **turbulent** bo'lishini ko'rsatib berdi.

Suyuqlikning zarrachalarining bir tekisda aralashmagan holda yuzaga kelishiga **laminar oqim** deyiladi. Bunda oqish yo'nalishida normal bo'yicha issiqlikning uzatilishi asosan issiqlik o'tkazuvchanlik bilan amalga oshadi. Suyuqlikning issiqlik o'tkazuvchanligi ancha kichik bo'lganligi sababli tezlik uncha katta bo'lmaydi.

Oqish tezligi muayyan qiymatdan ortishi bilan harakat holati keskin o'zgaradi, ya'ni tartibsiz harakat yuzaga kelib, oqim butunlay aralashib ketadi. Bunday oqim **turbulent oqim** deb ataladi.

Turbulent oqimda issiqlik oqim ichida issiqlik o'tkazuvchanlik yo'li bilan barcha zarrachalarning aralashishi bilan tarqaladi, shuning uchun ham issiqlik mashinasi turbulent oqimda yuqoriroq bo'ladi.



5.1 – rasm. Suyuqlikni quvur bo'ylab harakatlanishi.

Reynolds suyuqlikning quvurdagi oq'ish tartibini o'lchamsiz qiymat bilan aniq'lanishini ko'rsatdi, bu qiymat **Reynolds soni** deb ataladi. Laminar suyuqlik yoki gaz bir tekisda qatlam-qatlam bo'lib harakatlanadi ( $Re < 2300$ ), turbulent oqimda qatlamlar bir-biri bilan aralashib harakatlanadi ( $Re > 10\ 000$ ).

Suyuqlikning quvur bo'ylab harakatlanishini o'ziga xos xususiyatlari bor. Tezligi o'zgarmas bo'lgan suyuqlikni quvur bo'ylab harakatini ko'rib chiq'amiz (5.1-rasm).

Suyuqlikquvur bo'ylab oqa boshlashi bilan ishq'alanish natijasida devorlar yaqinidagi suyuqlik zarrachalari devorlarga yopishib qoladi. Natijada devorlar yaq'inida tezlik nolgacha pasayadi. Suyuqlik sarfi o'zgarmaganligi sababli tezlik quvur kesimining o'rtasida ko'payadi. Bundaquvur devorlarida gidrodinamik chegara qatlam hosil bo'ladi. Bu qatlamning qalinligi doqim bo'ylab ortadi. Tezlik ortishi bilan chegara qatlamning qalinligi kattalashadi. Suyuqlikning qovushqoqligi ortishi bilan qatlamning qalinligi ham ortadi. Bu o'z navbatidasuyuqlikdan qattiq jism sirtigaissiqlikerishni kamaytiradi.

Suyuqlikquvur bo'ylab laminar harakatda bo'lganda hosil bo'lgan chegara qatlam tufayli issiqlikalmashinishi kam bo'ladi, turbulent harakat yuzaga kelishi bilan harakatlanmay qolgan suyuqlik zarrachalarining harakat tezligi ortishi tufayli chegara qatlamning qalinligi kamayadi, natijadaissiqlikalmashinishi ortadi.

Issiqlik berish jarayonini hisoblashda N'yuton-Rixman qonunidan foydalaniladi:

$$Q = \alpha (t_d - t_m) F \quad (5.1)$$

bu yerda:  $Q$  – issiqlikoqimi,  $Vt$ ;  
 $\alpha$  – issiqlik berish koeffitsiyenti,  $Vt/m^2K$ ;  
 $t_m$  – atrof-muhit harorati,  $^{\circ}C$ ,  
 $t_d$  – devor sirtining harorati,  $^{\circ}C$ ;  
 $F$  – issiqlikalmashinuv yuzasi,  $m^2$ .

Issiqlik berish koeffitsiyentia  $\alpha$  - son jihatdan 1 sekund vaqt ichida  $1\ m^2$  yuzadan muhitga yoki muhitdan  $1\ m^2$  yuzaga haroratlar farqi  $(t_d - t_m)$  yoki  $(t_m - t_d)$   $1^{\circ}C$  ga teng bo'lganda berilgan issiqlik miqdoriga teng, agar  $t_d > t_m$  bo'lsa,  $\Delta t = t_d - t_m$ ; agar  $t_m > t_d$  bo'lsa,  $\Delta t = t_m - t_d$  bo'ladi.

Issiqlikoqimi zichligi:

$$q = \alpha \Delta t, \quad Vt/m^2 \text{ ga teng.} \quad (5.2)$$

## 5.2. Issiqlik berish koeffitsiyentiga ta'sir etuvchi faktorlar

Turbulent harakatda esa suyuqlikqatlam larini bir-biriga aralashishi natijasida tartibsiz holatdagi harakatidir. Buning natijasida oqimning harakatlanmasdan qolgan holati bo'lmaydi, balki hammasi bir-biri bilan aralashib harakat hosil qiladi, harakat tezligi orta boradi. Xarakat holatini o'zgarishi issiqlik beruvchanlikning intensivligiga ta'sir etadi. Laminar harakat holatida tabiiy molekulalarning harakati bir tekisda bo'ladi.

Buning natijasida suyuqlik harakatlanayotgan qattiq jism sirti yuzasida laminar qatlam, ya'ni harakatlanmasdan qolgan suyuqlik (gaz) molekulalarining qatlami hosil bo'ladi. Shu qatlamning qalinligi qancha katta bo'lsa, qattiq jism sirti shuncha kam bo'ladi. Turbulent harakat holatida esa shu harakatlanmasdan qolgan qatlam ning qalinligi kamayishi hisobiga qattiq jism sirtidan suyuqlikka issiqlik berish ortadi.

Issiqlik berish koeffitsiyenti –  $\alpha$  fizik parametr bo'lib, u jism o'zidan q'ancha issiqlik bera olishini ifodalaydi. Uning fizik ma'nosi: Vaqt birligida yuza birligidan muhitga berilgan issiqlik, issiqlik berish koeffitsiyentiga, haroratlar farqiga, yuzasiga to'g'ri proporsional.

Issiqlik berish koeffitsiyenti fizik parametr bo'lgani uchun ham, u juda ko'p faktorlarga bog'liq ravishda o'zgaradi:

$$\alpha = f(\lambda, c, \alpha, \gamma, \mu, \Delta t, t_{\text{qizilayotgan}}, t_{\text{muhit}}, d, l, \rho) \quad (5.3)$$

### 5.3 Konvektiv issiqlik almashinuvining differensial tenglamalari

1. Konvektiv issiqlik almashinuvida jismning oqib chiqishi gidrodinamikasi katta rol o'ynaydi, chunki shunday holatda issiqlik berishni sodir bo'lish mexanizmi aniqlanadi. Issiqlik berilishi va o'tkazuvchanlik N'yuton – Rixman va Fur'ye qonunlari orqali yuzaga kelishi mumkin.

$$dQ = \alpha (t_d - t_e)dF, \quad (5.4)$$

yoki

$$dQ = - \lambda \left( \frac{dt}{dn} \right) dF \quad (5.5)$$

Tenglamalarning chap tomoni teng bo'lgani uchun ham, o'ng tomoni ham teng bo'ladi:

$$\alpha (t_s - t_d)dF = - \lambda \left( \frac{dt}{dn} \right) dF \quad (5.6)$$

bundan:

$$\alpha = - \frac{\lambda}{\nabla t} \left( \frac{dt}{dn} \right) dF \quad (5.7)$$

(5.7) tenglama issiqlik beruvchanlik differensial tenglamasi deb ataladi.

Umuman olganda,

konvektiv issiqlik almashinuvini differensial tenglamalariturlanib, u issiqlik beruvchanlik koeffitsiyentini fizik parameterekanligi va fizik kattaliklarga bog'liq ekanligi dani keltirib chiqadi.

2. Energiya differensial tenglamasi, buharakatlanayotgan suyuqlikni istalgan nuqtasida haroratni yuz bilan vaqt orasida o'zgarish bog'lanishini ifodalaydi. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini, issiqlik sig'imini vazichlik orasida bog'lanishni ifodalab beradi. U quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{dt}{dx} w_x + \frac{dt}{dy} w_y + \frac{dt}{dz} w_z = \frac{\lambda}{c\rho} \left( \frac{d^2t}{dx^2} + \frac{d^2t}{dy^2} + \frac{d^2t}{dz^2} \right) \quad (5.8)$$

3. Harakat differensial tenglamasi. Bu tenglamatezlikning vaqt bo'yicha o'zgarishi bilan fizik parametrlar orasida bog'lanishni ifodalaydi va quyidagicha bo'ladi:

$$\rho \left( \frac{dw}{d\tau} + \frac{dw}{dx} w_x + \frac{dw}{dy} w_y + \frac{dw}{dz} w_z \right) = \rho g - j^i \left( \frac{d\rho}{dx} + \frac{d\rho w_y}{dy} + \frac{d\rho w_z}{dz} \right) \quad (5.9)$$

4. Uzluksiz differensial tenglamasi. Bu tenglamatezlik vaqt bo'yicha o'zgarishi bilan fizik parametrlar orasida bog'lanishni ifodalaydi va quyidagicha yoziladi:

$$\frac{d\rho}{d\tau} + \frac{d(\rho w_x)}{dx} + \frac{d(\rho w_y)}{dy} + \frac{d(\rho w_z)}{dz} = 0 \quad (5.10)$$

## 5.4 Bir o'lchamlik shartlari

Bu differensial tenglamalar issiqlik berish jarayonini umumiy holda yoritib beradi. Konvektiv issiqlik almashinuviga konkret masalalarini yechishda differensial tenglamalar tizimiga bir o'lchamlilik qo'shish lozim.

Ular quyidagilardan iborat:

1. Jismning shakli va o'lchamlarini tavsiflovchi geometrik shartlar;
2. Jismning fizik xossalarini tavsiflovchi fizik shartlar;
3. Tekshirilayotgan jarayonni vaqt bo'yicha o'ziga xos ko'rsatuvchi vaqt shartlari. Beqaror jarayonlar uchun vaqt shartlari kerak emas.
4. Chegaraviy shartlar 3 xil bo'lib quyidagicha aniqlanadi:

Birinchi tartibli chegara shart bo'yicha issiqlik berish jarayonida qatnashayotgan jismning sirtidagi harorat qiymati belgilanadi:  $t_{q,sirt1}, t_{q,sirt2}$ .  
 Ikkinchi tartibli chegara shart bo'yicha issiqlik uzatish jarayonida qatnashayotgan jismning sirtida issiqlik o'qimining zichligi berilgan:  $q_{q,sirt}$ .  
 Uchinchi tartibli chegara shartida, suyuqlik (gaz) o'qimining harorati beriladi:  $t_{s1}, t_{s2}$ .

Shunday qilib, differensial tenglamalar tizimsi chegaraviy shartlari majmuasi bilan chegaraviy masalani matematik ifodasi bo'ladi. Bunday differensial tenglamalarni tizimini yechish, ayniqsa turbulent oqimlar uchun ancha murakkab.

1904 yili L.Prandtl gidrodinamik chegaraviy qatlami nazariyasini taklif etgan. Bu nazariyaga ko'ra, qattiq jismni yuvib o'tayotgan suyuqlik va gaz oqimini sirtida suyuqlik zarrachalarining yopishishi natijasida yupqa chegaraviy qatlam hosil bo'ladi. Ushbu qatlamdagi jism sirtida suv tezligi noldan qo'zg'atilgan o'qim tezligicha o'zgaradi. Bunday qatlam gidrodinamik chegaraviy qatlam deb ataladi.

### **5.5. O'xshashlik nazariyasi asoslari. Mezonli tenglamalar. Quvurlarda majburiy oqimda issiqlik berish**

Konvektiv issiqlik almashinuvi ko'p o'zgaruvchanlik va bir ma'nolilik differensial tenglamalar bilan izohlanadi.

Issiqlik berish koeffitsiyentini analitik hisoblash, tenglamalarni yechish juda ko'p qiyinchiliklarga olib keladi, shuning uchun issiqlik berish koeffitsiyentini o'xshashlik nazariyasiga asoslanib, tajriba yoli bilan aniqlash katta ahamiyatga ega.

O'xshashlik nazariyasi tajriba qurilmalarida olingan natijalarni boshqa shunga o'xshash hodisalarga tatbiq etish mumkinligini, yani Jarayonlarni o'xshashligini aniqlashga imkon beradi.

Geometriyada ikkita figurani o'xshash deb atash uchun ularning o'xshash tomonlari nisbati va o'xshash burchaklari teng bo'lishi shart. Masalan ikkita uchburchak olsak, ularni o'xshash deb atash uchun quyidagicha yoziladi:

$$\frac{\ell'_1}{\ell_1} + \frac{\ell'_2}{\ell_2} + \frac{\ell'_3}{\ell_3} = C \quad (5.11)$$

Bu yerda  $C$  – o'xshashlik o'zgarimas soni

Issiqlik almashinuvi jarayonlarida issiqlik beruvchanlikning differensial tenglamasini ikkita tizim uchun yoziladi.

1 tizim uchun:

$$\alpha' = -\frac{\lambda'}{\Delta t'} \left(\frac{\Delta t'}{dn'}\right)n \rightarrow 0 \quad (5.12)$$

2-tizim uchun

$$\alpha'' = -\frac{\lambda''}{\Delta t''} \left(\frac{\Delta t''}{dn''}\right)n \rightarrow 0 \quad (5.13)$$

(5.12) ifodadagi o'xshash kattaliklarni o'zgaras kattaliklar bilan yoziladi:

$$C_\alpha = \frac{\alpha''}{\alpha'}, C_\lambda = \frac{\lambda''}{\lambda'}, C_{\Delta} = \frac{\Delta t''}{\Delta t'}, C_n = \frac{n''}{n'}, C_t = \frac{dt''}{dt'} \quad (5.14)$$

(5.14) ifodalarni qisqartirish natijasida quyidagilar hosil bo'ladi:

$$\frac{\alpha''}{\lambda''} = i \quad (5.15)$$

Shunga asoslangan holda o'zgaras birlikka ega bo'lmagan kattalik (mezon)lar kelib chiqadi.

bu yerda:  $w$  – issiqlik tashuvchining harakat tezligi, m/s;

$x$  – geometrik aniqlovchi kattalik, m;

$v$  – kinematik qovushqoqlik koeffitsiyenti, m<sup>2</sup>/s;

$a = \lambda/s$   $\rho$  – harorat o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, m<sup>2</sup>/s;

$g$  – erkin tushish tezlanishi, m/s<sup>2</sup>;

$\beta$  – hajmiy kengayish harorat koeffitsiyenti,  $\frac{1}{K^4}$ ;

$\Delta t = t_d - t_m$  – haroratlar farqi;

$\lambda$  – issiqlik tashuvchining issiqliko'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, Vt/mK.

$\alpha$  – issiqlik berish koeffitsiyenti, Vt/m<sup>2</sup>K;

$s$  – issiqlik tashuvchining issiqlik sig'imi, j/kgK;

$\rho$  – issiqlik tashuvchining zichligi, kg/m<sup>3</sup>.

O'xshashlik mezonni jarayonini matematik tahlil qilish yo'li bilan topish mumkin. Issiqlikalmashinuvni jarayonlarini o'xshashlik mezonlari son jihatdan bir-biriga teng bo'lishi kerak. Issiqlikalmashinuvni jarayonlarining o'xshashliligi bir xil mezon tenglamalari bilan izohlanadi.

Konvektiv issiqlikalmashinuvining o'xshashlik tenglamasi va mezon tenglamasi issiqlik tashuvchining turbulent harakatida (ko'proq majburiy) quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$Nu = f(Re, Pr) \quad (5.16)$$

Issiqlik tashuvchining laminar (ko‘proq erkin) harakatida o‘xshashlilik tenglamasi quyidagicha bo‘ladi:

$$Nu = f(Gr, Pr) \quad (5.17)$$

Suyuqlikquvur bo‘ylab harakatlanganda oqimga qarshilik kuchlari ta’sirida butun quvur ko‘ndalang kesimi va uzunligi bo‘ylab suyuqlik harakati o‘zgarib boradi. Suyuqlikoqimi turbulent va laminar holatda bo‘lishi mumkin. Suyuqlikning fizik xususiyatlari o‘zgarishi tufayli laminar oqimda ( $Re \leq 2300$ ) noizotermik harakatda ikkita holat bo‘lishi mumkin – qovushqoq va gravitatsion qovushqoq.

Bunday harakatlar uchun issiqlik berish qonunlari har xil va ular har xil mezon tenglamalari orqali izohlanadi.

Laminar gravitatsion – qovushqoq holatda harakatlanayotgan issiqlik tashuvchining o‘rtaga issiqlik berish koeffitsiyentini taxminiy qiymatini quyidagi ifoda orqali hisoblash mumkin:

$$Nu_{sd} = 0,15 Re_{s,d}^{0,33} \cdot Pr_s^{0,33} (Gr_{s,d} \cdot Pr_s)^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr_s}{Pr_\theta}\right)^{0,25} \cdot \varepsilon_e \quad (5.18)$$

bu yerda:  $\varepsilon_e$  – quvur uzunligi  $\ell$  ning diametri  $d$  ga nisbatini hisobga oluvchi tuzatma.

$\varepsilon_e$  ning  $\ell/d$  kattalikka bog‘liq ravishdagi qiymatlari jadvalda ko‘rsatilgan. O‘xshashlik mezonlaridagi indeks suyuqlikni yoki devorni o‘rtaga haroratlariga tegishli ekanliklarini ko‘rsatadi. ( $d$  – devor;  $s$  – suyuqlik).

Suyuqlik turbulent ( $Re \geq 10000$ ) harakatlanganda,  $\ell/d > 50$  bo‘lsa, issiqlik berish koeffitsiyentini o‘rtacha qiymat  $i$   $\alpha$  ni quyidagi ifoda orqali topish mumkin.

$$Nu_{sd} = 0,02 Re_{sd}^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_s}{Pr_\theta}\right)^{0,25} \quad (5.19)$$

$Pr_d$  – devordagi suyuqlikning o‘rtacha harorati bo‘yicha olinadi.

To‘g‘ri tekis quvurda turbulent harakat qilayotgan gazning issiqlik berish koeffitsiyentini quyidagi ifoda orqali hisoblash mumkin.

$$Nu_{s(x/d)} = 0,022 Re_{s(x/d)}^{0,8} \cdot Pr_s^{0,43} \cdot \varepsilon_\theta \quad (5.20)$$

Agar  $x/d \geq 15$  bo‘lsa,  $\varepsilon_e \approx 1$  va  $x/d < 15$  bo‘lsa,  $\varepsilon_d = 1,38 (x/d)^{0,12}$  ga teng bo‘ladi.

Agar quvur diametri dumaloq bo'lsa yoki ilonsimon shaklda bo'lsa hisoblashda bu e'tiborga olinishi kerak.

Erkin konveksiya uchun mezonlar tenglamasi:

Gorizonta joylashgan quvurlar , agar  $10^3 < Gr_s Pr_s < 10^9$  bo'lsa,

$$Nu = 0,5 ( Gr_s Pr_s )^{0,25} \left( \frac{Pr_c}{Pr_d} \right)^{0,25} . \quad (5.21)$$

Vertikal quvurlar va yassi vertikal sirtlar laminar holatda agar  $10^3 < Gr_s Pr_s > 10^9$  bo'lsa,

$$Nu = 0,76 ( Gr_s Pr_s )^{0,25} \left( \frac{Pr_c}{Pr_d} \right)^{0,25} . \quad (5.22)$$

Vertikal quvurlar va yassi vertikal sirtlar turbulent holatda agar  $Gr_s Pr_s < 10^9$  bo'lsa,

$$Nu = 0,15 ( Gr_s Pr_s )^{0,33} \left( \frac{Pr_c}{Pr_d} \right)^{0,25} . \quad (5.23)$$

Majburiy konveksiya uchun mezonlar tenglamasi:

Gorizonta plastina atrofida turbulent harakatlanishi

$$Nu = 0,037 Re_s^{0,8} Pr_s^{0,43} \left( \frac{Pr_c}{Pr_d} \right)^{0,25} . \quad (5.24)$$

Gorizonta plastina atrofida laminar harakatlanishi

$$Nu = 0,66 Re_s^{0,5} Pr_s^{0,43} ( d )^{0,25} . \quad (5.25)$$

Quvur ichida turbulent harakatlanishi

$$Nu = 0,021 Re_s^{0,8} Pr_s^{0,43} \left( \frac{Pr_c}{Pr_d} \right)^{0,25} . \quad (5.26)$$

Quvur ichida laminar harakatlanishi

$$Nu = 0,15 Re_s^{0,33} Pr_s^{0,43} \left( \frac{Pr_c}{Pr_d} \right)^{0,25} . \quad (5.27)$$



Quvurlarning ko'ndalang oqib o'tishida ( $10 < Re_s < 10^3$ )

$$Nu = 0,5 Re_s^{0,5} Pr_s^{0,38} \left( \frac{Pr_c}{Pr_d} \right)^{0,25} ; \quad (5.28)$$

$$\text{havo uchun } Nu = 0,44 Re_s^{0,5} . \quad (5.29)$$

Quvurlarning ko'ndalang oqib o'tishida ( $10^3 < Re_s < 10^9$ )

$$Nu = 0,25 Re_s^{0,6} Pr_s^{0,38} \left( \frac{Pr_c}{Pr_d} \right)^{0,25} ; \quad (5.30)$$

$$\text{havo uchun } Nu = 0,22 Re_s^{0,6} . \quad (5.31)$$

Koridorli joylashgan quvurlar to'plamidan oqib o'tishida

$$Nu = 0,23 Re_s^{0,65} Pr_s^{0,33} \left( \frac{Pr_c}{Pr_d} \right)^{0,25} . \quad (5.32)$$

Shaxmatli joylashgan quvurlar to'plamidan oqib o'tishida

$$Nu = 0,41 Re_s^{0,6} Pr_s^{0,33} \left( \frac{Pr_c}{Pr_d} \right)^{0,25} . \quad (5.33)$$

Bu yerda :

$$\text{Nusselt mezoni } Nu = \frac{\alpha d}{\lambda} ; \quad (5.34)$$

$$\text{Reynolds mezoni } Re_s = \frac{\omega d}{\gamma} ; \quad (5.35)$$

$$\text{Prandtl mezoni } Pr_s = \frac{\gamma}{a} ; \quad (5.36)$$

$$\text{Grasgoff mezoni } Gr_s = \frac{g \beta \Delta t d^3}{\gamma^2} , \quad (5.37)$$

$\omega$  – tezlik , m/s ;

$g$  – erkin tushish tezlanishi ,  $m^2/s$  ;

$\gamma$  – kinematik qovushqoqlik koeffitsiyenti ,  $m^2/s$  ;

$\beta = 1/T$  – termik kengayish koeffitsiyenti

Bu tenglamalardagi ko'paytma  $(\frac{Pr_c}{Pr_d})^{0.25}$  havo uchun 1 ga teng deb olinadi.

### Masalalar

1. Gorizontallik almashuv apparatining diametri  $d = 400$  mm, sirtining harorati  $t_{q,s} = 200$  °C va xonadagi havoning harorati  $t_h = 30$  °C ga teng bo'lganda vaqt birligi ichida  $1$  m<sup>2</sup> gorizontallik almashuv apparati sirtidan o'tgan issiqlikni aniqlang.

$$\text{Javob: } q = 1000 \text{ Vt} / \text{m}^2.$$

2. Balandligi  $2$  m bo'lgan vertikal plitaning issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlang, agar plita sirtining harorati  $t_{q,s} = 100$  °C va atrof-muhitning harorati  $t_x = 20$  °C ga teng bo'lsa,

$$\text{Javob: } \alpha = 7,92 \text{ Vt} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

3. Moy bakidagi MS markali moy diametri  $20$  mm li gorizontallik quvurlar yordamida harorati bir xilda saqlanadi. Moyning harorati  $t_s = 60$  °C va quvur sirtidagi harorat  $t_{q,s} = 90$  °C bo'lganda quvur sirtidan moyga berilgan issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlang.

$$\text{Javob: } \alpha = 96,2 \text{ Vt} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

4. Diametri  $76$  mm va balandligi  $4$  m bo'lgan vertikal izolyatsiyalanmagan quvur havoga issiqlik beradi. Havoning harorati  $20$  °C va quvur sirtidagi harorat  $t_{q,s} = 80$  °C ga teng. Quvurdan chiqqan issiqlikni aniqlang.

$$\text{Javob: } Q = 413 \text{ Vt}$$

### Nazorat savollari.

1. Konvektiv issiqlik almashuvini qanday jismlar orasida sodir bo'ladi?
2. Nyuton-Rixman qonuni.
3. Issiqlik berish koeffitsiyentiga ta'sir etuvchi faktorlar.
4. Konvektiv issiqlik almashuvining differensial tenglamalari.

## **6. Erkin harakatlanishda issiqlik berilishi**

Erkin harakat yaxlit (hajmiy) kuchlar hisobiga yuzaga keladi. Bunday kuchlarga og'irlik kuchi, markazdan qochirma kuch va suyuqlikda hosil bo'ladigan elektromagnit maydon yuqori kuchlanganligi kuchlari kiradi. Gravitatsion kuchlar ta'sirida yuzaga keladigan suyuqlikning erkin harakati juda yaxshi o'rganilgan.

Harakat tenglamasida gravitatsion kuchlar hajm birligida keltirilgan kuch o'lchoviga ega bo'lgan kattalik orqali hisobga olingan. Issiqlik almashinuvi jarayonida suyuqlikning harorati o'zgaruvchidir. Buning oqibatida zichliklar farqi va uning natijasida ko'taruvchi (tushiruvchi) kuchni beradigan gravitatsion kuchlar farqi yuzaga keladi.

Texnik masalalarda, ko‘rilayotgan muhitning bir nuqtasidan boshqa nuqtasigacha og‘irlik kuchining tezlanishi deyarli o‘zgarmaydi. O‘rganilayotgan suyuqlikdagi elektromagnit maydon yoki markazdan q‘ochma effekti ta‘sirida hosil bo‘ladigan hajmiy kuchlar. Vektor  $F$  ning o‘zgarishi hisobi o‘zgarishi mumkin. Agar faq‘at og‘irlik kuchi hisobga olinsa, u holda,  $F=g$ .

Bu bobda faq‘at erkin gravitatsion harakatdagi Issiqlikajralishi ko‘riladi. Ba‘zi hollarda, gravitatsion, konveksiya uchun olingan natijalardan boshqayaxlit kuchlar ta‘sirida yuzaga keladigan erkin harakatni baholash uchun foydalaniladi. Bu holda og‘irlik kuchining tezlanishi, tezlanish yig‘indisi va yaxnit kuchga ta‘sir qiladigan qo‘shimcha tezlanish (misol uchun, markazdan qancha tezlanish) ga almashtiriladi. Bu yo‘l bilan olingan natija taq‘ribiy (priblijenniy) deb qaralishi kerak, chunki turli kuchlarga mos keladigan tezlanishlar maydoni, gravitatsion tebranish maydonidan farq qilishi mumkinn.

Gravitatsion kuch ta‘sirida erkin harakat hosil bo‘ladi. Harakatlar turbulent va laminar bo‘lishi mumkin.

Erkin laminar harakatda vertikal devorning issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$Nu_{s,x}=0,6(Gr_{s,x}Pr_s)^{0,25}\left(\frac{Pr_c}{Pr_o}\right)^{0,25} \quad (6.1)$$

Laminar oqimida  $t_s=const$  bo‘lganda vertikal devorning issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi ifoda bilan hisoblanadi:

$$Nu_{s,\ell}=0,63(Gr_{s,\ell}Pr_s)^{0,25}\left(\frac{Pr_c}{Pr_o}\right)^{0,25} \quad (6.2)$$

Suyuqlikning gorizonta quvur atrofida erkin laminar harakatlanganda o‘rtacha issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi ifoda orqali hisoblanadi:

$$Nu_{s,d} = 0,5(Gr_{s,d} Pr_s)^{0,25}\left(\frac{Pr_c}{Pr_o}\right)^{0,25} \quad (6.3)$$

Rivojlangan turbulent harakat ( $Gr_{s,x} Pr_s$ ) bo‘lganda vertikal devor bo‘ylab erkin harakatlanishda issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$Nu_{s,x} = 0,15(Gr_{s,x} Pr_s)^{0,53}\left(\frac{Pr_c}{Pr_o}\right)^{0,25} \quad (6.4)$$

(6.1), (6.2), (6.3), (6.4) ifodalarda aniqlanuvchi harorat deb qizigan yuzadan uzoqroqdagi harorat qabul qilinadi.

(6.1) va (6.4) ifodalarda aniqlanishi kerak bo'lgan kattalik sifatida  $x$  qabul qilingan.  $x$  – devorning boshidan boshlab issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlanuvchi maydonga bo'lgan masofa, (6.2) ifodada  $\ell$  - devor uzunligi, (6.3) ifodada esa  $d$  – quvurning tashqi diametri.

Agar suyuqlik hajmi katta bo'lmasa, devor har xil kichik teshiklar bilan chegaralangan, bu chegaralangan hajm deb ataladi, bunda issiqlik berish koeffitsiyentini suyuqlikning turiga, uning harakatiga, devorlar orasidagi haroratlar farqiga, teshiklarning geometrik kattaliklariga bog'liq bo'ladi.

Amaliy hisobda ko'pincha suyuqlik qatlamidan Issiqlik oqimini topish kerak bo'ladi. Bunday sharoitda chegaralangan hajmdagi q'o'sh jarayonlarni Issiqlik o'tkazuvchanlikning ekvivalent jarayoniga almashtirib hisoblanadi:

$$q = (\lambda_{ekv} / \delta) (t_{o_1} - t_s) \quad , \quad \text{Vt/m}^2 \quad (6.5)$$

bu yerda:  $\lambda_{ekv}$  – chegaralangan hajmda issiqlik o'tkazuvchanlik va konveksiya bilan issiqlik o'tishini hisobga oluvchi issiqlik o'tkazuvchanlikning ekvivalent koeffitsiyenti,

$$\lambda_{ekv} = \varepsilon_k \lambda \quad (6.6)$$

bu yerda:  $\lambda$  - suyuqlikning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, Vt/mK;

$\varepsilon_k$  - issiqlik o'tishida konveksiyaning ta'sirini ifodalovchi koeffitsient.

$(Cr - Pr)_d > 10^3$  bo'lgan aniqlikda  $\varepsilon_k = 0,8 (Cr - Pr)_d^{0,25}$  deb qabul q'ilish mumkin.

Aniqlanuvchi harorat sifatida:

$$t_j = 0,5 (t_{o_1} - t_{o_2}) \quad , \quad ^\circ\text{C} \quad (6.7)$$

Aniqlanuvchi kattalik qilib teshik qalinligi  $\delta_m$  qabul qilingan. Gorizontal teshik bo'lgan sharoitda yuq'ori yuzasini harorati pastki qismdagi haroratdan yuqori bo'ladi, suyuqlik harakat qilmaydi va  $\lambda_{ekv} = \lambda$ , konvektiv issiqlik almashinuvi qiymati nolga teng bo'ladi.

## 6.1 Tekis yuza bo'ylab oqish jarayonida issiqlik beruvchanlikning gidrodinamikasi

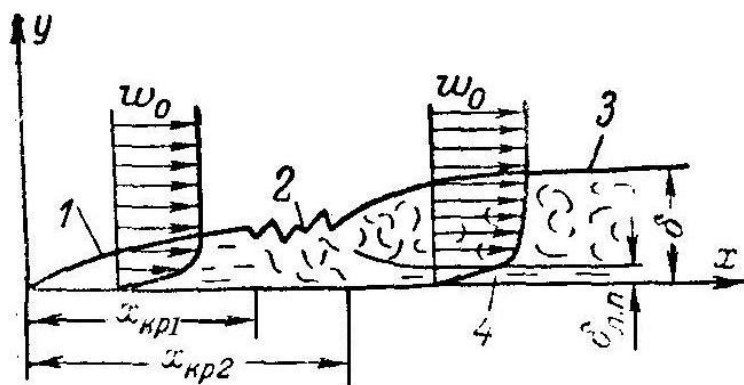
Soddalashtirish maqsadida tekis yuzasuyuqlikoqimi bilan yuvilmoqda vasuyuqlikning qattiq jismdan uzoqroqdagi tezligi va harorati doimiy va  $\omega_0$  va  $t_0$  ga teng deb qaraymiz. Oqim plastina yuzasiga parallel deb qaraymiz.

Plastina yaqinida gidrodinamik chegaraqatlami hosil bo'ladi. Qatlam chegarasidasuyuqlikning tezligi noldan to'yingan oqim tezligigachao'zgaradi.

Chegaraqatlamidagi oqim laminar ham, turbulent ham bo'lishi mumkin (6.2-rasm). Ammo turbulent chegara qatlamida devorda pulsatsiya yo'q (devor o'tkazmaydigan va suyuqlik devorga yopishadi). Bu yerda yopishqoqlik kuchlari katta. Buning oqibatida devorda suyuqlikning juda yupqa qatlami hosil bo'ladi, uning oqish holati laminar va bu qatlam laminar yoki qovushqoqqatlam deb ataladi.

Tajriba shuni ko'rsatadiki, laminar holatdagi oqimdan turbulent xolatdagiga o'tish bir nuqtada sodir bo'lmay ba'zi uchastkalarda sodir bo'ladi. Bu qismdagi oqim nostabil xarakterga ega va o'tuvchi deb yuritiladi.

Laminar va turbulent holatlar uchun issiqlik almashinuvi qonuniyatlari har xil, shuning uchun ular chegarasini aniqlash katta ahamiyatga ega.

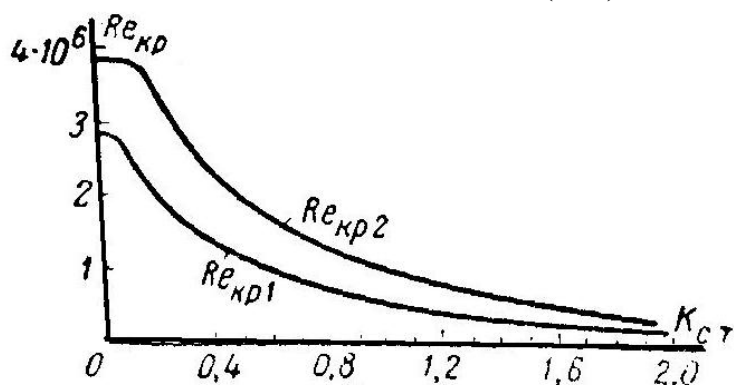


6.1- rasm. Erkin harakatda issiqlik beruvchanlik

Chegara qatlamlaridagi oqim shakli haqida  $Re = \frac{\omega_0 x}{\nu}$  kritik kattalik bo'yicha aniqlanadi bu yerda  $x$  plastina bo'yi bo'yicha uzunligi, old qirrasidan o'lgangan. Tajriba ko'rsatadiki, turbulent holatga o'tish  $Re_{kp}$  ning  $1 \cdot 10^4$  dan  $4 \cdot 10^6$  gacha qiymatlarida vujudga keladi.

Laminar qatlamni buzilish va barqaror turbulent oqimga o'tish koordinatalari  $Re$  dan tashqari o'tib borayotgan oqimning turbulentlik darajasi  $K_{Tg}$  bog'liq. U quyidagi nisbatdan aniqlanadi.

$$K_{mg} = \frac{\sqrt{\frac{1}{3}(\bar{\omega}_x^{1/2} + \bar{\omega}_y^{1/2} + \bar{\omega}_z^{1/2})}}{\omega_0} \quad (6.8)$$



6.2-rasm. Haroratni taqsimlanishida oqim holati o'zgarishi

Bu yerda  $\bar{\omega}_x^{1/2}$ ,  $\bar{\omega}_y^{1/2}$ ,  $\bar{\omega}_z^{1/2}$  - uchta koordinata oqlaridagi pulsatsiyalarni tashkil etuvchilar kvadratlarini vaqt bo'yicha o'rtacha qiymati.

6.2 rasmda egri chiziqlar ko'rsatilgan. Egri chiziqlardan laminar holatdan o'tuvchi  $x_{kp1}$  holatdagi va o'tish turbulent oqimga  $x_{kp2}$  holatga o'tish koordinatalarini aniqlash mumkin. Grafikda

$$Re_{kr1} = \frac{\omega_0 x_{kr1}}{\nu} \quad \text{va} \quad Re_{kr2} = \frac{\omega_0 x_{kr2}}{\nu} \quad (6.9)$$

O'tib boruvchi oqimning turbulentlik darajasi juda ko'p omillarga bog'liq. Uni hisoblash yo'li bilan aniqlash katta qiyinchilik tug'diradi. Shu bilan birga  $Re_{k1}$  va  $Re_{kp2}$  qiymat lari issiqlik almashinuvining intensivligiga, jism bo'ylab bosimning o'zgarishiga, plastinaning old qirrasida oqimga qulayligiga, jismning vibratsiyalanishiga, suyuqlik oqimining pulsatsiyasiga (tebranishiga  $\bar{\omega}$ ) bog'liq. Ta'sir qiluvchi omillarining juda ko'pchiligi o'tish nuqtalarini aniqlashni qiyinlashtiradi.

Shuning uchun o'tuvchi holatni hisoblashda amaliyotda ko'pincha nuqta deb qaraladi, kritik kattaligini esa tajribalardan olinganlar bo'yicha baholashadi.

Plastinani old qirrasida etarlicha oqimga qulayligida  $Re_{kp1} \approx Re_{kp2} \approx Re_{kp} \approx 10^5$  deb qabul qilish mumkin.

Plastina yuzasida issiqlik almashinuvini mavjudligi xollarda gidrodinamik chegara qiymatidan tashqari issiqlik chegara qatlami xam hosil bo'ladi. Issiqlik qatlami chegaralarida suyuqlik harorati plastina yuzasidagi devor harorati  $t_d$  dan,  $t_0$  plastinadan olisdagi suyuqlik harorati  $t_0$  gacha o'zgaradi.

Chegara qatlami uchun konveksiya issiqlik almashinuvining differensial tenglamalari sezilarli soddalashtirishi mumkin. Ammo bu holatda tenglamani aniq echimi katta qiyinchiliklar tugʻdiradi. Shuning uchun hisob-kitobni taxminiy usullarga zaruriyat tugʻdiradi. Hidrodinamik va issiqlik chegara qatlamlarining taxminiy hisob-kitobini chegara qatlamlarining integral tenglamalaridan foydalanilagan xolda amalga oshirish mumkin.

## 6.2 Tekis yuzada suyuqlik xarakatlanganda issiqlik berilishi

Plastina yuzasining harorati  $t_d$  va oqib oʻtayotgan oqimning harorati  $t_c$  har xil boʻlib yuza bilan issiqlik tashuvchi (suyuqlik yoki gaz) bilan issiqlik almashinuvi sodir boʻlayotgani Nyuton-Rixman qonuni bilan aniqlanadi:

$$q = \alpha (t_d - t_s) \quad (6.10)$$

Issiqlik almashinish jarayonida plastina yuzasidan chegara qatlam yuzasiga keladi. Issiqlik tashuvchining harorati -  $t_d$  ning qiymatidan, suyuqlik harorati -  $t_s$  qiymatigacha oʻzgaradi.

Issiqlik chegara qatlamida haroratning taqsimlanishi dinamik chegara qatlamda oqimning oqishiga bogʻliq. Shuning uchun ham laminar chegara qatlamda dinamik qatlamning qalinligi  $\delta$  ni issiqlik qatlam qalinligi  $\Delta\delta$  nisbati Prandtl soniga bogʻliq, yani issiqlik tashuvchilarning issiqlik fizik xossasiga bogʻliqdir.

Agar suyuqlik yuza boʻylab laminar holatda harakatlanayotgan boʻlsa, yani issiqlik uzatilishi qatlamlar orasida issiqlik oʻtkazuvchanlik bilan yuzaga keladi. Turbulent harakat sodir boʻlishida suyuqlikni aralashish natijasida harorat oz miqdorda oʻzgaradi va uning oʻzgarishi tekis egri chizigʻi orqali yuzaga keladi. Shunday qilib, laminar holatda ham, turbulent holatda ham, chegara qatlamda haroratning oʻzgarishi bilan tezlikning oʻzgarishi orasida oʻxshashlik mavjuddir.

Haroratlar farqi ( $t_d - t_s$ ) ni ortishi harorat bilan bogʻliq boʻlgan issiqlik tashuvchini fizik parametrlarining oʻzgarishiga olib keladigan holatni yuzaga keltiradi. Haroratlar farqi qancha yuqori boʻlsa, qovushqoqlik, issiqlik oʻtkazuvchanlik va issiqlik sigʻimlari chegara qatlamning turli nuqtalari turlicha boʻladi. Bunday holat issiqlik beruvchanlikning intensivligiga taʼsir etadi.

Koʻp miqdordagi tajribalarning oʻtkazilishi natijasida issiqlik beruvchanlikni hisoblovchi tenglamalar keltirib chiqarilgan.

Laminar holat uchun:

$$Nu_s = 0,33 Re^{0,5} Pr_s^{0,33} \left(\frac{Pr_e}{Pr_d}\right)^{0,25} \quad (6.11)$$

Oʻrtacha issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlash uchun :



$$Nu_s = 0,66 Re^{0,5} Pr_s^{0,33} \left(\frac{Pr_e}{Pr_d}\right)^{0,25} \quad (6.12)$$

Turbulent holat uchun:

$$Nu_s = 0,03 Re^{0,8} Pr_s^{0,43} \left(\frac{Pr_e}{Pr_d}\right)^{0,25} \quad (6.13)$$

O'rtacha issiqlik berish koeffitsiyenti uchun :

$$Nu_s = 0,037 Re^{0,8} Pr_s^{0,43} \left(\frac{Pr_e}{Pr_d}\right)^{0,25} \quad (6.14)$$

Havo uchun bu mezonli tenglamalar quyidagi ko'rinishga ega.

a) Laminar holat uchun:

$$Nu_s = 0,57 Re^{0,5} \quad (6.15)$$

b) Turbulent holat uchun:

$$Nu_s = 0,032 Re_s^{0,8} \quad (6.16)$$

Gidrodinamikadan ma'lumkitezlikning taqsimlanishida gidrodinamik chegara qatlami qalinligi quyidagi tenglama bilan aniqlanadi.

$$\delta = 4,64 \sqrt{\frac{y_x}{\omega_0}} \quad (6.17)$$

(6.17) ifoda ko'rsatadiki,  $\delta$  plastinaning old qirrasidagi to berilgan nuqtagacha masofalarida kvadrat ildiz ostiga proporsional o'zgaradi.

Bu ifodaga o'lchamsiz ko'rinish berish mumkin.

$$\frac{\delta}{x} = \frac{4,64}{\sqrt{\omega_0 x / \nu}} = \frac{4,64}{\sqrt{Re_x}} \quad (6.18)$$

Issiqlikoqimi tenglamasi yechimini ko'rib chiqamiz. Soddashtirish maqsadida haroratni qattiq jism yuzasidagi haroratdan boshlab sanab chiqamiz, yuzadagi harorat doimiy deb hisoblanadi.

Quyidagicha belgilaymiz:

$$v = t - t_c \quad \text{ba} \quad v_0 = t_0 - t_c$$

Bu yerda  $t_0$  - issiqlik chegara qatlami ichidagi suyuqlik harorati. Bunday hollarda chegara shartlari ilgari gidrodinamik chegara qatlamlari uchun qabul qilingan shartlari o'xshash bo'ladi.

Haqiqatdan ham  $y=0$  da  $v=0$  bo'ladi. Bundan tashqari energiya tenglamasidan kelib chiqib agar devorga tegib turgan suyuqlikda issiqlik faqatgina issiqliko'tkazuvchanlik bilan uzatilishi e'tiborga olinsa, u holda  $(d^2v/dy^2)_{y=0} = 0$ . Issiqlikqatlamining tashqi chegaralarida quyidagi shartlar bajariladi.

$$v = v_0 = \text{const} \quad \text{va} \quad (dv/dy)_{y=k} = 0$$

Natijada haroratning taqsimlanishi tezlikning taqsimlanishiga o'xshash shaklda qabul qilish mumkin.

$$\frac{v}{v_0} = 1,5\left(\frac{y}{k}\right) - 0,5\left(\frac{y}{k}\right)^3 \quad (6.19)$$

bundan shu kelib chiqadiki

$$\frac{dv}{dy} = \frac{1,5v_0}{k} - \frac{1,5v_0}{k^3}y^2 \quad \left(\frac{dv}{dy}\right)_{y=0} = \frac{1,5v_0}{k} \quad (6.20)$$

Issiqlik chegara qatlam lari chegaralarida (6.17) ni  $y=0$  dan  $y=k$  gacha integrallab Issiqlikoqimi tenglamasi integralini hisoblab topamiz. Avvaldan  $k = \delta$  deb q'abul q'ilamiz. Bunday xolatlarda  $y=0$  dan  $y=k$  gacha chegaralarda integrallash issiqlikhamda gidrodinamik qatlam chegaralarda integrallash hisoblanadi.

Agar  $\delta > k$  holatlari uchun ham integrallashni tarq'atilsa, u holda bundan Issiqlik chegara qatlam lari chegaralirida tezlikning taq'simlanishi ikki q'onuniyati bildiradi:

$y > \delta$  bo'lganida (6.20) tenglamasiga muvofiq' va  $\delta \leq y \leq k - \omega_x = \omega_0 = \text{const}$  shartiga muvofiq'.

Integrallashdan quyidagi kelib chiq'adi

$$\int_0^k (t_0 - t)\omega_x dy = \int_0^k (v_0 - v)\omega_x dy = v_0\omega_0 \int_0^k \left[1 - 1,5\left(\frac{y}{k}\right) + \right.$$

$$+ 0,5 \left(\frac{y}{k}\right)^3 \left[ 1,5 \left(\frac{y}{\delta}\right) - 0,5 \left(\frac{y}{\delta}\right)^3 \right] dy = v_0 \omega_0 \delta \left[ \frac{3}{20} \left(\frac{k}{\delta}\right)^2 - \frac{3}{280} \left(\frac{k}{\delta}\right)^4 \right]$$

$k \ll v$  bo'lganligidan  $\frac{k}{\delta} \ll 1$ , shuning uchun tenglamaning o'ng tarafidagi qavsda ikkinchi a'zo birinchiga nisbatan kichik va ular bilan e'tiborga olish mumkin.

Integralning hisoblangan qiymatini va (6.20) ga muvofiq  $(dv/dy)_{y=0}$  qiymat ini kiritib quyidagini hosil q'ilamiz:

$$\frac{3}{20} v_0 \omega_0 \frac{d}{dx} (\beta^2 \delta) = \frac{3}{2} a \frac{v_0}{\beta \delta} \quad (6.21)$$

$$\frac{1}{10} \omega_0 \left( \beta^3 \delta \frac{d\delta}{dx} + 2\beta^2 \delta^2 \frac{d\beta}{dx} \right) = a$$

bu yerda  $\beta = \frac{k}{\delta}$ .

Agar nafaqat gidrodinamik qatlam, balki issiqlikqatlami ham plastinaning eng oldidan rivojlansa, ya'ni plastinaning boshlang'ich qismida isitilmaydigan hududni yo'qligi  $\frac{d\beta}{dx} = 0$  bo'lsa, u holda

$$\frac{1}{10} \omega_0 \beta^3 \delta \frac{d\delta}{dx} = a$$

(6.17) tenglamasidan quyidagi kelib chiqadi.

$$\delta \frac{d\delta}{dx} = \frac{140}{13} \frac{v}{\omega_0}$$

Bu qiymatni avvalgi tenglamaga kiritib, va  $\sqrt[3]{\frac{130}{140}} = 0,98 \approx 1$  deb taxmin qilsak

$$\beta = \sqrt[3]{\frac{a}{v}} \text{ yoki } \frac{k}{\delta} = \frac{1}{\sqrt[3]{P_x}} \text{ ni hosil qilamiz.}$$

Xuddi shu natijani aniqroqyechimlar ham beradi.

(6.17) ga muvofiq  $\delta$  qiymat ini (6.18) tenglamaga kiritib, quyidagini hosil qilamiz:  $k = \frac{4,64x}{\sqrt{\text{Re}} \sqrt[3]{P_r}}$

bu yerda

$$\text{Re}_x = \frac{\omega_0 x}{v}$$

Tomchi suyuqliklar uchun, qoida bo'yicha  $Pr > 1$  va buning natijasida  $k < \delta$ , ya'ni issiqlikoqimi tenglamasini integrallagandagi qabul qilingan shart bajariladi. Moylarda  $Pr$  ayniqsa katta qiymatga ega. Moyning past haroratlarida Prandtl' mezonlari bir necha o'n minglab qiymatlarga erishishi mumkin. Gazlarda Prandtl' mezonlari taxminan 0,6 dan 1 gacha chegaralarda o'zgaradi, shunga o'xshash holatda  $Pr \approx 0,7$  haroratning katta oralig'idir. Bunday vaziyatlarda  $k < \delta$ , lekin issiqlik va gidrodinamik qatlamlari qalinligi orasidagi farq katta emas. Masalan  $Pr \approx 0,6$  bo'lganida  $k = 1,18\delta$ .

Suyuq metallar uchun  $k \gg \delta$ , ular uchun olingan issiqlik almashinuvi tenglamasidan foydalanamiz.

$$\alpha = \frac{\lambda}{v_0} \left( \frac{dv}{dy} \right)_{y=0} \quad (6.21)$$

Haroratning taqsimlanish tenglamasidan  $\left( \frac{dv}{dy} \right)_{y=0} = v_0 \frac{3}{2} \frac{1}{k}$  ni hosil qilamiz.

Issiqlik almashinuvi tenglamasiga kiritgan holda quyidagini hosil qilamiz (manfiy ishorani tekshirib qoldiramiz).

$$\alpha = \frac{3}{2} \frac{\lambda}{k} \quad (6.22)$$

Bundan issiqlik berychanlik koeffitsiyenti issiqlik chegara qatlami qalinligiga teskari proporsional.

(6.22) tenglamasini o'lchamsiz ko'rishga keltirish mumkin. Buning uchun chap va o'ng taraflarni  $x/\lambda$  ga ko'paytiramiz quyidagi hosil bo'ladi.

$$Nu_x = 0,33 \sqrt{Re_x} \sqrt[3]{Pr} \quad (6.23)$$

bu yerda

$$Nu_x = \frac{d_x}{\lambda}, \quad Re = \frac{\omega_0 x}{\nu} \quad \text{va} \quad Pr = \frac{\nu}{a} \quad (6.24)$$

(6.24) tenglamasidan kelib chiqadi, issiqlik almashinuvining koeffitsiyenti  $\omega_0$  tezligining, chiziqli o'lchamlarining va  $\lambda, \nu, a$  fizikaviy parametrlarning funksiyasi hisoblanadi.

uning  $x$  ga tobeligini quyidagicha yozish mumkin.

$$\alpha = \frac{c}{\sqrt{x}} = cx^{-0,5} \quad (6.25)$$

Proporsionallik koeffitsiyentini belgilovchi  $c$  kattaligi  $\omega_0$  texlik va  $\lambda, \nu, \alpha$  fizik kattaliklar  $X$  ga bog'liq emas.

(x) ga muvofiq  $x=0$  da issiqlik almashinuvi koeffitsiyentini cheksiz katta,  $X$  ning o'sishida u oxirgi va sekin asta pasayuvchi kattalikga ega.

$X$  ning bunday xarakterda o'zgarishini shunday holat bilan izohlanadi, bunda harorat farqi  $\nu_0 = t_0 - t_c$  plastina bo'ylab o'zgarmaydi, shu tomonda devordagi harorat gradiyenti  $X$  ning o'sishi bilan uzluksiz kamayadi.

(6.25) ifodasi keyingi shartlar qanoatlantirgandagina hosil plastina yuzasidagi harorat doimiy, suyuqlikning fizik parametrlari haroratga bog'liq emas va plastina boshida isitilmaydigan holat yo'q.

Amaliyot va nazariyaning ko'rsatishicha, bu omillarni hisobga olmaslik sezilarli xatoliklarga olib kelishi mumkin.

Issiqlik almashinuvi plastinaning uzunligi bo'yicha yuzasidagi haroratning o'zgarishiga bog'liqligi. Plastina uzunligi bo'yicha  $t_c$  ni o'zgarishi issiqlik almashinuvida sezilarli ta'sir etishi mumkin. Devor haroratining o'zgaruvchanligi natijasida issiqlik chegara qatlamidagi haroratning taqsimlanishi o'zgaradi, uning qalinligi va jism yuzasidagi suyuqlikda harorat gradiyentining qiymati o'zgaradi.

Plastinaning aniq joyidagi issiqlik almashinuvining koeffitsiyent avvalgi hududdan chegara qatlamining rivojlanishiga, hamda bu hududdagi devor haroratining o'zgarishiga bog'liqdir. Bu effekt suyuqlikning fizikaviy parametrlarining o'zgaruvchanligi bilan qiyinlashadi.

$Nu_{x(m=0)}$  kattaligini (6.26) ifodasidan aniqlash mumkin. (6.26) nisbatini e'tiborga olgan holda plastina yuzasidagi harorato'zgaruvchan bo'lganida va chegara qatlamining laminarligida issiqlik almashinuvining mahalliy koeffitsiyentini hisoblash uchun quyidagi tenglamadan foydalanish mumkin.

$$Nu_{sx} = 033\varepsilon Re_{sx}^{0,5} Pr_s^{0,33} (Pr_s/Pr_s)^{0,25} \quad (6.26)$$

## Masalalar

1. Kvadrat kesimli kanalning eni  $a=10$  mm va uzunligi  $l=1600$  mm ga teng. Kanaldan, suv  $w=4$  m/c tezlikda oqib o'tadi. Suvning harorati  $t_s=40$  °C va kanalning ichki sirtidagi harorat  $t_{q,s}=90$  °C bo'lganda kanal devoridan suvga issiqlik berish koeffitsiyenti va issiqlik oqimini aniqlang.

Javob:  $\alpha = 20300 \text{ Vm/m}^2\text{C}$ ,  $Q=50994 \text{ Vt}$ .

2. Uzunligi  $l=2\text{m}$  va eni  $a=1,5\text{m}$  gorizonta plastinadan havo oqimi o'tadi. Havo oqimining tezligi  $w=3\text{m/s}$ , harorati  $20^\circ\text{C}$  va plastina sirtidagi harorat  $90^\circ\text{C}$  ga teng. Plastinadan havoga issiqlik berish koeffitsiyentini va issiqlik miqdorini aniqlang.

Javob:  $\alpha=4,87 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{ }^\circ\text{С}}$ ,  $Q = 2050 \text{ Vt}$

3. Ichki diametri  $d=50 \text{ mm}$  bo'lgan quvurdan suv  $W=0,8 \text{ m/s}$  tezlikda oqib o'tadi. Suvning harorati  $t_s=50^\circ\text{C}$ , quvur sirtidagi harorati  $t_{q,s}=65^\circ\text{C}$  bo'lganda  $1 \text{ m}$  quvur sirtidan o'tgan issiqlikni aniqlang.

Javob:  $q_\ell = 9,03 \text{ kVt/m}$ .

4. Tashqi diametri  $d=15 \text{ mm}$  bo'lgan suv kolorimetrini havo oqimi ko'ndalangiga oqib o'tadi. Havo kalorimetr o'qiga  $90^\circ$  burchak ostida  $2 \text{ m/s}$  tezlik bilan harakatlanadi. Havoning harorati  $20^\circ\text{C}$  va kolorimetr tashqi sirtining harorati  $t_{q,s}=80^\circ\text{C}$  ga teng. Issiqlik berish koeffitsiyenti va birlik uzunlikdagi issiqlik oqimini aniqlang.

Javob:  $\alpha=36,3 \text{ Vt/2m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $q_\ell = 102 \text{ Vt/m}$ .

Nazorat savollari.

1. Erkin harakatlanishda issiqlik berilishi qanday sodir bo'ladi?
2. Tekis yuzada suyuqlik harakatlanganda issiqlik beruvchanlik qanday sodir bo'ladi?
3. Plastina yuzasida oqishning gidrodinamikasi.

## **7. Quvurlarda suyuqlikning majburiy oqimida issiqlik beruvchanlik.**

### **7.1. Suyuqlik quvur bo'ylab harakatlanganda issiqlik almashuvi**

Hozirgi kunda suyuqlikning turbulent oqimi holatida issiqlik tarqalishining nazariy o'rganishni rivojlantirish, issiqlik almashuvining gidrodinamik nazariyasi asosida amalga oshirilmoqda.

Issiqlik almashinuvining gidrodinamik nazariyasi O. Reynoldsning mexanik energiya va issiqlikning konvektiv ko'chish birligi g'oyasiga asoslanadi.

Bu talqin, issiqlik berish qobiliyati va ishqalanish qarshiligi orasidagi bog'lanishni aniqlashga imkoniyat beradi.

Gidrodinamik tajriba yoki qarshiliklarni hisoblashga asoslangan holda issiqlik almashinuvini hisoblash ifodalarini ishlab chiqish imkoniyati paydo bo'ladi.

Turbulent issiqlik almashinuv mexanizmi mohiyatini ochishda gidrodinamik nazariya yetarli yaxshi natija beradi.

Turbulent chegaraviy qatda, jism sirtida yupqa laminar oqayotgan suyuqlik qatida-yopishqoq yoki laminar qatcha bo'ladi. Bu qatchada "y" -o'qi bo'yicha yo'nalgan jism sirtiga normal yo'nalishda tezlikning sezilarli o'zgarishi ro'y beradi. Harorat ham asosan shu laminar qatcha soxasida o'zgaradi.

Issiqlikning issiqliko'tkazuvchanlik orqali oqim bo'yicha uzatilishi kam, shuning uchun uni e'tiborga olmasa ham bo'ladi.

Shunday qilib, devor sirtiga parallel laminar qatlamning ixtiyoriy tekisligidagi urinma kuchlanish va issiqlikoqimining zichligiquyidagi tenglama orqali aniqlanadi:

$$q = \mu \frac{d\omega_x}{dy} \quad \text{va} \quad q = \lambda \frac{dt}{dy} \quad (7.1)$$

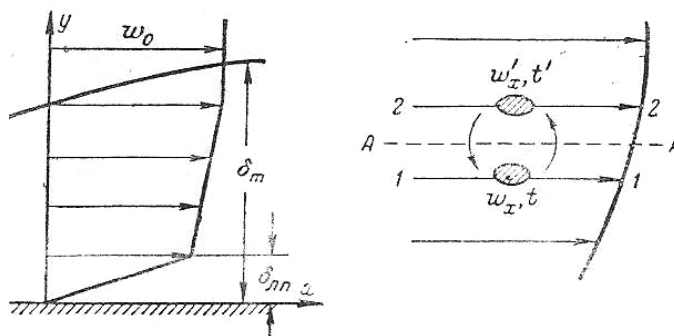
Bunda issiqlik laminar o'tayotgan oqimga ko'ndalang holda faqatgina issiqliko'tkazuvchanlik orqali uzatiladi.

Turbulent tebranish sababli uzluksiz suyuqlik zarralari o'tadi. Sirt birligidan vaqt birligida pastdan yuqoriga o'tayotgan  $\omega_x$  tezlik va  $t$  haroratga ega bo'lgan suyuqlik miqdori. Bu miqdordagi suyuqlik tekislikdan o'tadi. Turg'un holatda shu miqdordagi suyuqlik tekislikdan o'tishi kerak, bunda tezlik  $\omega'_x$  ga va harorat  $t'_x$  ga teng bo'ladi. Pastdan yuqoriga harakatlanayotgan suyuqlikzarralari o'zi bilan birga  $g_T C_p t$  ga teng va pastga harakatlanayotgan zarralari esa  $g_T C_p t'$  ga teng issiqlikni olib o'tadi.

Agar  $t' > t$  bo'lsa, nazorat sirti birligidan vaqt birligiga turbulent almashuv orqali o'tgan issiqlik miqdori quyidagiiifoda bilan aniqlanadi.

Harakatlanayotgan suyuqlik zarralari ma'lum tezlikga ega ekanligi uchun issiqlik bilan bir qatorda kinetik energiya ham olib o'tadi. Agarda  $\omega'_x > \omega_x$  bo'lsa, u holda pastdagi suyuqlikzarralari yuqoridagilaridan tezlanish oladi va teskarisi yani yuqoridagi suyuqlik zarrachalari tezligi kamayadi.

Turbulent almashunuvi sababli harakat miqdorlarining o'zgarishi suyuqlik zarralarining  $w_x$  va  $w'_x$  tezliklari orasidagi farq kamayadi. Shunday qilib suyuqliklarning turbulent almashunuvi, fizik ahamiati butunlay boshqachaligiga qaramasdan, laminar oqimdagi molekulalarning urunma kuchlanishi kabi amal qiladi.



7.1- rasm. Suyuqlik harakatlanishida tezlikning o'zgarishi.

Turbulent almashinuv sababli A – A tekisligida hosil bo'ladigan urunma kuchlanishi. Bu kuchlanishni harakat miqdori qonuni yordamida aniqlash mumkin. Buni ko'rilayotgan holatga qo'llanilganda u quyidagi ko'rinishni oladi.

Turbulent chegaraviy qatlamida issiqlik uzatish koeffitsiyentlari quyidagi tenglama orqali aniqlanadi.

$$Nu_{s,x} = 0,0296 Re_{s,e}^{0,8} Pr_s^{0,43} (Pr_s/Pr_e)^{0,25} \quad (7.2)$$

O'rtacha miqdorlari esa quyidagi tenglama orqali topiladi:

$$Nu_{s,x} = 0,037 Re_{s,e}^{0,8} Pr_s^{0,43} (Pr_s/Pr_e)^{0,25} \quad (7.3)$$

Aniqlovchi  $t_0$  harorat uchun jismdan uzoqdagi suyuqlik harorati qabul qilingan ( $t_c$  orqali tenglamadagi  $Pr_s$  dan tashqari).

O'lchamni aniqlovchi sifatida issiqlik almashuv boshlanadigan nuqtadan hisoblanadigan X – koordinatasi [(7.2) ifodadagi] yoki l – plastina uzunligi [(7.3) ifodadan] olinadi.

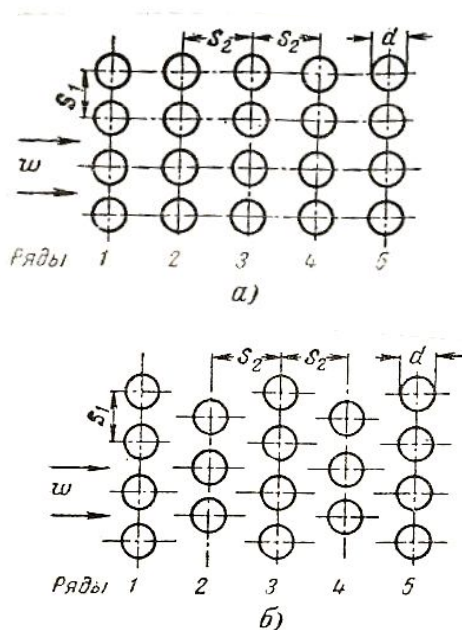
## 7.2. Quvurlar to'plamida issiqlik beruvchanlik

Issiqlik almashinuv qurilmalari kamdan – kam holatlarda ko'ndalang yuviladigan bitta quvurdan tashkil topadi, chunki bunda issiqlik almashinuv



yuzasi katta bo'lmaydi. Odatda quvurlar bog'lam qilib yig'iladi. Texnikada ko'proq quvur bog'lamlarining ikkita asosiy turi uchraydi: shaxmatli va koridorli (7.2 – rasm).

Bog'lam xarakteristikalari, ko'ndalang qadam  $s_1$  (suyuqlikoqimi ko'ndalang yo'nalishi quvurlar o'qlari orasidagi masofa) va bo'ylama qator  $s_2$  (suyuqlikning oqimi yo'nalishiga ketma – ket joylashgan ikki qator quvurlarning o'qlari orasidagi masofa).  $s_1$  va  $s_2$  dan tashqari bog'lamlar quvurlarning tashqi diametri iva suyuqlik yo'lidagi quvur qatorlarning soni bilan ham xarakterlanadi (7.2– rasmda) har – bir bog'lamda beshtadan qator.



7.2 – rasm. Koridorli (a) va shaxmatli (b) bog'lamlarda trubalarning joylashish sxemasi

Muayyan bog'lam uchun quvurlar diametri  $d$  hamda  $s_1$  va  $s_2$  qadamlar odatdasuyuqlikoqimi bo'yicha ko'ndalang ham, bo'ylama ham o'zgarmaydigan kattaliklardir.

Bog'lamdagi suyuqlikoqimi yetarlicha murakkab xarakterga ega. Chunki bog'lamningyonma – yon turgan quvurlari bir – biriga ta'sir o'tkazadi, yakkajoylashgan quvurning yuvilishidan farq qiladi. Odatda, quvurlar bog'lami qandaydir kanalga joylashtiriladi. Shuning uchun bog'lamdagioqim kanaldagi oqim bilanbog'liq bo'lishi mumkin.

Suyuqlikoqishinig ikkitaasosiy tartibi ma'lum: laminar va turbulent. Ushbu holatlar suyuqlik bog'lamda harakatlenganda ham mavjud bo'lishi mumkin. Suyuqlikoqimining shakli ko'proq bog'lamdan oldingi kanaldagi oqimning tabiati (xarakteri)gabog'liq. Agar berilgan sarf va haroratlarda bog'lam o'rnatilgan kanaldagi oqim bog'lam yo'qligida turbulent bo'lsa, u bog'lamga

ham albatta turbulent bo‘ladi, chunki bog‘lam a‘lo darajadagi turbulizator hisoblanadi. Ammo, agar bog‘lam o‘rnatilishiga qadar laminar tartibli oqimga ega bo‘lgan kanalga joylashtirilgan bo‘lsa, buholda  $Re$  sonigabog‘liq holda u yoki bu shakldagi oqimga ega bo‘lish mumkin.  $Re$  qancha kichik bo‘lsa, laminar oqim shuncha barqaror bo‘ladi, qancha katta bo‘lsa – oqimni turbulent holatga o‘tkazish shunchaengil kechadi.  $Re$  ning kichik qiymatlarida oqim laminar bo‘lib qolishi mumkin. Bunda trubalararo tirqishlar alohida o‘zgaruvchan kesimli yoriqsimon kanallar hosil qilgandek bo‘ladi (quvurlar orasidagi masofa juda katta bo‘lgandagi holat bundan mustasno).

Quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$Nu_{s,d} = c Re_c Re_s^n Pr_s^{0,33} (Pr_s/Pr_s)^{0,25} \epsilon_i \epsilon_s \quad (7.4)$$

Bunda, shaxmatli bog‘lamlar uchun  $s = 0,41$  va  $n = 0,60$  va koridorli bog‘lamlar uchun  $s = 0,26$ ,  $n = 0,65$ . Bu (4) ifodada quvurlar bog‘lamining tashqi diametri asosiy o‘lchov hisoblanadi.  $Re_{cd}$  mezoniga suyuqlikning tezligi bog‘lamning eng ingichka ko‘ndalang kesimli joyidan hisoblanadi. Suyuqlikning o‘rtacha harorati asosiy harorat hisoblanadi (devor harorati bo‘yicha tanlanadigan  $Re_c$  bundan mustasno).

### Nazorat savollari.

1. Konvektiv issiqlik almashinuvi haqida tushuncha bering.
2. Nima uchun o‘xshashlik nazariyasi kiritilgan?
3. Issiqlik berish koeffitsiyenti nimalargabog‘liq?
4. Quvurlarda issiqlik berish qanday sodir bo‘ladi?
5. Erkin harakatlanishda issiqlik berilishi qanday sodir bo‘ladi?
6. Majburiy harakatlanishda issiqlik berilishi qanday sodir bo‘ladi?
7. Nusselt mezoni nimani ifodalaydi?
8. Laminar va turbulent oqim nima?

### 8. Quvur va quvurlar bog‘lamining ko‘ndalang oqib o‘tishida issiqlik almashinuvi.

#### 8.1. Quvurning ko‘ndalang oqib o‘tishidagi issiqlik almashinuvi.

Suyuqlik quvurning ko‘ndalang oqib o‘tishida juda ko‘p qulayliklarga ega. Bu esa oqib o‘tayotgan oqimning harakatini quvur yuzasiga yaqinligiga bog‘liqdir. Tajriba shuni ko‘rsatadiki, quvur atrofida tekis harakatning sodir

bo'lishi Reynolds sonining kichik qiymatida sodir bo'ladi, ya'ni  $Re < 5$  (8.1, a-rasm).

Tabiiy konveksiyaning quvurining turli holatlarida uning qizishiga va sovutishiga ta'sirini hisobotga olish mukammal masala hisoblanadi.

Yopishqoq gravitatsion rejimning ba'zi xususiy hollari uchun tajriba natijalari umumlashtirib olingan M.A.Mixeyev yopishqoq gravitatsion rejimda issiqlik uzatishning o'rtacha koeffitsiyentini yaqinlashtirilgan hisobini quyidagi formula yordamida bajarish tavsiya etadi.

$$Nu_s = 0.1 Re_s^{0.33} \quad (8.1)$$

Bu yerda aniqlovchi sifatida quvurdagi suyuqlikning harorati olingan. Aniqlovchi o'lchov sifatida quvurning ichki diametrik olingan.

## 8.2. Quvurlar bog'larning ko'ndalang yuvilishida issiqlik almashinuvi

Hozirgi paytda dumaloq quvurlardagi issiqlik almashinuvi yaxshi o'rganib chiqilgan ko'ndalang kesimi dumaloq bo'lmagan quvurlardagi issiqlik almashinuvining hisob-kitob qilinishi natijasida diametri quyidagiga teng:

$$d_{ekv} = \frac{4V}{F} = \frac{4f}{P} \quad (8.2)$$

Bu yerda:

f-quvurning ko'ndalang kesim yuzasi.

P-ko'ndalang kesimda qo'llanadigan perimetr

V - quvur ichidagi suyuqlik hajmi.

Tenglamasi asosidan aniqlanadigan kesimi dumaloq bo'lgan ekvivalentquvuridagi issiqlik almashinuvining hisob-kitobi keltiriladi. Dumaloq quvurlar uchun  $d_{Ek} = d$ .

$d_{Ek}$  yordamida issiqlik almashinuvini hisoblash uslubi taxminiy hisoblanadi. Bu uslubni qollashdagi aniq chegaralari hali aniqlanmagan.

Ayrim sinab olingan natijalari shuni ko'rsatadiki, ko'p hollarda bunday taxminiy hisob-kitoblarni qoniqarli deb hisoblash mumkin. M.A.Mixeyevning tavsiyasiga binoan to'rtburchak (tomonlarning nisbati  $a/b=1/40$ ) va uchburchak shaklidagi kanal hamda suyuqlik quvur bog'larini ko'ndalang oqib o'tgandagi issiqlik almashinuvini ekvivalent diametr yordamida hisoblash mumkin.

Quvurlarning ko'ndalang oqib o'tishida issiqlik beruvchanlikni kuzatilganda o'zining bir necha xususiyatlari mavjuddir, bu esa oqim gidrodinamikasi bilan tushuntiriladi. Tajriba shuni ko'rsatadiki, bir tekis uzilmas oqimning hosil bo'lishi oqim tezligining kichik qiymatlarida yuzaga

keladi, bu esa oqim harakatining laminar holatiga mos keladi. Tezlikning ortib borishi harakat holatining o'zgarishiga, ya'ni turbulent holatning yuzaga kelishiga olib keladi.

Yakka quvurlarda egilgan quvurlarda harakatning sodir bo'lishida quvurning old qismida oqim molekulalari to'plamining yuzaga kelishi issiqlik almashinuvini kamaytiradi, shuning uchun ham oqimning harakat tezligini oshirish zarur bo'ladi.

Suyuqlik harakatida va havo harakatida issiqlik beruvchanlikni aniqlashda mezonli tenglamalardan foydalaniladi.

Suyuqlik harakatlanganda quyidagi ifodadan Nu mezoni aniqlanadi.

$Re_s < 10^3$  bo'lganda

$$\bar{Nu}_{s,d} = 0.56 Re_s^{0.5} Pr_s^{0.35} \left( \frac{Pr_c}{Pr_g} \right)^{0.25} \quad (8.3)$$

$Re < 10^3$

$$\bar{Nu}_{s,d} = 0.28 Re_s^{0.6} Pr_s^{0.38} \left( \frac{Pr_c}{Pr_g} \right)^{0.25} \quad (8.4)$$

Havo uchun quyidagi ifodalardan foydalaniladi:

$Re < 10^3$

$$\bar{Nu}_{s,d} = 0.49 Re_{s,d}^{0.56} \quad (8.5)$$

$Re > 10^3$

$$\bar{Nu}_{s,d} = 0.24 Re_{s,d}^{0.6} \quad (8.6)$$

Quvurlar to'plami ikki xil joylashgani uchun ulardagi oqimning harakat holati ikki xil tarzda bo'ladi:

Koridor shaklida joylashgan quvurlar to'plamida quvurning birinchi qatorida harakat holatining tezligi kichik bo'lgani uchun quvurning I qatorida to'liq uchragani uchun oqim molekulalarini to'planib qolish holatlari yuzaga keladi. II va III qatorlariga o'tishi jarayonida oqim o'zining yo'lini topib olgani uchun ham, oqimning to'planib qolish holatlari kamayib boradi va natijada III qatordan keyin, oqimdan quvurga yoki quvurdan oqimga issiqlik berish ko'payadi. Natijada issiqlik berish ortadi.

Koridor shaklida joylashgan quvurlar to'plamining I qatorida 60%, II qatorida 90 % issiqlik berilsa, III qatorida esa 100% issiqlik beriladi.

Tajriba natijalarini umumlashtirganda o'rtacha issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlash uchun quyidagi ifodalardan foydalaniladi.

Koridorshaklidagi quvurlar uchun:

1)  $Re_s < 3 \cdot 10^3$  bo'lganda

$$\bar{Nu}_{s,d} = 0.56 Re_s^{0.5} Pr_s^{0.33} \left( \frac{Pr_s}{Pr_g} \right)^{0.25} \quad (8.7)$$

2)  $Re > 3 \cdot 10^3$  bo'lganda

$$\bar{Nu}_{s,d} = 0.22 Re_s^{0.65} Pr_s^{0.33} \left( \frac{Pr_s}{Pr_g} \right)^{0.25} \quad (8.8)$$

Shaxmat shaklida joylashgan quvurlar to'plamida issiqlik berish koridor shaklidagiga qaraganda yuqoriroq bo'ladi, buning asosiy sababi, oqim hech qanday to'siqqa uchramay, bema'lol I, II, III qatorlarda harakat qiladi.

Bunday quvurlar to'plami uchun issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlash quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

3)  $Re_c < 3 \cdot 10^3$  bo'lganda

$$\bar{Nu}_{s,d} = 0.56 Re_{s,d}^{0.5} Pr_s^{0.33} \left( \frac{Pr_s}{Pr_g} \right)^{0.25}$$

4)  $Re > 3 \cdot 10^3$  bo'lganda

$$\bar{Nu}_{s,d} = 0.40 Re_{s,d}^{0.6} Pr_s^{0.33} \left( \frac{Pr_s}{Pr_g} \right)^{0.25}$$

### 8.3. G'adir-budur quvurlardagi issiqlik almashinuv

G'adir-budur quvurlardagi issiqlikning turbulent oqimi hollarida sezilarli gidrodinamik o'zgarishlar ro'y beradi. Bu o'zgarishlar g'adir-budurliklarning balandligi  $\delta$  va laminar qatlamning qalinligiga bog'liqdir. Hodisani soddalashtirgan holda, ikkita asosiy holatni ko'rib chiqish mumkin: g'adir-

budurliklar laminar qatlamga chuqur kirib borgan  $\delta \ll \delta_{Lq}$  va g'adir-budurliklar laminar qatlam chegarasidan chiqib ketgan ( $\delta \gg \delta_{Lq}$ ).

Birinchi holatda g'adir-budurliklar qatlamdagi laminar oqimga ta'sir etmaydi, oqim uzulmagan va bo'ronchalar hosil qilmagan holda oqadi. Bunda g'adir-budir va silliq quvurlar orasida hech qanday farq yo'q. G'adir-budurliklardagi bunday oqimning ishonchliligi **Re** soni va nisbiy g'adir-budurlikning  $\delta/d$  ( $d$  quvur diametrik) kamaygan sari oshib boradi, chunki **Re** soni kamayishi bilan qatlam qalinligi oshadi. Nisbiy g'adir-budurlik tushunchasi esa sof gidrodinamik ma'noga ega bo'lib qoladi.

#### 8.4. Yaxlit dumaloq quvurning ko'ndalang oqib o'tishidagi issiqlik almashinuvi

Quvurning suyuqlik oqimi bilan ko'ndalang ravishda oqib o'tishi bir qator, xususiyatlarga ega. Rasmda ko'rsatilganidek, suyuqlik silindrdan uzilmay, uni astalik bilan oqib o'tish faqatgina taxminan  $Re = \frac{\omega_0 d}{\gamma} < 5$ , ( $\omega_0$  – oqim tezligi,  $d$  – tashqi diametr) o'rin olgan.  $Re > 5$  hollarida silindr ko'ndalang oqim uchun noqulay jism hisoblanadi. Quvurning oldingi yarmida hosil bo'ladigan chegaraviy qatlam quvurning yon qismidan uzilgan holda silindr orqasida ikkita simmetrik bo'roncha hosil qiladi. Reynolds soni oshgan sari bo'ronchalar silindrdan borgan sari cho'zilaveradi.  $Re \geq 10^3$  holda bo'ronchalar dam-badam quvurdan ajralib suyuqlik oqimi bilan olib ketiladi, bunda quvur orqasida bo'ronchalar yo'lakchasi hosil bo'ladi. Chegaraviy qatlamning uzilishi oqim bo'ylab bosimning ortishi va qattiq devor suyuqlikning tormozlashi hisobiga sodir bo'ladi. Silindrning old qismini oqib o'tganda oqim kesimi kichiklashadi, suyuqlikning tezligi esa ko'payadi, chunki bu yerda statik bosim kamayadi.

Quyushqoqlik kuchlarining ta'siri natijasida tezlik, va shu tariqa, silindr sirti yaqinidagi suyuqlikning kinetik energiyasi kam bo'ladi. Oqim bo'ylab bosimning ortishi suyuqliklarning tormozlanishiga va keyinchalik qarshi harakatga olib keladi. Qarshi oqim chegaraviy qatlamni jism sirtidan siqib chiqarishga majbur etadi, oqimning uzulishi va bo'ronchalarning paydo bo'lishi kuzatiladi (rasm)

Oqimning uzilishi va bo'ronchalarning paydo bo'lishi quvurlarni ko'ndalavg oqib o'tish jarayonining asosiy xususiyati.

Quvur sirtidan chegaraviy qatlamning uzilish joyi bu joyning oldidagi oqim laminar yoki turbulენტligiga bog'liq. Nisbatan ko'p bo'lmagan **Re** sonida va silidrga oqib kelayotgan oqimning turbulენტlik darajasi kichik bo'lganda laminar chegaraviy qatlamning uzilishi kuzatiladi. Bu  $\varphi = 82 \div 84^\circ$  da sodir bo'ladi ( $\varphi$  burchagi quvurning pe $\text{sh}$  qismidan olnadi). **Re** soni oshganda chegaraviy

qatlamning kinetik energiyasi ko'payadi. Bosimning ortishi hisobiga oqimning tormozlanishi qatlamning uzilishiga emas, qatlamdagi harakatning turbulent shakliga olib keladi. Chegaraviy turbulent qatlam katta kinetik energiyaga ega, chunki turbulent pulsatsiya hisobiga energiya tashqi oqimdan qatlamga o'tadi. Buning natijasida uzilish joyi oqim bo'yicha pastga tushadi. Chegaraviy turbulent qatlam  $\varphi = 120 \div 140^\circ$  da uziladi. Uzilish joyining surilishi silindr orqasidagi bo'ronchalar zonasining kichiklashishiga olib keladi (rasm 2) silindrning oqib o'tilishi yaxshilanadi.

### Masalalar.

1. Plastinaning suyuqlik yuvishida  $x=1$  nuqtada  $t_s = 30^\circ\text{C}$  va tezlik  $w=5$  m/c. Dinamik va issiqlik chegara qatlami qalinligi va issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlang.  $t=20^\circ\text{C}$  da havo uchun  $\nu=15,06 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s;  $\lambda=0,0259$  Vt/m·K,  $\text{Pr}=0,7$ .

$$\delta = \frac{\omega l}{\sqrt{\text{Re}}}; \delta_\tau = \frac{\delta}{\sqrt[3]{\text{Pr}}}; \text{Nu} = 0,332 \sqrt{\text{Re}} \sqrt[3]{\text{Pr}}$$

Javob:  $\delta=8,7$  mm;  $\delta_{\text{ch,q}}=9,8$  mm  $\alpha=4,4$  Vt/m<sup>2</sup> K

2.

Tutungazlaribug' qozoniekonomayzeriquvurlarto'plaminiko'ndalangyuvibo'tad i. Ekonomayzer diametri  $d=32$  mm, qalinligi  $\delta=6$  mm, qadamlari  $s_1/d=2,4$ ,  $s_2/d=1,8$  mm bo'lgan shaxmatli joylashgan quvurlar to'plamidan iborat. Tutun gazlarining tezligi  $w=14$  m/s. Quvurga kirishdagi harorat  $t_{s1} = 520^\circ\text{C}$  va chiqishdagi  $t_{s2} = 380^\circ\text{C}$ .  $t_i = 450^\circ\text{C}$  da havo uchun  $\nu=68,3 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s;  $\lambda=6,13 \cdot 10^{-2}$  Vt/m·K,  $\text{Pr}=0,63$ .

$$\text{Nu}=0,35 ((s_1/d)/(s_2/d))^{0,2} \text{Re}^{0,6} \text{Pr}^{0,36}$$

Javob:  $\alpha=117$  Vt/m<sup>2</sup> K.

### Nazorat savollari.

1. Quvurning ko'ndalang oqib o'tishidagi issiqlik almashinuvi qanday sodir bo'ladi?
2. G'adir-budur quvurlardagi issiqlik almashinuvi qanday sodir bo'ladi?
3. Yaxlit dumaloq quvurni ko'ndalang oqib o'tishdagi issiqlik almashinuvi qanday sodir bo'ladi?

## 9. Suyuqlikerkin harakatlenganda issiqlikberilishi.

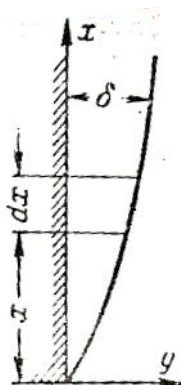
### 9.1. Suyuqlik katta hajmda erkin harakatlenganda issiqlikberilishi.

Ushbu paragrafda qattiq jismning (vertikal,gorizontal silindr) eng oddiy geometrik shaklli yuzasi uchun erkin gravitatsion oqim ko'rib chiqiladi.

Suyuqlik hajmi shunchalik kattaki, shu hajmda joylashgan boshqa jismlarda yuzaga keladigan erkin harakat ko'rilayotgan oqimga ta'sir ko'rsatmaydi deb taxmin qilanadi. Majburiy konveksiyadagi singari suyuqlikning erkin harakati laminar ham turbulent ham bo'lishi mumkin.

Vertikal plastina bo'ylab erkin laminar harakatda issiqlik ajralishi yuzasining harorati o'zgarmas  $t_c$  bo'lgan vertikal plastina suyuqlik yoki gazda joylashgan bo'lsin. Platinadan uzoqda suyuqlik harakatsiz (majburiy oqim yo'q) platinadan uzoqdagi suyuqlikning harorati bir xil va  $t_0$  ga teng. Hisoblanishni oddiylashtirish uchun  $t_c > t_0$  deb qabul qilamiz (biroq olingan natijalar haroratlarning teskari o'zaro nisbatan uchun ham to'g'ri bo'ladi).

Bunda platinada suyuqlikni qizigan qatlamining ko'tarma harakati paydo bo'ladi. Platinadan uzoqda esa tezlik avvalgidek nolga teng.



9.1-rasm. X va Y o'qining plastina yuzasiga joylashishi.

Koordinatalar boshini platinaning pastki chekkasiga joylashtiramiz; X o'qini plastina bo'ylab yo'naltiramiz, Y o'qini esa plastina yuzasiga normal joylashtiramiz

Platina Z o'qi bo'yicha cheksiz deb faraz qilamiz. Jarayon stasionar. Masala yechimini osonlashtirish uchun quyidagilarni qabul qilamiz:

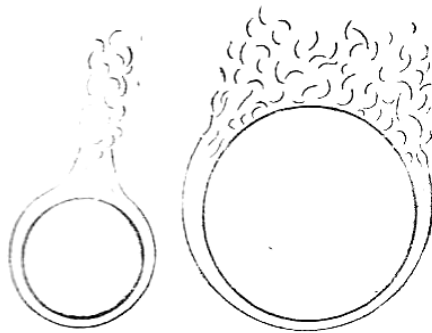
- 1) Inersiya kuchlari og'irlik va yopishqoqlik kuchlari bilan solishtirganda juda ham kam;
- 2) Issiqlikning konvektiv ko'chirishni hamda harakatlanayotgan suyuqlik qatlami bo'ylab issiqlik o'tkazuvchanlikni hisobga olmaslik mumkin;
- 3) Bosim gradiyenti nolga teng;
- 4) Suyuqlikning fizik parametrlari (zichlikni hisobga olmasdan) o'zgarmas; Zichlik haroratning chiziqli funksiyasidir.

Laminar oqimda  $t_c = \text{const}$  bo'lgandagi vertikal platinaning o'rtacha issiqlik ajratishi.

$$Nu_e = 0.63(G_{re} Pr)^{0.25} \quad (9.1)$$

(9.1) ifodadagi proporsionallik koeffitsiyentlari ba'zi bir aniqliklarga muhtoj.





9.2 – rasm. Gorizontalar quvurlar yaqinidagi erkin harakat.

Qaynoq gorizontalar quvurlar yaqindagi erkin harakatning tabiati 9.2 – rasmda ko‘rsatilgan. Quvurning diametri qancha katta bo‘lsa, boshqa barcha sharoitlar birxil bo‘lsa ham laminar oqimning buzilishi quvurlardan uzoqdan sodir bo‘lishi mumkin. Gorizontalar quvurlar yaqinidagi erkin harakat paytidagi issiqlik ajralishining o‘rtacha koeffitsiyentini hisoblash uchun I.M.Mixeyev ifodasidan foydalanish mumkin:

$$Nu_{s,d} = 0,50 (Gr_{s,d} Pr_s)^{0,25} (Pr_s/Pr_s)^{0,25} \quad (9.3)$$

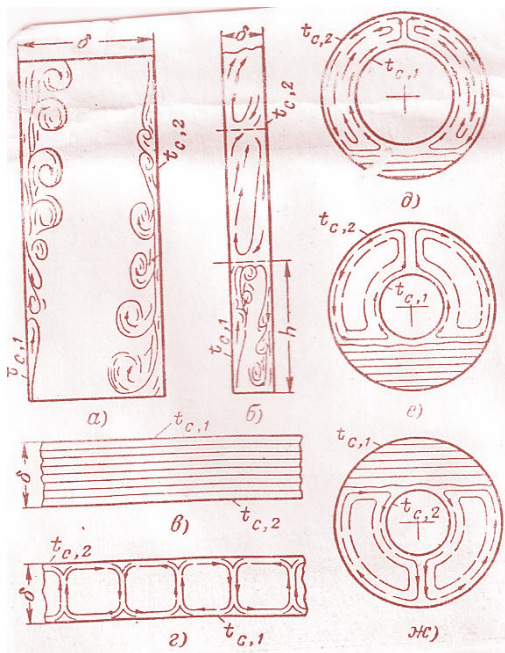
Ifodada belgilovchi sifatida quvurdan suyuqlik yoki gazning harorati qabul qilingan, belgilovchi o‘lchov sifatida esa quvurning diametri olinadi.

## 9.2. Suyuqlik cheklangan muhitda erkin harakatlanganda issiqlik berilishi

Agar suyuqlikning hajmi ko‘p bo‘lmasa, ushbu hajmda joylashgan boshqa jismlar yoki shu jismlarning qismlarida yuzaga keladigan erkin harakat ko‘rilayotgan oqimda sezilishi mumkin. Bu harakatlarni ajratish va ularni alohida ko‘rib chiqish juda qiyin, ba’zida esa buning iloji ham yo‘q.

Bu holda harakat va issiqlik ajratish suyuqlik turiga, uning haroratiga va haroratli **tazyiqqa**, shu jumladan muhitning shakli va o‘lchovlariga bog‘liq.

Ikkita yassi devorlar yordamida qurilgan gorizontalar tirqishlarda jarayon qizdirilgan va sovuq yuzalar va ular orasidagi masofa bilan aniqlanadi. Agar yuqori devorning harorati pastki devornikidan yuqori bo‘lsa, suyuqlikning erkin oqimi yo‘q bo‘ladi. Bu holda issiqlik yuqori devordan pastki devorga issiqliko‘tkazuvchanlik yoki nurlanish yo‘li bilan o‘tkaziladi.



9.3 – rasm. Cheklangan hajmdagi erkin harakat

Suyuqlikning harorati gorizontal qatlamlarda doimiy, vertikal yoʻnalishda esa ortib boradi. Aytilganlar harorat oshgani sari zichligi kamaydigan suyuqlik uchun tegishlidir. Agar pastki devorning harorati yuqori devornikidan yuqori boʻlsa, maʼlum bir sharoitlarda tirqishda konveksion toklar hosil boʻladi. Suyuqlikning zichligi kam boʻlgan issiq boʻlakchalari yuqoriga koʻtarilishga harakat qiladi. Yoriqda bir – biri bilan oʻrin almashadigan koʻtariladigan va pasayadigan oqimlar paydo boʻladi (9.3,g-rasm). Yuqoridan koʻrilganda oqim maydoni aniq yoki noaniqroq tuzilishi olti qirrali uyachalardan iborat katakchalar tuzilmasidan iborat. Ushbu katakchalarning ichida oqim yuqoriga harakatlanadi, chekkalaridan esa pastga qaytadi. Bunday oqim tartibsiz turbulent oqim yuzaga kelgunicha davom etadi.

### Masalalar

1. Kvadrat kesimli kanalning eni  $a=10$  mm va uzunligi  $l=1600$  mm ga teng. Kanaldan, suv  $w=4$  m/c tezlikda oʻtadi. Suvning harorati  $t_s=40$  °C va kanalning ichki sirtidagi harorat  $t_{q.s.}=90$  °C boʻlganda kanal devoridan suvga issiqlik berish koeffitsiyenti va issiqlikoqimini aniqlang.

Javob:  $\alpha = 20300$  Vm/m<sup>2</sup>C,  $Q=50994$  Bt.

2. Uzunligi  $l=2$ m va eni  $a=1,5$ m gorizontal plastinadan havo oqimi oʻtadi. Havo oqimining tezligi  $w=3$ m/s, harorati  $20$ °C va plastina sirtidagi harorat

90°C ga teng. Plastinadan havoga issiqlik berish koeffitsiyentini va issiqlik miqdorini aniqlang.

$$\text{Javob: } \alpha = 4,87 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}, \quad Q = 2050 \text{ Вт}$$

3. Ichki diametri  $d=50$  mm bo'lgan quvurdan suv  $W=0,8$  m/s tezlikda oqib o'tadi. Suvning harorati  $t_s=50$  °C, quvur sirtidagi harorati  $t_{q,s}=65$  °C bo'lganda 1 m quvur sirtidan o'tgan issiqlikni aniqlang.

$$\text{Javob: } q_\ell = 9,03 \text{ кВт/м.}$$

4. Tashqi diametri  $d=15$  mm bo'lgan suv kalorimetrining havo oqimi ko'ndalangiga oqib o'tadi. Havo kalorimetr o'qiga 90° burchak ostida 2 m/s tezlik bilan harakatlanadi. Havoning harorati 20 °C va kalorimetr tashqi sirtining harorati  $t_{q,s}=80$  °C ga teng. Issiqlik berish koeffitsiyenti va birlik uzunlikdagi issiqlik miqdorini aniqlang.

$$\text{Javob: } \alpha = 36,3 \text{ Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad q_\ell = 102 \text{ Вт/м.}$$

### Nazorat savollari.

1. Suyuqlik erkin harakatlenganda issiqlik berilishi qanday sodir bo'ladi?
2. Suyuqlik cheklangan muhitda erkin harakatlenganda issiqlik berilishini izohlab bering.
3. Suyuqlik erkin harakatlanishida mezonli tenglamani tushuntirib bering.

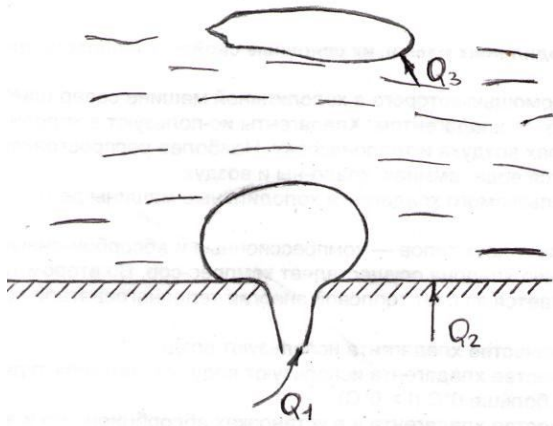
## 10. Qaynashda issiqlik beruvchanlik

### 10.1. Qaynash jarayoni va uni sodir bo'lishi.

Qaynash jarayoni texnikada keng tarqalgan, masalan, bug' qozonlarida, bug'lantiruvchi apparatlarda, sovitgich qurilmalarida va boshqalar.

Qaynash jarayonini qattiq jism sirtida va suyuqlik hajmida kuzatishimiz mumkin. Ko‘proqqattiq jism sirtidagi qaynash keng tarqalgan. Qaynash jarayoni issiqlik berish bilan bog‘langan, shuning uchun qaynashda issiqlik beruvchanlik ko‘proq qiziqish uyg‘otadi. Qaynash jarayonining mexanizmi konvektiv issiqlik almashinish mexanizmidan chegara qatlam jarayonlari bilan ajralib turadi. Bug‘ pufakchalari chegara qatlamni turbulizatsiya holatiga keltiradi. Qaynash jarayonini hosil bo‘lish shartlari quyidagicha: suyuqlik to‘yinish haroratidan yuqori haroratgacha qizigan bo‘lishi va issiqlik almashinish yuzasida bug‘lanish markazlari (BM) bo‘lishi kerak. BM sifatida yuza g‘adir-budirligi, havo pufakchalari, chang zarrachalari misol bo‘la oladi.

Agar qattiq jism yuzasidagi issiqlik almashinishdagi bug‘ pufakchasini ko‘radigan bo‘lsak, issiqlik bug‘ pufakchasining oyoqchasidan ( $Q_1$ ), chegara qatlamdan ( $Q_2$ ) va yuqoriga ko‘tarilish yadrosidan ( $Q_3$ ) olinishi mumkin.



10.1-rasm Qaynash jarayonining sodir bo‘lishi.

Bug‘lanish markazida joylashgan bug‘ pufakchasiga, bug‘ pufakchasi ichidagi bosim kuchi ( $R_1$ ) va atrofdagi suyuqlik bosim kuchi ( $R$ ) ta‘sir etadi. Bu kuchlarning tenglik shartlari Laplas tenglamasi bilan yoziladi:

$$\Delta R = R_1 - R = \frac{2\sigma}{R_{kr}}, \quad (10.1)$$

bunda  $\sigma$  – sirtiy taranglik kuchi;

$R_{kr}$  – kritik radius – pufakchanning yuzaga kelishidagi minimal radius.

Agar  $\Delta R > \frac{2\sigma}{R_{kr}}$  bo‘lsa, bug‘ pufakchasi kattalashadi.

$\Delta R < \frac{2\sigma}{R_{kr}}$  bo‘lsa, bug‘ pufakchasi qaytadan suvga aylanadi.

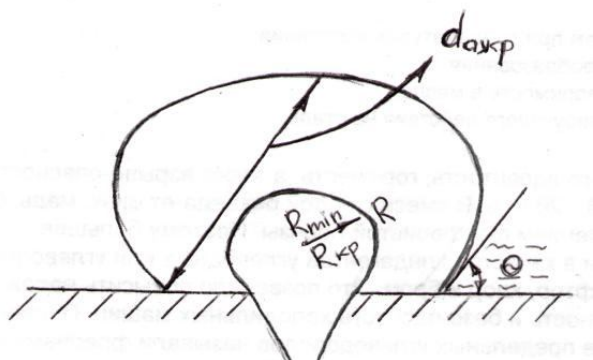
Kritik radiusni quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$R_{kr} = \frac{2\sigma T_m}{r \rho_s (T_s - T_m)} \quad (10.2)$$

bunda  $T_t$  – to‘yinish harorati, K;

$T_s$  – suyuqlik harorati, K;  
 $\rho_s$  – suyuqlik zichligi, kg/m<sup>3</sup>;  
 $r$  – bug‘lanish issiqligi, [kJ/kg].

Bizgama'lumki, pufakchalarningqattiq jism sirtida paydo bo'lishi, ularning kattalashishi, jism sirtidan ajralishi, yuqorigasuyuqlik vaqattiq jism sirtining haroratiga vaajralish diametriga ( $d_{aj}$ ) bog'liqdir.



10.2-rasm. Katta bo'layotgan bug' pufakchasining diametr bo'ylab o'sishi.

Kattabo'layotganyokiboshqachaqilibaytgandao'sayotganbug'pufakchasidia metrbo'ylabo'sib, ajralishdiametriga (10.2-rasm) yetganda ( $d_{aj}$ ), sirtidanajralib, suyuqlikyuzasibo'ylabiyuqorigako'tariladi.

Ajralish diametri quyidagi ifoda yordamida hisoblanadi.

$$d_{aj} = 0,0208 \theta \sqrt{\frac{\delta}{g(\rho_s - \rho_b)}} \quad (10.3)$$

bunda  $\delta$  - chekkaburchak;  
 $g$  – erkin tushish tezlanishi;  
 $\rho_b$  – bug'ning zichligi.

Chekka burchak  $\delta$  ning ortishi bilan qaynayotgan suv yuzasi yomonlashadi. Ajralish diametri kattalashadi. Agar  $\delta > \frac{\pi}{2}$  bo'lsa, suyuqlik yuzasi ho'llanmaydi, pufakchalar kattalashadi va issiqlik suvga emas, balki bug'ga beriladi.

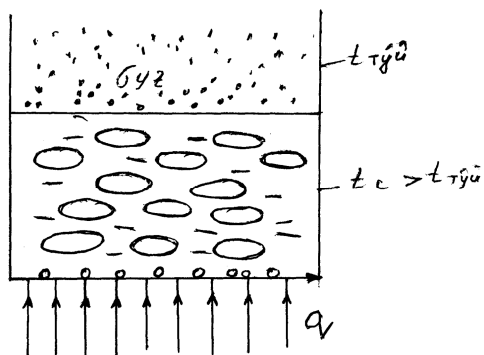
## 10.2. Qaynashning turlari

Qaynash quyidagi turlarga bo'linadi: pufakchali, plyonkali va sirt yuzasida (yoki isimagan suyuqlik qaynashi).

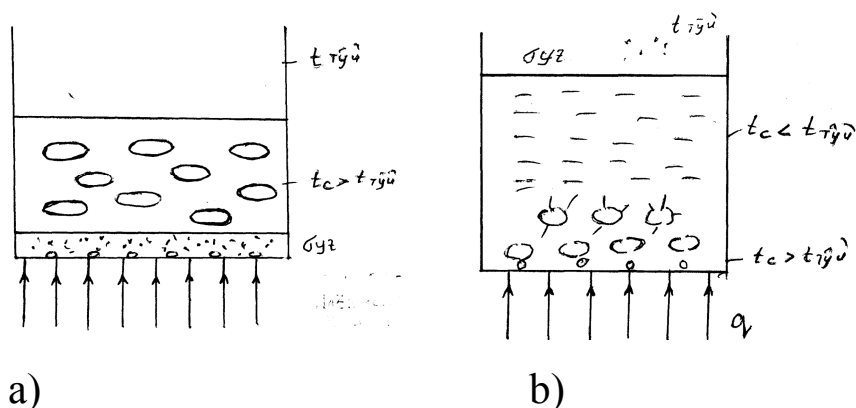
Pufakchalik qaynashdabug‘ pufakchalari yuzada paydo bo‘lib kattalashadi va sirt yuzasidan ajralib, chegaraqatlamni jadal aralashtiradi. Bundasuyuqlik harorati to‘yinish haroratidan yuqori bo‘ladi. Pufakchalar butun suyuqlik hajmi bo‘ylab harakatlanadi. Pufakchalarning hosil bo‘lishi qattiq jism sirtining haroratini katta bo‘lishigabog‘liq.

Plyonkali qaynashda (10.3-rasm) qattiq jism sirtida bug‘ pufakchalar shunchalik ko‘p bo‘ladiki, ular sirt yuzasida bug‘li plyonkaqatlamini hosil qiladi, bug‘ plyonkasi qatlam bo‘lgani uchun suyuqlikni sirdan ajratib turadi, bu issiqlikalmashishni kamaytiruvchi termik qarshilikni hosil qiladi:

$$R = \frac{\delta_{\text{пленка}}}{\lambda_{\text{буг}}} \quad (10.4)$$



10.3-rasm. Plyonkali qaynash.



10.4-rasm. Qaynash jarayonining sodir bo‘lishi. a) puffakchali qaynash b) qattiq jism yuzasida qaynash.

Termik qarshilik qancha yuqori bo‘lsa, issiqlik berilishi shuncha kam bo‘ladi. Qattiq jism yuzasida qaynashda (10.4-rasm) sirt yuzasidagi qatlam dasuyuqlik qizigan hisoblanadi. Qattiq jism sirtida hosil bo‘lgan pufakchalar yuzadan ajralib qaynash haroratigacha qizib ulgurmagan suyuqlikning

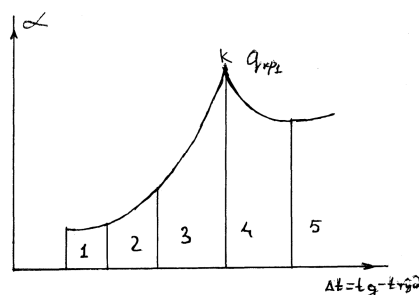
yadrosiga kelib tushadi va bug‘ qaytadan suvga aylanadi. Chegaraqatlam jadal aralashadi va issiqlik beruvchanlik yuqori holatda qoladi.

### 10.3. Qaynash krizislari va ungata’sir etuvchi omillar

Qaynashda issiqlik beruvchanlikning haroratlar farqigabog‘liqligi (qaynash egri chizig‘i)ni ko‘rib chiqamiz.

Qaynash egri chizig‘ida quyidagi qismlar mavjud: (10.5-rasm) 1-tabiiy konveksiya (suyuqlikning isitilishi); 2-qaynash jarayonining sekin hosil bo‘lish qismi; 3-tezlashgan pufakchali qaynash qismi; 4-o‘tish qismi (me’yorsiz); 5-plyonkali qaynash (me’yorli).

K nuqtasi pufakchali qaynashdan plyonkali qaynashgao‘tish **I qaynash krizisi** deyiladi. Issiqlik yuklamasi birinchi kritik yuklamasi deb atalib,  $q_{kr1}$  deb belgilanadi. Qaynash krizisi boshlanganda issiqlik beruvchanlik koeffitsiyenti yomonlashadi va yuza harorati juda ortib ketishi hisobiga yuza buzilishi mumkin.



10.5-rasm. Qaynash egri chizig‘i.

Issiqlik yuklamasini kamayishi hisobiga plyonkali qaynash pufakchali qaynashga almashadi. Plyonkali qaynashgao‘tish nuqtasi **II qaynash krizisi** deyiladi va  $q_{kr2}$  deb belgilanadi,  $q_{kr2} \ll q_{kr1}$ .

Suv uchun  $q_{kr1} = 1 \cdot 10^6 \text{ Wt/m}^2$ ,  $\Delta t_{kr} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Katta hajmdagi suyuqlik uchun erkin konveksiyada kritik issiqlik yuklamasi quyidagi ifoda orqali hisoblanadi:

$$q_{kr1} = k \cdot r \sqrt{\rho''} \sqrt{g \sigma (\rho' - \rho'')} \quad (10.5)$$

bunda k- ikki fazali chegaraqatlamning o‘zgarish kattaligi,  $k=0,13$ .

Qaynashda issiqlik berish hodisasini ham emperik, ham mezonli tenglamalar yordamida hisoblash mumkin. Emperik ifodalarning ko‘rinishi quyidagicha:

$$\alpha = Aq^{0,7}.(10.6)$$

Erkin konveksiya qismida quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\alpha = f(\Delta t). (10.7)$$

Tezlashgan qaynash qismida:

$$\alpha = f(\Delta t) \text{ va } \alpha = f(q). (10.8)$$

Masalan, suv uchun ifoda quyidagicha yoziladi:

$$\alpha = 3,14 q^{0,7} r^{0,15} \quad (10.9)$$

Mezonli tenglamaning (Labunsev ifodasi) ko‘rinishi quyidagicha:

$$Nu = c Re^n Pr^{\frac{1}{3}} \quad (10.10)$$

bunda  $Nu = \frac{\alpha \ell}{\lambda}$  aniqlovchi kattalik

$$\ell_s = \frac{c_p \cdot \rho^1 \sigma T_r}{(r \rho)}, \quad (10.11)$$

$$Re \geq 10^{-2}, \quad Nu = 0,125 Re^{0,65} Pr^{\frac{1}{3}} \quad (10.12)$$

$$Re \leq 10^{-2}, \quad Nu = 0,625 Re^{0,5} Pr^{\frac{1}{3}} \quad (10.13)$$

Bu ifodalar bosimning qiymat i  $R=45 \cdot 10^2 \div 175 \cdot 10^5$  Pa bo‘lganda ishlatish mumkin.

Qaynashda issiqlik beruvchanlikka quyidagi faktorlar ta’sir etadi: issiqlik yuklamasi va haroratlar farqi;

1. Bosim ortishi bilan Issiqlik berish koeffitsiyenti ortadi;

2. Suyuqlikning fizik xossalari:

a) Issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti ortishi bilan issiqlik berish koeffitsiyenti ortadi;

b) kinematik qovushqoqlik koeffitsiyenti ( $\nu$ ) ortishi bilan issiqlik berish koeffitsiyenti kamayadi.

d)  $\sigma$  ortishi bilan issiqlik berish koeffitsiyenti kamayadi;

4. Suyuqlikning tezligi issiqlik berish koeffitsiyentiga quyidagicha ta’sir etadi –  $W^{0,8}$ ;



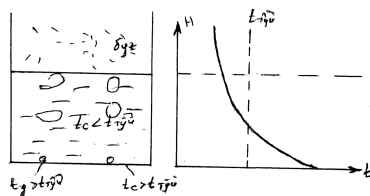
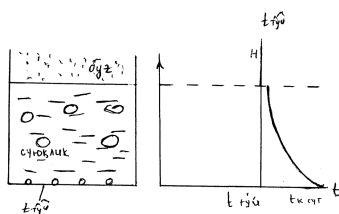
5. Sirtning g'adir-budirligi issiqlik berish koeffitsiyentining ortishiga olib keladi, chunki bug'lanish markazlarining soni ortadi.

## 10.4 Katta hajmdagi va kanallardagi qaynash

Katta hajmda va kanallarda ham qaynash mavjud bo'lib, bular bir-biridan farqlanadi. Katta hajmdagi pufakchali qaynashda haroratlar maydonini ko'rib chiqamiz (10.6-rasm).

Sirtning harorati qaynash haroratidan ancha yuqoriroq. Suyuqlikning harorati, butun hajmi bo'ylab, to'yinish haroratidan  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  ga ko'proq, bug' holatida esa, to'yinish haroratiga teng.

Sirt bo'yicha qaynash da (10.7-rasm) suyuqlik yadrosidagi harorat to'yinish haroratiga qaraganda kichik faqat chegara qatlamida suyuqlik to'yinish haroratiga nisbatan isigan.



10.6-rasm. Katta hajmda qaynash. 10.7-rasm. Sirt bo'yicha qaynash.

Kanallardagi 2 fazali oqimning tuzilish balandligi bo'ylab o'zgaradi. Kanallardagi qaynashda sodir bo'ladigan qismlarni ko'rib chiqamiz (10.8-rasm). Rasmda 1-ekonomayzer qismi, suyuqlik qaynash haroratigacha qiziydi, konveksiya qismi; 2- qattiq jismlar sirtida qaynash qismi, suyuqlik faqat qaynaydi, oqim yadrosida esa hali qaynamagan hisoblanadi; 3- tezlashgan pufakchali qaynash qismi, buni emulsion holat qismideb ataladi; 4- probkali holat qismi, bunda bug' katta probka holatida bo'lib, markazda harakatlanadi, suyuqlik esa sirtyuzasida qaynaydi; 5- halqasimon holat qismi; 6- qurish qismi, suyuqlik plyonka sirtida quriydi, faqat nam bug' oqadi, bu konveksiya hisoblanadi, issiqlik berish koeffitsiyenti kamayadi, sirtning harorati ortadi, bu ikkinchi tartibli qaynash krizisideyiladi.

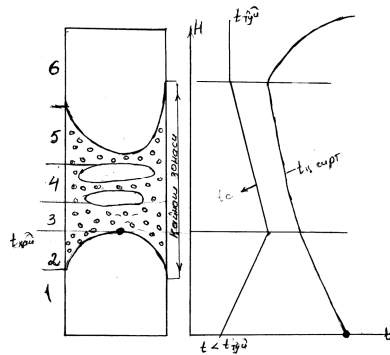
Ikki fazali oqimning bir qancha parametrlarini ko'rib chiqamiz:

1. Hajmiy bug' saqlami

$$\varphi = \frac{M_b / \rho_b}{V_{ap}}, \quad (10.14)$$

Bunda:  $M_b$  – bug'ning massasi;

$V_{ar}$  – bug'-suvaralashmasining hajmi.



10.8-rasm. Kanallardagi qaynash.

2. Massaviy sarflanish bug' saqlami

$$X = \frac{G_{\delta}}{G_{ap}} = \frac{G_{\delta}}{G_{\delta} + G_c}, \quad (10.15)$$

$G_{ar}$  – bug' -suyuqlik aralashmasining sarfi, kg/sek.

3. Sirkulyatsiya tezligi

$$W_s = \frac{G_{ap}}{\rho_{ap} f}, \quad (10.16)$$

f- kanalning ko'ndalang kesim yuzasi.

3. Hajmiy sarflanish bug' saqlami

$$\beta = \frac{V_{\delta}}{V_{ap}} = \frac{V_{\delta}}{V_{\delta} + V_c}, \quad (10.17)$$

$$V = \frac{G}{\rho}$$

4. Haqiqiy bug' saqlami

$$\psi = \frac{f_{\delta}}{f_{\delta} + f_s}, \quad (10.18)$$

$f_b$  – bug' bilan qoplangan kanalning ko'ndalang kesim yuzasi qismi;

$f_s$  – suyuqlik bilan qoplangan kanalning ko'ndalang kesim yuzasi qismi;

5. Bug'ning haqiqiy tezligi

$$W_b = \frac{V_{\delta}}{f_{\delta}} \quad (10.19)$$

6. Fazalar sirg'anish tezligi

$$U = W_b - W_s, \quad (10.20)$$

Plyonkali qaynash da issiqlik beruvchanlik quyidagi ifoda bilan hisoblanadi:

$$\alpha = s \sqrt[4]{\frac{\lambda_{\delta}^3 r \rho_{\delta} (\rho_c - \rho_{\delta}) g}{\mu_{\delta} \Delta t \ell_0}}, \quad (10.21)$$

bunda  $\ell_0$  – aniqlovchikattalik –gorizontalquvurlarda diametr, vertikalquvurlarda balandlik olinadi.

Ko‘pchilik mualliflarning ishlarida suyuq metallarning qaynashi tekshirilganda, issiqlik beruvchanlik krizisining yangi turi kelib chiqqanligini ko‘rish mumkin, bunda bir fazalik konveksiyadan tezda plyonkali qaynashga o‘tishi va uni «uchinchi qaynash krizisi» termini deb ataldi ( $q_{kr3}$ ):  $q_{kr2} < q_{kr1}$

Oqimning aylanishi – bug‘ generatoridagi qaynash jarayonining jadalligidir. Lekin oqimning aylanishini bog‘liqligi kelib chiqishi turlichadir. Tekis, ustiga va tagiga egilgan quvurlarda har xil bo‘ladi, tagiga egilgan quvurlarda kichik bo‘ladi.

Qaynash da issiqlik almashinishni jadallashtirish uchun g‘ovakli yuzalarni qo‘yish kerak bo‘ladi, bunda bug‘lanish markazlarining ko‘proq yuzaga kelishi vujudga keladi. Shu narsa kuzatilganki, g‘ovakli yuzalardagi qaynashdagi egri chiziq tekis yuzalarnikiga qaraganda yuqoriroq joylashadi va  $q_{kr1}$  uch marotaba yuqori bo‘ladi.

Qaynash jarayonini murakkabligi, matematik modellarni yaratishni qiyinlashtiradi. Bir qancha katta ilmiy-tekshirish markazlarida qaynashda issiqlik berishning matematik modellarini tuzish borasida ish olib borish davom etmoq‘da.

## Masalalar

1. Gorizental Issiqlik almashuv apparatining diametri  $d = 400 \text{ mm}$ , sirtining harorati  $t_{q,c} = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$  va xonadagi havoning harorati  $t_h = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ga teng bo‘lganda vaqt birligi ichida  $1 \text{ m}^2$  gorizental issiqlik almashuv apparati sirtidan o‘tgan issiqlikni aniqlang.

$$\text{Javob: } q = 1000 \text{ Vt} / \text{m}^2.$$

2. Balandligi  $2 \text{ m}$  bo‘lgan vertikal plitaning issiqlik berish koefitsiyentini aniqlang, agar plita sirtining harorati  $t_{q,s}=100 \text{ }^{\circ}\text{S}$  va atrof-muhitning harorati  $t_x = 20 \text{ }^{\circ}\text{S}$  ga teng bo‘lsa,

$$\text{Javob : } \alpha = 7,92 \text{ Vt} / \text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

3. Moy bakidagi MS markali moy diametri  $20 \text{ mm}$  li gorizental quvurlar yordamida harorati bir xilda saq‘lanadi. Moyning harorati  $t_s = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$  va quvur

sirtidagi harorat  $t_{q,s} = 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$  bo'lganda quvur sirtidan moyga berilgan issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlang.

$$\text{Javob : } \alpha = 96,2 \text{ Vt / m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

4. Diametri 76 mm va balandligi 4 m bo'lgan vertikal izolyatsiyalanmagan quvur havoga issiqlik beradi. Havoning harorati  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  va quvur sirtidagi harorat  $t_{q,s} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ga teng. Quvurdan chiqqan issiqlikni aniqlang.

$$\text{Javob : } Q = 413 \text{ Vt}$$

### **Nazorat savollari.**

1. Qaynash deb nimaga aytiladi?
2. Qaynash jarayoni necha turga bo'linadi?
3. Qaynashning sodir bo'lishdagi shart-sharoitlarini aytib bering.
4. Bug'lanish markazlarining hosil bo'lishi nimalarga bog'liq?
5. Bug'lanish nima?
6. Qaynash krizislari to'g'risida gapirib bering.

## **11. Bug'ni qaytadan suvga aylanishida issiqlik beruvchanlik.**

### **11.1. Kondensatsiya hodisasi**

Bug' to'yinish haroratidan pastroq haroratga ega bo'lgan yuza bilan tutushsa, u yana qaytadan suvga aylanadi, ana shu hodisani **kondensatsiya** hodisasi, hosil bo'lgan massani esa **kondensat** deyiladi.

Amalda kondensatsiya hodisasi – turbina kondensatorlarida, issiqlik almashinish apparatlarida uchraydi.

Kondensatsiya jarayoni issiqlik almashinuvi bilan bog‘liqdir, chunki bug‘ni qaytadan suvga aylanishida ichki bug‘lanish issiqligi ajraladi.

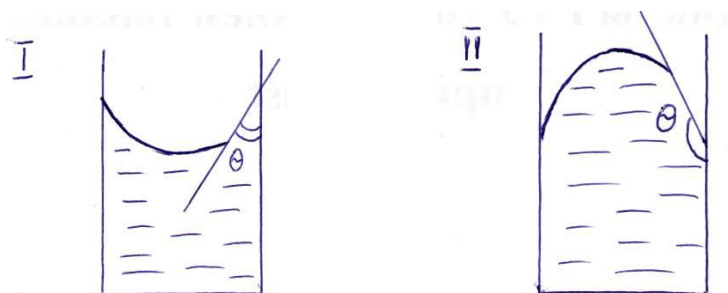
Kondensatsiya bug‘ning hajmida ham, yuzada ham sodir bo‘lishi mumkin. Bug‘ning hajmida bo‘ladigan kondensatsiya, berilgan bosimda bug‘ to‘yinish haroratiga nisbatan sovigan holatda uchraydi.

Xalq xo‘jaligining ko‘pgina sohalarida, xususan issiqlik energetikasida, asosan bug‘ning sovuq yuza bilan to‘qnashishida hosil bo‘ladigan kondensatsiya, ya‘ni yuzadagi kondensatsiya jarayoni ishlatiladi. Bunday kondensatsiya qachonki, yuzaning harorati berilgan bosimda to‘yinish haroratidan kichik bo‘lgandagina sodir bo‘ladi. Qattiq jism yuzasida goho kondensat plyonkasi, goho alohida tomchilari hosil bo‘ladi. Birinchi holatdagi kondensatsiya holatini plyonkali, ikkinchi holatdavisini **tomchili kondensatsiya holati** deyiladi.

Kondensatsiya holatining yuzaga kelishida, suyuqlik yuzani ho‘llashiga va ho‘llamasligiga bog‘liq bo‘ladi. Agar suyuqlik yuzani (sirtni) ho‘llasa, bunda plyonkali kondensatsiya bo‘ladi. Agar suyuqlik sirtni ho‘llamasa, u holda tomchili kondensatsiya hosil bo‘ladi. Yuzaningsuyuqlik bilan ho‘llanishi va ho‘llanmasligi sirtiy tortilish kuchining ta‘siri hisobiga bo‘ladi. Nima ta‘sirida sirtiy tortilish kuchining paydo bo‘lishini ko‘rib chiqamiz.

Suyuqlik hajmida joylashgan zarrachaga o‘zaro tortilish kuchlari ta‘sir etadi. Bu kuchlarning yig‘indisi nolga teng. Sirtida joylashgan zarrachaga, shu kuch ta‘sir etadi, lekin bu bir tomondan ta‘siri bo‘ladi, shuning uchun qandaydir kuchlarning yig‘indisi sirtiy tortilish kuchi deyiladi, bu kuch suyuqlik ichiga yo‘naladi. Shu kuchlar ta‘sirida suyuqlik o‘zining sirtini kamaytirishga intiladi. Sirtiy tortilish kuchining fazalar ajralish chegarasidagi uzunligiga bo‘lgan nisbatiga **sirtiy tortilish kuchi ko‘effitsiyenti** deyiladi va  $\sigma$  bilan belgilanadi. Shularni e‘tiborga olganda, suyuqlik yuzasi sirt yuzasi bilan burchak hosil qiladi, buni  $\theta$  bilan belgilanadi.

Ana shu burchakli sirt bilan suyuqlikorasida qanday holatda bo‘lishini quyidagi chizmada ko‘ramiz:



11.1-rasm. Sirt bilan suyuqlik orasida burchaklar hosil bo'lishi.

I holatda:  $0 < 90^\circ$  holati yuzaga keladi, ya'ni suyuqlik yuzani ho'llaydi;

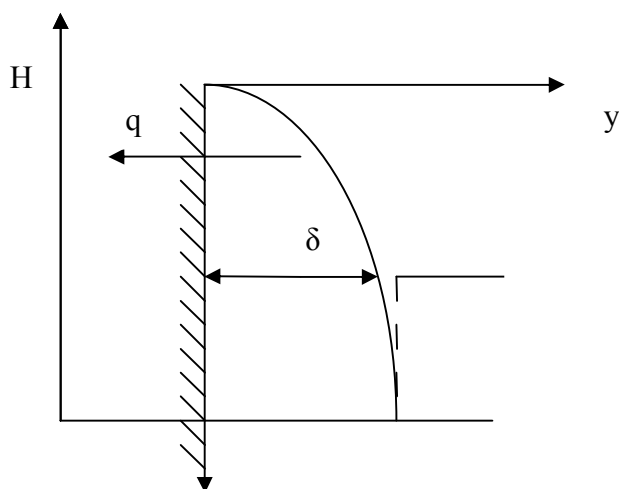
II holatda:  $0 > 90^\circ$  holati yuzaga keladi, ya'ni suyuqlik yuzani ho'llamaydi.

Sirtiyl tortilish koeffitsiyenti ikkala holat uchun quyidagicha bo'ladi.

$$\sigma_{sirt\ gaz} - kuch - sirt - gaz ;$$

Bunda:  $\sigma_{suyuq, gaz} - kuch - sirt - gaz ;$

$$\sigma_{sirt\ suyuq} - kuch - sirt - gaz ;$$



11.2-rasm. Vertikal yuzada kondensatsiya jarayonining sodir bo'lishi.

Tomchi uchun tenglik shartini quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$\sigma_{sirt\ gaz} = \sigma_{sirt\ suyuq} + \sigma_{sirt\ gaz} * \cos \theta$$

$$\text{bundan: } \cos \theta = \frac{\sigma_{sirt\ gaz} - \sigma_{sirt\ suyuq}}{\sigma_{sirt\ gaz}} \quad (11.1)$$

Tomchili kondensatsiyada issiqlik berish koeffitsiyenti plyonkali kondensatsiyaga qaraganda har doim yuqori bo'ladi, buning sababi kondensatorning plyonkasi termik qarshilikka ega bo'ladi va bu issiqlikberilishini susaytiradi. Bunday qarshilikni kamaytirish yoki boshqacha qilib aytganda kondensatning plyonkasini ajratib yuborish kerak bo'ladi. Shunda qarshilik kamayib, issiqlik berilishi ortadi. Tomchili kondensatsiyani sun'iy ravishda yuzaga keltirish uchun maxsus moddalar gidrofobizatorlar yordamida amalga oshiriladi. Bu moddalar yo bug'ga qo'shiladi, yo kondensator quvurlariga quyiladi.

Umuman olganda kondensatsiya jarayonidagi termik qarshilik, kondensat plyonkasining termik qarshiligi bilan fazoviy o'tish termik qarshiligi yig'indisidan tashkil topadi.

$$R = \frac{1}{\alpha} = \frac{t_{\delta} - t_{cupm}}{q} = R_n + R_{\phi} \quad (11.2)$$

11.2-rasmdagi haroratlar o'zgarishi chizmasidan ko'rinib turibdiki, kondensat bilan bug'ning ajralish chegarasida haroratni ko'tarilishi yuzaga keladi. Ushbu harorat ko'tarilishi, ingichka yuza qatlamida qarshi molekulalar oqimini yuzaga kelishi natijasidir. Molekulalarning bir qismi esa yuzadan qaytib yana bug'ga kelib qo'shiladi. Buning natijasida ingichka yuza qatlamida turli energiya (harorat)ga ega bo'lgan yoki teng bo'lmagan molekula oqimi harakatlanadi. Demak, ushbu qatlamda bug'ning harorati, kondensatning haroratidan, harorat o'zgarishi bilan ajralib turadi. Qancha molekulalar yuzasidan qaytsa, shuncha harorat ortishi yuqori bo'ladi.

Haroratlar ortishi xarakteristikasi bo'lib kondensatsiyakoeffitsiyenti – K hisoblanadi, u suyuqlik bilan olib ketiladigan molekulalar sonining, devorga urilayotgan molekulalar soniga nisbati bilan aniqlanadi.

Fazoviy o'tish termik qarshilik bilan kondensatsiyakoeffitsiyentini bog'laydigan nazariy ifodalar mavjud bo'lib, ular bug'ning harorati va bosimiga bog'liq bo'ladi. Kondensatsiya koeffitsiyenti kichik bo'lganda, haroratlar ortishining qiymati kattaroq bo'ladi, fazoviy o'tishning termik qarshiligi ham katta qiymatga ega bo'ladi. Suv bug'i kichik bosimga ega bo'lganda, kondensatsiyakoeffitsiyenti  $k=1$  bo'ladi, demak harorat ortishi yo'q deb olinadi, shunda fazoviy o'tish termik qarshiligi  $R_f=0$  bo'ladi.

Kondensat plyonkasining termik qarshiligi oqimining oqish holatiga bog'liq. Laminar plyonkadan issiqlik, issiqlik o'tkazuvchanlik asosida, turbulent plyonkada esa konvektiv issiqlik beruvchanlik hisobga olinadi. Turli avtorlarning tajribalaridan olingan qiymatlar shuni ko'rsatadiki, kritik  $Re$  soni 60-500 gacha o'zgaradi.

1kg quruq to'yingan bug'ni kondensatga aylantirishda  $r$  issiqlik ajraladi. Buni **fazoviy o'tish issiqligi** deyiladi va  $r$  bilan belgilanadi. Undan tashqari kondensatning sovishi yuzaga keladi, chunki sirtning harorati to'yinish haroratidan kichik bo'ladi. Agar kondensatning sovishi ajralgan issiqlikdan kichik bo'lsa, u holda issiqlik miqdorini quyidagi ifodadan aniqlayiz:

$$Q = G \cdot r \quad (11.3)$$

bunda  $G$  – hosil bo'lgan kondensatning miqdori.

Aniq masalalarda issiqlik almashinishini ko‘rishda harakatlanayotgan va qo‘zg‘almas bug‘larning kondensatsiyasini ajratish zarur bo‘ladi. Bug‘ning harakati kondensat plyonkasining qarshiligiga, demak issiqlik almashinuvining intensivligiga ta‘sir qiladi. Haqiqatdan ham biz harakatlanuvchi bug‘ning kondensatsiyasiga egamiz, chunki kondensatsiyalangan bug‘ning hajmi o‘rniga, yuzada yana yangi bug‘ hajmi paydo bo‘ladi, shuning uchun bug‘ doimo harakatda bo‘ladi. Vertikal yuzada uchun bug‘ning tezligi quyidagiga teng bo‘ladi:

$$W = \frac{q}{r \rho_0} \quad , \quad m/c \quad (11.4)$$

To‘yingan suv bug‘i uchun  $W = 0,23$  m/sek. Bunday tezlik bilan bug‘ kondensat plyonkasiga ta‘sir eta olmaydi, shuning uchun uni harakatlanmaydi deb hisoblanadi.

## 11.2. Vertikal yuzada harakatlanmayotgan bug‘ning plyonkalik kondensatsiyasidagi issiqlik almashinuvi

Vertikal yuzada  $t_{sirt}$  haroratga ega bo‘lgan quruq to‘yingan bug‘ kondensatsiyalanyapti. Kondensat plyonkasi koliniar haroratga ega.

Shunday holatni ko‘rib chiqish uchun quyidagilarga e‘tibor beramiz:

1) Kondensat plyonkasida hosil bo‘ladigan inersiya kuchlari, qovushqoqlik va og‘irlik kuchlariga qaraganda kichikligi;

2) Plyonkadan konvektiv issiqlik berilishi yo‘q, yana plyonka bo‘ylab issiqlik o‘tkazuvchanlik hisobga olinmaydi – issiqlik faqat plyonkadan beriladi.

3) Bug‘ – suyuqlik ajratish fazasi chegarasida ishqalanish yo‘q deb hisoblanadi.

4) Kondensat plyonkasining tashqi yuzasidagi harorat o‘zgarmaydi va u  $t_n$  ga teng.

5) Fizik parametrlari haroratga bog‘liq emas.

6) Bug‘ning zichligi suvning zichligiga qaraganda kichik bo‘ladi.

Plyonkaning laminar oqimi holatidagi o‘zgarishlarni ko‘rib chiqamiz.

Energiya tenglamasini yozamiz:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + W_x \frac{\partial t}{\partial x} + W_y \frac{\partial t}{\partial y} + W_z \frac{\partial t}{\partial z} = a \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (11.5)$$

barqaror holat bo‘lgani uchun  $\frac{\partial t}{\partial \tau} = 0 \quad (11.6)$



konvektiv issiqlik uzatilishi bo‘lmagani uchun

$$W_x \frac{\partial t}{\partial x} + W_y \frac{\partial t}{\partial y} + W_z \frac{\partial t}{\partial z} = 0 \quad (11.7)$$

Paragrafni boshlanishida yozilishi bo‘yicha plyonka bo‘ylab issiqlik uzatilishi bo‘lmagani uchun, quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0 \quad \text{va} \quad \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0 ,$$

unda energiya tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = 0 \quad (11.8)$$

Chegara shartlari:

$$\begin{aligned} y = 0 \quad t = t_{sirt1} \quad \frac{\partial W_x}{\partial x} &= 0 \\ y = \delta \quad t = t_{sirt2} \quad \frac{\partial W_y}{\partial y} &= 0 \end{aligned} \quad (11.9)$$

Energiya tenglamasini integrallaymiz:

$$\frac{\partial t}{\partial y} = c_1 ; \quad t = c_1 y + c_2 \quad (11.10)$$

chegara shartlarini hisobga olganda:

$$\begin{aligned} y = 0 \quad c_2 &= t_{sirt} \\ \text{agar } y = \delta \quad t_n = c_1 \delta + t_{sirt} &\rightarrow c_1 = \frac{t_n - t_{sirt}}{\delta} , \end{aligned} \quad (11.11)$$

bundan:  $\frac{\partial t}{\partial y} = \frac{t_n - t_{sirt}}{\delta}$  (11.11)

Issiqlik berish koeffitsiyenti

$$\alpha = \frac{q}{t_n - t_{cupm}} = \frac{\lambda \frac{\partial t}{\partial y}}{t_n - t_{cupm}} = \frac{\lambda}{\delta} \frac{t_n - t_{cupm}}{t_n - t_{cupm}} = \frac{\lambda_c}{\delta} \quad (11.12)$$

Agar plyonka orqali issiqlik faqat issiqliko‘tkazuvchanlik orqali berilayotgan bo‘lsa, u holda  $\alpha = \frac{\lambda_n}{\delta}$  bo‘ladi.

Oxirgi ifoda bo‘yicha issiqlik berish koeffitsiyenti  $\alpha$  ni hisoblash uchun sirtning balandligi bo‘ylab plyonkaning qalinligini bilishimiz zarur bo‘ladi. Plyonkaning qalinligini ifodalovchi ifodani topish uchun harakat differensial tenglamadan foydalanamiz. Harakat differensial tenglamasini integrallab, quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\delta = \sqrt{\frac{4 \lambda \mu_s (t_t - t_{sirt}) x}{r \rho_s^2 g}}, \quad (11.13)$$

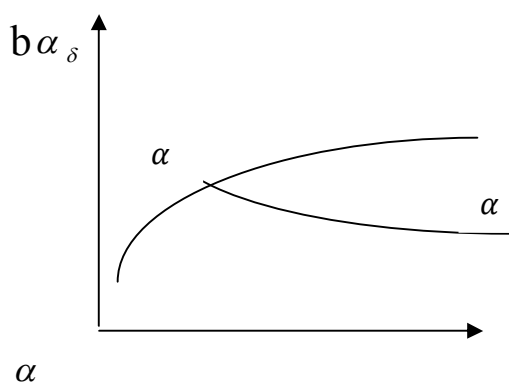
Olingan tenglamani avvalgi tenglamaga qo‘yish natijasida,

$$\alpha = \frac{\lambda}{\delta} = \frac{\sqrt[4]{\lambda}}{\sqrt[4]{\frac{4 \lambda \mu_s (t_t - t_{sirt}) x}{r \rho_s^2 g}}} = \sqrt[4]{\frac{r \rho_s^2 g \lambda^3}{4 \lambda \mu_s (t_t - t_{sirt}) x}} \quad (11.14)$$

Ushbu ifodadan issiqlik berish koeffitsiyentini mahalliy lokal qiymatini X kesimida hisoblasa bo‘ladi. (46-rasm).

Balandlik bo‘yicha o‘rtacha issiqlik berish koeffitsiyentini quyidagi ifodadan foydalanamiz:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{h} \int_0^h \alpha dx \quad (11.15)$$



11.3-rasm. Kondensatsiya jaroyonida issiqlik berish va plyonkani qalinligini o‘zgarishi.

### 11.3. Gorizontallarda va quvurlar to‘plamidagi kondensatsiya

Nusselt tomonidan topilgan ifoda gorizontallarda va quvurlar uchun quyidagicha yoziladi:

$$\bar{\alpha} = 0,788 \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho^2 \lambda^3 g r}{\mu(t_\tau - t_{sirt})d}} \quad (11.17)$$

(11.17) ifodadagi  $\bar{\alpha}$  qo'zg'almas bug'kondensatsiyasi uchun ishlatiladi. Lekin amalda qo'zg'aluvchan oqimlar kondensatsiya doim amalga oshiriladi. Bunda bug'ning tezligi qancha katta bo'lsa, haroratlar farqi va bosim katta bo'ladi. Shuning uchun issiqlik berish koeffitsiyenti katta bo'ladi.

Tajriba natijalarini hisoblash natijasida harakatlanayotgan quruq to'yingan bug'ning gorizontal quvurda kondensatsiyalashishida quyidagi ifodani ishlatiladi:

$$\bar{Nu} = 0,72 \operatorname{Re}_c^{-0,125} Gr^{0,045} \left(\frac{\mu_d}{\mu_s}\right)^{0,08} \quad (11.18)$$

Kondensatsion apparatlar bitta quvurdan emas, balki quvurlar to'plamidan tashkil topgan bo'ladi. Quvurlar to'plamidagi kondensatsiyada issiqlik beruvchanlikning jadalligi yakka quvurlarnikiga qaraganda boshqacharoq bo'ladi. Buni quyidagi ikkita faktor bilan tushuntirsa bo'ladi:

1) quvurlar to'plamidan bug'ni harakatlanishi davomida uning tezligini kamayadi.

2) kondensat plyonkasining qalinligini quvurdan – quvurga harakatlanishi tufayli ko'payadi.

Kondensat plyonkasining kattalashishi issiqlik beruvchanlikni kamaytiradi. Kondensat quvurga alohida tomchilar yoki oqimcha (struya) asosida oqib tushadi, bir tomondan kondensatning plyonkasini oshiradi, ikkinchi tomondan esa, oqimning harakatini o'zgartiradi, ushbu holat plyonkani turbulent oqimi holatiga olib keladi. Shuning natijasida harakat quvur bo'ylab boradi.

Issiqlik almashinishining intensivligini baholash uchun, alohida olingan quvurlar uchun tajriba yo'li bilan quyidagi ifoda olingan, bu ifoda yuqoridagi quvurga tushadigan kondensatning miqdorini hisobga oladi.

$$\frac{\bar{\alpha}_n}{\alpha_1} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n G_i}{G_n}\right)^{-0,07} \quad (11.19)$$

bu yerda:  $\sum_{i=1}^n G_i$  - n qator quvurlarga kelib tushadigan umumiy kondensatning miqdori;

$G_n$  - ko‘rilayotgan quvurlarda hosil bo‘lgan kondensat miqdori;

$n$  – koridor yoki shaxmat shaklida joylashgan quvurlar to‘plamidagi qatorlar soni;

$\bar{\alpha}_n$  -  $n$  qatorga ega bo‘lgan quvurlarning issiqlik berish koeffitsiyenti;

$\alpha_1$  - yuqoridan birinchi qatordagi quvurlarning issiqlik berish koeffitsiyenti.

Ushbu olingan ifoda orqali hisoblashlar murakkab, chunki hisoblashni birinchi qatordan boshlab, ketma – ket davom ettirish zarur bo‘ladi. Agar ba’zi bir qisqartirishlar kiritib, ya’ni bug‘ning bosimi va haroratlari farqi quvur balandligida deb qabul qilinsa, u holda issiqlik berish koeffitsiyentini hisoblash osonlashadi.

#### 11.4. Bug‘ning tomchilab kondensatsiyasida issiqlik beruvchanlik

Bizga yuqorida ko‘rib chiqilgan paragraflardan ma’lum bo‘ldiki, tomchilab kondensatsiya holatining yuzaga kelishi yuzaning kondensat ho‘llamasligi hisobiga vujudga kelar ekan. Tajribalar shuni ko‘rsatadiki, tomchining hosil bo‘lishi jarayoni juda tez bo‘lib, so‘ngra uning tezligi tezda kamayadi. Tomchilar bir – biri bilan qoshilib, yuzadan tezda tushib ketadi.

Tomchining hosil bo‘lishi uchun esa bug‘ sovishi kerak, ya’ni uning harorati to‘yinish haroratidan kichik bo‘lishi zarur. Bunday holat tomchining tekis yuzasidan bosimini yuqoridagi bosimidan kichikligi hisobiga bo‘ladi. Bug‘ning tomchiga aylanishida uning radiusi kritik radiusdan birmuncha kattaroq bo‘lishida hosil bo‘ladi.

Kritik radius Tomson tenglamasi orqali aniqlanadi:

$$R_k = \frac{2\delta T_\sigma}{r\rho_\tau (T_\sigma - T_{yuza})} \quad (11.20)$$

bu yerda:  $T_\sigma$  - berilgan bosimdagi bug‘ning harorati;

$T_{yuza}$  - tomchi yuzasining harorati.

Tomchili kondensatsiya davomida, kondensat plyonkasining hosil bo‘lib qolish holatlari bo‘ladi. Lekin bu plyonkaning qalinligi juda kichik bo‘lganligi sababli u juda tez bo‘linib tomchi hosil qiladi. Bo‘shagan joyda yana ancha plyonka hosil bo‘lib, u yana tez bo‘linadi. Kondensatning tomchi shaklida yuzaga kelishi kondensatsiya jarayonini tezlashtiradi, termik qarshilik kichik bo‘ladi.

Tomchili kondensatsiya jarayonida yuzaning harorati vaqt bo‘yicha o‘zgaradi, haroratning o‘zgarishi kondensatlanayotgan bug‘ning termik qarshiligining o‘zgaruvchanligiga bog‘liq bo‘ladi. Ana shunday kattaliklarni

hisobga olgan holda, tomchili kondensatsiya jarayonini hisoblash uchun quyidagi ifodalar olingan:

$$Re_c = 8 \cdot 10^{-4} \div 3.3 \cdot 10^{-3}$$

$$\bar{Nu} = 3,2 \cdot 10^{-4} \quad Re_c^{-0.84} \Pi_{\kappa}^{0.16} \cdot Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Re_c = 3,3 \cdot 10^{-4} \div 1.8 \cdot 10^{-2}$$

$$\bar{Nu} = 5 \cdot 10^{-6} Re^{-1.57} \Pi^{1.16} P^{\frac{1}{3}}$$

$$bunda: Nu = \frac{\bar{\alpha} R_k}{\lambda_s} = \frac{\bar{\alpha} \cdot 2\delta \cdot T_T}{\lambda_s \cdot r \cdot \rho_s (t_{\delta} - t_{yuza})} \quad (11.21)$$

$$Re_c = \frac{\omega R_k}{v_s} = \frac{\lambda_c (t_{\delta} - t_{yuza})}{\lambda_s \cdot r \cdot \rho_s} \quad (11.22)$$

$$Re_c = \frac{\xi \sigma R_k (t_{\delta} - t_{yuza})}{\rho_s v_s^2} = \frac{2\xi \sigma^2 T_T}{r^* \rho_s^2 v_s^2} \quad (11.23)$$

$$P_r = \frac{v_s}{a_s}$$

$\xi$  - harorat koeffitsiyenti.

Mezonli tenglamalardagi mezonlarning ifodalarini qoyish natijasida quyidagi ifodalarni hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} \alpha &= c_1 \Delta t^{0.16}, \quad q = c_2 \Delta t^{1.16} \\ \alpha &= c_3 \Delta t^{-0.57}, \quad q = c_4 \Delta t^{0.43} \end{aligned} \quad (11.24)$$

Bunda:

$c_1, c_2, c_3, c_4$  - issiqlik fizik kattaliklardan tashkil qilingan o'zgarmas kattalikdir.

### Nazorat savollari.

1. Kondensatsiya hodisasi nima?
2. Kondensatsiyaning turlari qanday?
3. Tomchili kondensatsiya qanday hosil bo'ladi?
4. Plyonkali kondensatsiyaning hosil bo'lish shart-sharoitlari haqida tushuncha bering.
5. Gorizont va vertikal quvurlar uchun issiqlik berish koeffitsiyenti ifodasini yozib bering.

## **12.NURLANISHUSULIDAISSIQLIKUZATILISHI**

### **12.1. Asosiy tushunchalar**

Issiqlikning nurlanish yoʻli bilan uzatilishi deb, jismning ichki energiyasining elektromagnit toʻlqinlar orqali uzatilishiga aytiladi.

Nurlanish to‘lqin uzunligi  $\lambda$  (m) yoki tebranish chastotasi  $\nu = s / \lambda, s^{-1}$  bilan ifodalanadi, bu yerda  $C = 2,9979 \cdot 10^8$  m/s - bu vakuumdagi elektromagnit to‘lqinlarning tarqalish tezligidir.

Qattiqva suyuq jismlarda nurlanish spektri uzluksizdir. Gazlarda selektivdir, ya’ni gazlar kerakli to‘lqin uzunligidagi nurlarni chiqaradi. Nurlanish oqimi deb vaqt birligidagi nurlanish energiyasiga aytiladi:

$$F = \frac{\delta Q}{d\tau} \quad (12.1)$$

F - nurlanish oqimi, [Vt] ;

$\delta Q$  – nurlanish energiyasi, [J];

$\tau$  – vaq’t, [s].

Nurlanish oqimini jismning yuzasiga nisbatan nurlanish deyiladi:

$$E = \frac{\delta \Phi}{dF} \quad (12.2)$$

Issiqlik nurlariga to‘lqin uzunligi  $\lambda = 0,4 \cdot 10^{-3} \div 0,8$  mm-ga teng bo‘lgan to‘lqinlarni kiradi. Jismlar tizimi nurlanganda, ular har bir boshqa jismlarga o‘zlaridan qaytgan nurlarini tushadi.

Jismga kelib tushgan nuryoki issiqlik shu jismda yutiladi ( $Q_A$ ), qaytadi ( $Q_R$ ), o‘tib ketadi ( $Q_D$ ).

$$Q = Q_A + Q_R + Q_D \quad (12.3)$$

$A = \frac{Q_A}{Q}$  - yutish koeffitsiyenti;

$R = \frac{Q_R}{Q}$  - q‘aytish koeffitsiyenti;

$D = \frac{Q_D}{Q}$  - o‘tish koeffitsiyenti.

Nurlanish energiyasining issiqlik balansi  $A+R+D=1$  ga teng.

Agar  $A=1; R=D=0$  bo‘lsa, jism **mutloq qora**,  $R=1, A=D=0$  bo‘lsa, jism **mutloq oq**,  $D=1; A=R=0$  bo‘lsa, jism **shaffof jism** deyiladi. Tabiatda mutloq oq, qora va shaffof jism bo‘lmaydi.

## 12.2. Nurlanishning asosiy qonunlari

**1. Stefan-Bolsman qonuni.** Nurlanish energiyasi bilan mutloq qora jismning mutloq haroratining to‘rtinchi darajasiga to‘g‘ri proporsional:

$$E = \sigma_0 T^4 \quad (12.4)$$

$\sigma_0$  – Bolsman doimiysi;  $\sigma_0=5,67 \text{ Vt/m}^2 \text{ K}^4$ .

Amaliy hisoblashlarda bu qonun quyidagicha ifodalanadi:

$$Q = c (T/100)^4 F \quad (12.5)$$

bu yerda:  $c$  – kul rang jismning nurlanish koeffitsiyenti,  $\text{Vt/m}^2 \text{K}$ .

Bir-biridan shaffof muhit bilan ajratilgan, ikkita yassi, parallel joylashgan, harorati yuqori bo‘lgan jismda harorat past bo‘lgan jismga nurlanish yo‘li bilan o‘tayotgan umumiy issiqlikoqimi quyidagi ifodadan topiladi:

$$Q_{1-2} = Q_{\phi_1} - Q_{\phi_2} \quad (12.6)$$

$$Q_{1-2} = C_{kel} F [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4] \quad (12.7)$$

bu yerda:  $F$  – issiqlikalmashinish yuzasi,  $\text{m}^2$ ;

$C_{kel}$  – keltirilgan nurlanish koeffitsiyenti,  $\text{Vt/m}^2 \text{ K}$ .

$$C_{kel} = \frac{1}{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} - \frac{1}{c_0}} \text{Vt/m}^2 \text{K}^4 \quad (12.8)$$

bu yerda:  $T_1, T_2$  – nurlanuvchi jism va atrof muhitning mutloq harorati,  $^{\circ}\text{C}$ ,  $C_1, C_2$  – kul rang jismlarning nurlanish koeffitsiyenti;  $C_0=5,67 \text{ Vt/m}^2 \text{K}$  – absolyut qora jismning nurlanish koeffitsiyenti.

$C_{kel} = \varepsilon \cdot s_0$  ifodasidan aniqlanadi,  $\varepsilon$  – qoralik koeffitsiyenti  
Har xil nurlanuvchi tizimlardan nurlanish yo‘li bilan issiqlikalmashinishni kamaytirish uchun ekranlardan foydalaniladi (12.1-rasm).

12.1-rasm. 1, 2-nurtarqatayotgan jism; 3- ekran.

Agar ikki tayass parallel sirt orasiga ekran qo‘yilsa va agar ekran ham, sirtlari ham bixil materialdantayyorlangan bo‘lsa, u holda berilgan issiqlik miqdori ikki martakamayadi. Agar n – ta ekran qo‘yilsa, berilgan issiqlik miqdori n+1 martakamayadi.

## 2. Vinqonuni:



Nurlanish intensivligi bilan to'liq uzunligi orasida bog'lanishni ifodalaydi:

$$T\lambda_{\max} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ mK} \quad (12.9)$$

ya'ni maksimal to'liq uzunlik jismlarning mutloq haroratiga bog'liq bo'lib, u haroratning pasayishi tomoniga o'zgaradi.

### 3. Kirxgof qonuni:

Mutloq qoravak kulrang jismlarning issiqlik nurlari yutish va xossalari orasida bog'lanishni ifodalaydi. U quyidagi ifoda orqali yoziladi:

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \frac{E_3}{A_3} = \dots = \frac{E_0}{A_0} = f(E_0 T) \quad (12.10)$$

Bu qonun quyidagi xataga riqlanadi:

Jismlarning nurlanish xususiyatining yutish xususiyatiga nisbatib barcha jismlar uchun bir xil bo'ladi, shu haroratda mutloq qoravak jismlarning nurlanish xususiyatiga teng bo'ladi.

Bu qonunning tenglamasidan kurinib turibdiki, kulrang jismlarning qoralik darajasi o'zaro bir xil bo'lganda, nurlanish xususiyatiga teng, ya'ni

$$A = \epsilon.$$

$\epsilon$

kattalik o'zgarish bo'lgan uchun kulrang jismlarning yutish xususiyati to'liq uzunligi va haroratiga bog'liq emas.

### Masalalar

1. Isitish pechidagi harorati  $1200^\circ\text{C}$ . Pechning hajmi  $V=12\text{m}^3$  va to'la yuzasi  $F=28\text{m}^2$  ga teng.

Isitish pechidagi bosim  $98,1\text{ kPa}$ , suv bug'larining parsial bosimi  $R_{\text{H}_2\text{O}}=12\text{ kPa}$  ga teng bo'lganda gazning qorayish darajasini va nurlanishini aniqlang.

$$\text{Javob: } E_g=0,215; E_g=57400 \text{ Vt/m}^2.$$

2. Diametri  $d=0,5\text{ mm}$  va uzunligi  $\ell=2,5\text{m}$  bo'lgan elektr isitgich simning haroratini aniqlang. Simning qorayish darajasi  $E=0,9$ ; atrofidagi armaturaning harorati  $15^\circ\text{C}$ , isitgichning quvvati  $0,4\text{ kVt}$  ga teng. Konveksiya hisobiga olinmasin.

$$\text{Javob: } t_1=910^\circ\text{C}.$$

3. Tashqi diametri 200mm bo'lgan bug' quvuri harorati 30°C li xonaga o'rnatilgan. Bug' quvuri sirtidagi harorat 400°C. Bug' quvurning birlik uzunlikda nurlanish va konveksiya orqali uzatgan issiqligini aniqlang. Quvurning qorayishi darajasi E=0,8 ga teng.

$$\text{Javob: } q_{\ell}^{\text{hyp}} = 5600 \text{ Bm} / \text{m}; \quad q_{\ell}^{\text{konv}} = 1970 \text{ Bm} / \text{m}; \quad \frac{q_{\ell}^{\text{hyp}}}{q_{\ell}^{\text{konv}}} = 2,84$$

### **Nazorat savollari:**

1. Nurlanish yo'li bilan Issiqlik almashinishning sodir bo'lish shart-sharoitlarini aytib bering.

2. Absolyut qora, oq va shaffof jismlar nima?

3. Nurlanishning effektivligi nima?

4. Nurlanish qonunlarini izohlab bering.

5. Jism parallel joylashganda nurlanish energiyasi qanday aniqlanadi?

## **13. Issiqlik almashinish apparatlari.**

### **13.1. Issiqlik almashinish apparatlarining issiqlik hisobi**

Issiqlikni issiq issiqlik tashuvchidan (gaz) sovuq issiqlik tashuvchiga uzatib beradigan qurilmalarga **issiqlik almashinuv apparatlari** deyiladi.

Issiqlik almashinuv apparatlarini ishlash usuliga ko'ra rekuperativ, regenerativ va aralashtiruvchi apparatlarga bo'lish mumkin.

Aralashtiruvchi issiqlik almashinuv apparatlarda issiq almashinuvi issiq va sovuq issiqlik tashuvchilarning bir-biriga bevosita tegishi va aralashishi yo'li bilan amalga oshiriladi. Aralashtiruvchi issiqlik almashinuv apparatlariga gradirnyalar, skrubberlar va boshqa qurilmalar misol bo'la oladi.

Regenerativ issiqlik almashinuv apparatlarida isitilish (yoki sovutilish) sirtining o'zini vaqti-vaqti bilan goh qaynoq, goh sovuq issiqlik tashuvchi bilan yuvilib turishi bilan amalga oshiriladi. Dastlab regenerativ kanallaridan qizigan issiqlik tashuvchi – domna va marten pechlari, vagrankalar va boshqalardagi yonish mahsulotlari yuboriladi. Regenerativning isitish sirti qizigan gazlardan issiqlik olib isiydi, so'ngra bu issiqlikni sovuq issiqlik tashuvchiga beradi.

Regenerativ issiqlik almashinuv apparatlari metallurgiya, shisha pishirish va shunga o'xshash qizigan havo beriladigan boshqa pechlarda ishlatiladi.

Rekuperativ issiqlik almashinuv apparatlarida issiqlik issiq suyuqlikdan sovuq suyuqlikka qattiq sirt orqali uzatiladi. Masalan, bug' generatorlari, bug' qizdirgichlar, suv isitgichlar va boshqalar. Rekuperativ issiqlik almashinuv apparati to'g'ri oqimli, teskari oqimli va ko'ndalang oqimli apparatga bo'linadi.

To'g'ri oqimli issiqlik almashinuv apparatlarida issiq va sovuq muhitlar o'zaro bir tomonga parallel ravishda oqadi.  $\Rightarrow$

Teskari oqimli apparatlarida bir-biriga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi.  $\leftarrow \rightarrow$

Texnikada rekuperativ issiqlik almashinuv apparatlari keng ishlatiladi.

Issiqlik almashinuv apparatlari hisoblashda issiqlik balansi tuziladi va uning yuzasi aniqlanadi.

$$Q = G_1 C_{P1} (t_1' - t_1'') = G_2 C_{P2} (t_2'' - t_2') , [ \text{Vt} ] \quad (13.1)$$

bu yerda:

$G_1$  – issiq suyuqlik sarfi, kg/s;

$G_2$  – sovuq suyuqlik sarfi, kg/s;

$C_{P1}$  – issiq suyuqlikning issiqlik sig'imi, kJ/kg °C;

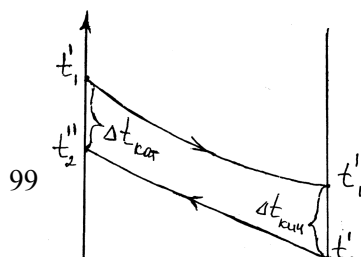
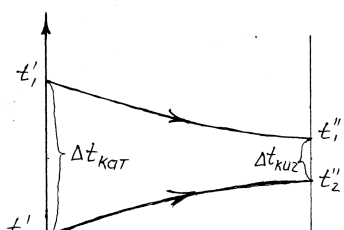
$C_{P2}$  – sovuq suyuqlikning issiqlik sig'imi, kJ/kg °C;

$t_1'$  – issiq suyuqlikning apparatga kirishdagi harorati, °C;

$t_1''$  – issiq suyuqlikning apparatdan chiqishdagi harorati, °C;

$t_2'$  – sovuq suyuqlikning apparatga kirishdagi harorati, °C;

$t_2''$  – sovuq suyuqlikning apparatdan chiqishdagi harorati, °C.



13.1-rasm. To‘g‘ri oqimli      13.2-rasm. Teskari oqimli

Issiqlik almashinuv yuzasi issiqlik uzatish ifodasidan topiladi.

$$Q = K \Delta t_{\log} F \text{ [Vt]} \quad (13.2)$$

$K$  – issiqlik uzatish koeffitsiyenti;  $\text{Vt} / \text{m}^2\text{K}$ ;

$\Delta t_{\log}$  – o‘rtacha logarifmik haroratlar farqi,  $^{\circ}\text{C}$ .

$F$  – sirt yuzasi,  $\text{m}^2$ .

O‘rtacha logarifmik haroratlar farqi haroratlar grafigi yordamida aniqlanadi.

$$\Delta t_{\log} = \frac{\Delta t_{\text{kat}} - \Delta t_{\text{kich}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{kat}}}{\Delta t_{\text{kich}}}} \quad (13.3)$$

bu yerda:

$\Delta t_{\text{kat}}$  – katta haroratlar farqi;

$\Delta t_{\text{kich}}$  – kichik haroratlar farqi.

Masalan, to‘g‘ri oqimli uchun  $\Delta t_{\text{kat}} = t_1' - t_2'$  ;  $\Delta t_{\text{kich}} = t_1'' - t_2''$

## 13.2. Issiqlik almashinuv apparatlarining issiqlikhisobi

### 13.2.1. Issiqlik tashuvchilarning oqimi holatini aniqlash

Masalaning berilishiga ko‘ra isiyotgan va qizdirilayotgan muhit bir tipli shuning uchun prinsipial ahamiyatga ega emas, isiyotgan yoki qizdirilayotgan muhit qanday maydonda oqayotgani ahamiyatsiz. Quvurda isiyotgan muhit oqayotgan bo‘lsin (uni 1 indeks bilan belgilaymiz), quvur orasida qizdirilayotgan muhit (uni 2 indeks bilan belgilaymiz).

Shart bo‘yicha qizitilayotgan issiqlik tashuvchining harorati  $t_2''$ , qizitilayotgan yuzaning harorati  $t_1'$  dan katta shuning uchun teskari oqimni tanlaymiz.

Issiqlik tashuvchilarning ruxsat etilgan chegaradagi harakat tezligini tanlaymiz.

O‘rtacha harorat o‘rtacha oqim usulida topiladi.

Boshlang‘ich va oxirgi haroratlar

$$t_1 = \frac{t_1' + t_1''}{2};$$

$$t_2 = \frac{t_2' + t_2''}{2}$$

Issiqlik tashuvchilarning xarakterli haroratdagi barcha fizik issiqlik xossalari jadvallarda keltirilgan.

Quvurli muhitdagi harakat holatini aniqlaymiz.

$$Re_1 = \frac{W_1 d_B}{\nu_1} \quad (13.4)$$

Bu yerda

$W_1$  - quvurdagi issiqlik tashuvchining o'rtacha tezligi, m/s;

$d_B$  - quvurning ichki diametric, m

$\nu_1$  -  $t_1$  haroratdagi suyuqlikning kinematik qovushqoqlik koeffitsiyenti  $m^2/s$ .

Quvur orasidagi muhitning harakat holatini topamiz:

$$Re_2 = \frac{W_2 d_H}{\nu_2} \quad (13.5)$$

### 13.2.2. Noma'lum sarfni aniqlash

Kurs ishi talablarida isituvchi issiqlik tashuvchilarning massaviy sarfi berilmagan. Uni issiqlik balansi tenglamasi yordamida topamiz;

$$G_1 c_{p1} (t_1' - t_1'') \eta = G_2 c_{p2} (t_2' - t_2'')$$

$$G_2 = \frac{G_1 c_{p1} (t_1' - t_1'') \eta}{c_{p2} (t_2' - t_2'')} \quad (13.6)$$

Bu yerda:

$G$ - issiqlik tashuvchining massaviy sarfi, kg/s;

$C_{p1-t_1}$ -haroratdagi issiq issiqlik tashuvchining issiqlik sig'imi, kJ/kg K;

$C_{p2-t_2}$ -haroratdagi qizdirilayotgan issiqlik tashuvchining o'rtacha issiqlik sig'imi, kJ/kg K;

$\eta$ -apparatning FIK.

### 13.2.3. Issiqlik almashinishi quvurlarining devori haroratlarini aniqlash.

Taxmin qilingan devorning o‘rtacha harorati issiqlik tashuvchilar haroratlarining o‘rtacha arifmetik qiymatiga teng:

$$t_c^l = \frac{\bar{t}_1 + \bar{t}_2}{2} \quad (13.7)$$

Bu yerda

$\bar{t}_1$  – isitilayotgan issiqlik tashuvchining o‘rtacha harorati  $^0\text{C}$ ;

$\bar{t}_2$  - qizdirilayotgan issiqlik tashuvchining o‘rtacha harorati,  $^0\text{C}$ ;

$Pr_{d1}, Pr_{d2}$  - isiyotgan va qizdirilayotgan suvlar uchun Prandtl mezoni;

Mis quvurning issiqliko‘tkazuvchanlik koeffitsenti  $\lambda_c = 388,6 \text{ Vt/mK}$ .

#### 13.2.4. Isituvchi issiqlik tashuvchilar tomonidan issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlash.

Turbulent va o‘tuvchi holatlarda Nu mezoni Re va Pr mezonlariga bog‘liq bo‘ladi, laminar holatida esa quvurning uzunligiga bog‘liq. O‘rtacha qiymatdagi Nusselt mezonini hisoblash uchun quyidagi ifodadan foydalanamiz:

$$\overline{Nu}_1 = 1,4 \left( \frac{d}{l} Re_1 Pr_1^{\frac{6}{5}} \right)^{\frac{1}{4}} \left( \frac{Pr_1}{Pr_c} \right)^{0,25} \quad (13.8)$$

Bu yerda

$Pr_1$  - o‘rtacha haroratdagi issiqlik tashuvchining Prandtl mezoni;

$Pr_d$  - o‘rtacha haroratdagi devor issiqlik tashuvchining Prandtl mezoni;

$\overline{Nu} = \frac{\bar{\alpha}d}{\lambda}$  dan isituvchi issiqlik tashuvchining o‘rtacha issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlash mumkin:

$$\bar{\alpha}_1 = \frac{\overline{Nu}_1 * \lambda_1}{d_B} \quad (13.9)$$

Bu yerda  $\lambda_1$  - o‘rtacha haroratdagi isituvchi issiqlik tashuvchining issiqliko‘tkazuvchanlik koeffitsenti, Vt/mK.

#### 13.2.5. Qizitilayotgan issiqlik tashuvchi tomonidan issiqlik berish koeffitsiyentini aniqlash.

Laminar oqimda quvurlar orasidagi issiqlik tashuvchilar uchun Nusselt mezonini:

$$\bar{Nu}_2 = 1,8 Re_2^{0,33} Pr_2^{0,33} \left( \frac{Pr_2}{Pr_c} \right)^{0,25} \quad (13.10)$$

Bu yerda

$Pr_1$  - issiqlik tashuvchining o'rtacha haroratdagi Prandtl mezonini;

$Pr_2$  - devorning o'rtacha haroratida issiqlik tashuvchining Prandtl mezonini.

(4.6) formulani shunga asoslanib yozish mumkin:

$$\frac{\bar{Nu}_2}{\alpha_2} = \frac{\bar{Nu}_2 \cdot \lambda_2}{d_H} \quad (13.11)$$

### 13.2.6 Issiqlik uzatish koeffitsiyentini aniqlash.

Ichki diametr tashqi diametrga nisbatan 1,6ga kichik, o'rtacha issiqlik uzatish koeffitsiyentini hisoblashda yassi devor uchun berilgan ifodadan foydalanish mumkin:

$$\bar{K} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2} + R_{iflos}} \quad (13.12)$$

Bu yerda:

$\delta_c$  - quvur devorlarining qalinligi, m;

$\lambda_c$  - materialning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti;

$R_{iflos}$  - termik qarshilik.

### 13.2.7. Devor haroratini aniqlash.

To'g'ri oqimli va teskari oqimli issiqlik almashinuv apparatlar uchun o'rtacha haroratli bir-biriga kesishib yo'nalgan oqimlarni hisobga olganda quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta \bar{t}_l = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}} \cdot \varepsilon_{\Delta t} \quad (13.13)$$

Bu yerda:

$\Delta t_{kat}$  - issiqlik tashuvchilar harorati orasidagi katta farq;

$\Delta t_{kich}$  - issiqlik tashuvchilar harorati orasidagi kichik farq;

$\varepsilon_{\Delta t}$ - 0,75 kesishuvchi oqimni to'g'rilash koeffitsiyenti;  
 $\Delta t_{kat}$ ,  $\Delta t_{kich}$   $t_1$  va  $t_2$  - haroratlar orasida tanlanadi.

Isitilayotgan issiqlik tashuvchi tomonidagi quvur devorining harorati quyidagi ifodadan topiladi:

$$t_{c1} = \bar{t}_1 - \frac{K\Delta\bar{t}_1}{\alpha_1}, \quad (13.14)$$

Qizdirilayotgan issiqlik tashuvchi tomonidagi quvur devorining harorati quyidagi formuladan topiladi;

$$t_{c2} = \bar{t}_2 + \frac{K\Delta\bar{t}_1}{\alpha_2} \quad (13.15)$$

Devorning aniqlashtirilgan o'rtacha haroratini topamiz

$$t'_c = \frac{t_{c1} + t_{c2}}{2} \quad (13.16)$$

O'rtacha haroratlarning xatoligini aniqlaymiz:

$$\Delta t_c = \frac{t'_c - t'_c}{t'_c} \cdot 100 \quad (13.17)$$

Agar  $\Delta t > 5\%$  bo'lsa u holda devor harorati darajadagi aniqlikda topilmagan bo'ladi. Bunday holda to'g'ri kelgunicha hisobo'tkazish lozim.

### 13.2.8. Apparatning issiqlik unumdorligini aniqlash.

Apparatning issiqlik unumdorligi  $Q$ , issiqlik balansi tenglamasidan topiladi:

$$Q = G_2 c_{p2} (t'_2 - t_2) \quad (13.18)$$

Issiqlik almashinish yuzasini aniqlaymiz  $F$ :

$$F = \frac{Q}{\bar{K} \cdot \Delta\bar{t}_L} \quad (13.19)$$

Bu yerda:



$\bar{\Delta t}_1$ -oʻrtacha haroratli farq.

### 13.2.9. Apparatning konstruktiv parametrlarini aniqlash.

Apparatdagi umumiy quvurlar sonini topamiz buning uchun barcha quvurlarning oʻtishdagi kesimining umumiy maydonini topamiz:

$$f_1 = \frac{G_1}{w_1 \rho_1} \quad (13.20)$$

Bu yerda

$\rho_1$ -oʻrtacha haroratdagi issiq issiqlik tashuvchining zichligi.

Umumiy quvurlar soni  $n$  quyidagiga teng:

$$n = \frac{f_1}{f_{TP}} \quad (13.21)$$

Bunday holda apparatning umumiy quvurlar sonini aniqlaganimizdan soʻng ularni joylashtirib, va quvurlar orasidagi oqim yoʻli boʻylab qatorlar sonini aniqlash.

Quvur uzunligini aniqlaymiz:

$$l = \frac{F}{\pi d_{o'rt} n} \quad (13.22)$$

bu erda:

$d_{o'rt} = \frac{d_{ich} + d_{tash}}{2}$  - quvurning oʻrtacha diametri, m.

### 13.3. Issiqlik almashinuvi apparatlarining gidravlik hisobi.

1. Issiqlik almashinuvi apparatlarining tekshiruv hisobini va loyihaning asosiy masalasi boʻlib gidravlik qarshilikni olib oʻtishda sarflanadigan quvvatni aniqlashdan iboratdir. Gidravlik qarshilik apparatdagi suyuqlikning tezligiga bogʻliqdir. Tezlikni ortishi bilan issiqlik berish koeffitsiyenti ortadi, bu issiqlik almashinuvi apparatini issiqlik almashinuv yuzasining kamayishiga olib keladi, lekin bu gidravlik qarshilikni ortishiga olib keladi, bu esa oʻz navbatida elektr energiyaning koʻproq sarflanishiga olib keladi.

Suyuqlikning noizotermik harakatida apparatning gidravlik qarshiligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{uuk}} + \Delta P_{\text{mex}} + \Delta P_T + \Delta P_{\text{cyp}}$$

Bu yerda:

$\Delta P_{uuk}$  -ishqalanishdagi qarshilik;

$\Delta P_m$  -mahalliy qarshilik;

$\Delta P_T$  -oqim tezlanishidagi qarshilik;

$\Delta P_{cyp}$  -qurilishni yengishdagi bosimning yo‘qolishi.

### 13.3.1. Quvurlar yuzasidagi yo‘qolishlarni aniqlash.

Quvurlar yuzasidagi yo‘qolishlar yig‘indisi quyidagi ko‘rinishga ega:

$$\Delta \rho = \Sigma \Delta \rho_{uuk} + \Sigma \Delta \rho_m + \Sigma \Delta \rho_T + \Sigma \Delta \rho_{cyp}, \quad (13.23)$$

Bunda:

$\Sigma \Delta \rho_{uuk}$  -ishqalanishdagi bosim yo‘qolishlar yig‘indisi

$\Sigma \Delta \rho_m$  -mahalliy qarshilikdagi yo‘qolishlar

$\Sigma \Delta \rho_T$  -oqim tezlanishidagi bosim yo‘qolishlar yig‘indisi

$\Sigma \Delta \rho_{cyp}$  -bosim yo‘qotishlar yig‘indisi

Ishqalanishdagi bosim yo‘qolishlar yig‘indisi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Sigma \Delta P_{uuk} = \xi_{uuk} \frac{l}{d_{\text{эКВ}}} \frac{\rho w^2}{\eta} \quad (13.24)$$

Bunda:  $l$  – kanalning to‘liq uzunligi, m;

$d_{\text{эКВ}}$  – kanalning ekvivalent diametri, m;

$\xi_{uuk}$  – ishqalanishning gidravlik qarshilik koeffitsienti.

$l > 30d$  gacha bo‘lgan kanallar uchun qovushqoqligi izotermik bo‘lmagan oqimda  $\rho$  va  $w$  kanaldagi gaz yoki suyuqlikning o‘rtacha zichligi,  $\text{kg/m}^3$  va o‘rtacha tezligi m/s;  $\xi$  – ishqalanish qarshilik koeffitsienti o‘zgarmaydi.

Ishqalanish qarshilik koeffitsienti oqimning harakatlanish tartibiga bog‘liq va shuning uchun u laminar va turbulent oqimlarida har xil aniqlanadi.

Laminarli izotermik bo‘lmagan harakatlanishda ( $Re < 2300$ )

$$\xi = \xi_{iz} (\mu_s / \mu_l)^n, \quad (13.25)$$

bunda izotermik oqimdagi ishqalanish qarshiligi koeffitsienti

$$\xi = \frac{1}{(1,82 \lg Re_c - 1,64)^2} \quad (13.26)$$

Bunda:  $n = c \left( Re_1 Pr_1 \frac{d}{l} \right)^{-m} \cdot \left( \frac{\mu_c}{\mu_1} \right)^{-0,062}$ ,

$$s=2,3 \text{ va } m=0,3 \quad 60 < Re_1 Pr_1 \frac{d}{l} < 1500 \text{ da}$$

$$s=0,535 \text{ va } m=0,1 \quad 1500 < Re_1 Pr_1 \frac{d}{l} < 3 \cdot 10^4 \text{ da}$$

$Re_1$  va  $Pr_1$  qiymatlari ekvivalentli diametr bo'yicha hisoblanadi va fizik parametrlar kanalga kirishdagi haroratga tegishlidir, qovushqoqlik  $\mu_d$  va  $\mu_1$  koeffitsientlari esa devorning haroratlariga va oqimning haroratiga taalluqlidir.

Quvurlar to'plamining ko'ndalang yuvilishida harakatlanish tartibi turbulentli deb qabul qilingan va bu holda quvurlarning shaxmatli to'plami uchun:

$$\frac{S_1}{d} < \frac{S_2}{d} \text{ da } \xi = (4 \div 6,6 \cdot n) Re^{-0,28} \cdot Z;$$

$$\frac{S_1}{d} > \frac{S_2}{d} \text{ da } \xi = (5 \div 3,4 \cdot n) Re^{-0,23} \cdot Z;$$

(13.27)

### 13.3.2. Quvurlar oralig'idagi yo'qolishlarning yig'indisi quyidagicha aniqlash.

Yo'lakli to'plamlar uchun:

$$\xi = (6 \div 9n) \left( \frac{S_2}{d} \right)^{-0,23} Re^{-0,26} \cdot Z; \quad (13.28)$$

bunda:  $n$  - oqim yo'nalishi bo'yicha to'plamlardagi qatorlar soni;  
 $Z$  - quvurlararo yuzadagi yo'llar soni.

Mahalliy qarshilikda bosim yo‘qotishlari quyidagi tenglamaga ko‘ra hisoblanadi.

$$\Delta P_{\max} = \sum \xi_{\max} \frac{\rho W^2}{2} \cdot n \cdot a \quad (13.29)$$

bunda  $\xi_{\max}$  - mahalliy qarshilik koefitsienti.

Kanallarning doimiy kesimida issiqlik tashuvchining hajmi o‘zgarishitufayli, oqimning tezlanishi bilan kelib chiqqan bosim yo‘qotishlari quyidagi tenglama orqali hisoblanadi.

$$\Delta P_Y = \rho_2 W_2^2 - \rho_1 W_1^2 \text{ Pa} \quad (13.30)$$

bunda  $W_1, \rho_1,$   $W_2, \rho_2$  -  
oqimning kirish va chiqish kesimlaridagi issiqlik tashuvchilarning tezliklarivazichliklari

Tomchili suyuqliklar uchun  $\Delta P_Y$  kichik va uni inobatga olmasa ham bo‘ladi.

O‘zining so‘rilishini engishda bosim yo‘qotishlari apparat atrof-muhit bilan aloqasi bor hollardagina hisobga olinadi.

Apparatning to‘liq gidravlik qarshiligi aniqlangandan keyin, har qanday issiqlik tashuvchining harakatlanishdagi zarur bo‘lgan nasos va ventilyatorlarning quvvati hisoblanadi:

$$N_i = \frac{V_i \Delta P}{\eta_i} = \frac{G_i \Delta P}{\rho_i r_i} 10^{-3}, \quad \kappa Bm \quad (13.31)$$

bunda:  $V_i$  - issiqlik tashuvchining hajmiy sarfi,  $m^3/s$ ;

$G_i$  - issiqlik tashuvchining massaviy sarfi,  $kg/s$ ;

$\Delta P$  - gidravlik qarshiligi,  $Pa$ ;

$\rho_i$  - kerakli issiqlik tashuvchining zichligi,  $kg/m^3$ ;

$\eta_i = 0,6 + 0,7$  - nasos yoki ventilyatorning FIKi.

### Masalalar:

1. Ichki yonuv dvigatelining teskari yoʻnalishli suvli moy sovitgich moy  $65^{\circ}\text{C}$  dan  $55^{\circ}\text{C}$  gacha sovitilyapti. Sovituvchi suvning kirishdagi harorati  $16^{\circ}\text{C}$  va chiqishdagi harorati  $25^{\circ}\text{C}$ . Moyning sarfi  $0,8\text{ kg/sek}$ . Issiqlik uzatish koeffitsiyenti  $280\text{ Vt/m}^2\text{C}$ , moyning issiqlik sigʻimi  $2,45\text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ . Issiqlik almashuv yuzasini va sovuq suvning sarfini toping.

Javob:  $G = 0,52\text{ kg/sek}$ .

2. Quvur-quvurda qarama-qarshi yoʻnalishli issiqlik almashuv apparatida suv  $15^{\circ}\text{C}$  dan  $45^{\circ}\text{C}$  gacha isitiladi. Suvning sarfi  $G_2 = 3200\text{ kg/soat}$ . Tashqi quvurning ichki diametri  $D = 48\text{ mm}$  va bitta seksiya quvurining uzunligi  $l = 1,9\text{ m}$ . Issiq suv diametri  $d_2/d_1 = 35/32\text{ mm}$  boʻlgan poʻlat quvurda harakatlanib kirishdagi harorati  $t_1' = 95^{\circ}\text{C}$  ga teng. Issiq suvning sarfi  $G_1 = 2130\text{ kg/soat}$ . Quvur-quvurda qarama-qarshi yoʻnalishli issiqlik almashuv apparatining isitish yuzasini va seksiyalar sonini aniqlang.

Javob:  $F = 1100\text{ m}^2$ ,  $n = 7$ .

3. Qarama-qarshi yoʻnalishli issiqlik almashuv apparatidagi issiq suvning kirishdagi harorati  $80^{\circ}\text{C}$ , chiqishdagi harorati  $60^{\circ}\text{C}$  va sarfi  $G_1 = 2\text{ kg/s}$ . Sovuq suvning kirishdagi harorati  $10^{\circ}\text{C}$  va sarfi  $G_2 = 0,75\text{ kg/s}$ . Issiqlik berish koeffitsiyentlari  $\alpha_1 = 2000\text{ Vt/m}^2\text{K}$ ,  $\alpha_2 = 4000\text{ Vt/m}^2\text{K}$  va devorning termik qarshiligi maʼlum boʻlsa,  $\frac{\delta}{\lambda} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{100}$  issiqlik almashuv apparatining sirt yuzasini aniqlang.

Javob :  $F = 4,24\text{ m}^2$ .

### Nazorat savollari.

1. Issiqlik almashinuv apparatlari deb qanday apparatlarga aytiladi?
2. Issiqlik almashinuv apparatlari necha turga boʻlinadi?
3. Nima uchun issiqlik balansi tuziladi?
4. Issiq tashuvchilarning yoʻnalishi boʻyicha issiqlik almashinuv apparatlari necha turga boʻlinadi?
5. Issiqlik almashinuv apparatlarini issiqlik hisobi qaysi ifoda orqali olib boriladi?

### ILOVALAR

1-jadval

Quruq havoning issiqlik fizik xossalari

t, °C	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	$S_r$ , kJ/(kgK)	$\lambda \cdot 10^2$ , Wt/(mK)	$a \cdot 10^6$ , m/s	$\mu \cdot 10^6$ , Pa s	$\gamma \cdot 10^6$ , m <sup>2</sup> /s	Pr
0	1,293	1,005	2,44	18,8	7,2	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	20,0	17,6	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	21,4	18,1	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	22,9	18,6	16,00	0,701
40	1,28	1,005	2,76	24,3	19,1	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	25,7	19,6	17,95	0,698
60	1,060	1,005	2,90	26,2	20,1	18,97	0,696
70	1,029	1,009	2,96	28,6	20,6	20,02	0,694
80	1,000	1,009	3,05	30,2	21,1	21,09	0,692
90	0,972	1,009	3,13	31,9	21,5	22,10	0,690
100	0,946	1,009	3,21	33,6	21,9	23,13	0,688
120	0,898	1,009	3,34	36,8	22,8	23,45	0,686
40	0,854	1,013	3,49	40,3	23,7	27,80	0,684
160	0,815	1,017	3,64	43,9	24,5	30,09	0,682
180	0,779	1,022	3,78	47,5	25,3	32,49	0,681
200	0,746	1,026	3,93	51,4	26,0	34,85	0,680
250	0,674	1,038	4,27	61,0	27,4	40,61	0,677
300	0,615	1,047	4,60	71,6	29,7	48,33	0,674
350	0,566	1,059	4,91	81,9	31,4	55,46	0,676
400	0,524	1,068	5,21	93,1	33,0	63,09	0,678
500	0,456	1,093	5,74	115,3	36,2	79,38	0,687
600	0,404	1,114	6,22	138,3	39,1	96,89	0,699
700	0,362	1,135	6,71	163,4	41,8	115,4	0,706
800	0,329	1,156	7,18	188,8	44,3	134,8	0,713

2-jadval

To'yinish chizig'idagi bug'ning  
issiqlik fizik xossalari

P, MPa	$t_{to'y}$ , °C	r, kJ/kg
0,15	111,4	2226
0,2	120,2	2202
0,25	127,4	2182
0,3	133,5	2164
0,35	138,9	2148
0,4	143,6	2133
0,45	147,9	2121
0,5	151,8	2109

3-jadval

Trasnformator yog'ining issiqlik-fizik xossalari

t, °C	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	$S_r$ , kJ/(kgK)	$\lambda \cdot 10^2$ , Wt/(mK)	$\mu \cdot 10^6$ , Pa s	$\gamma \cdot 10^6$ , m <sup>2</sup> /s	$a \cdot 10^8$ , m <sup>2</sup> /s	$\beta \cdot 10^4$ , K <sup>-1</sup>	Pr
0	892,5	1,549	0,1123	629,8	70,5	8,14	6,80	866
10	886,6	1,620	0,1115	335,5	37,9	7,83	6,8	484
20	880,3	1,666	0,1106	198,2	22,5	7,56	6,90	298
30	874,2	1,729	0,1098	128,2	14,7	7,28	6,995	202
40	868,2	1,788	0,1090	89,4	10,3	7,03	7,00	146
50	862,1	1,846	0,1082	65,3	7,58	6,80	7,05	11
60	856,0	1,905	0,1072	49,5	5,78	6,58	7,10	87,8
70	850,0	1,964	0,1064	38,6	4,54	6,36	7,15	71,3
80	843,9	2,026	0,1056	30,8	3,66	6,17	7,20	59,3
90	837,8	2,085	0,1047	25,4	,03	6,00	7,25	50,5
100	831,8	2,144	0,1038	21,3	2,56	5,83	7,30	43,9
110	825,7	2,202	0,1030	18,1	2,20	5,67	7,35	38,8
120	819,6	2,261	0,1022	15,7	1,92	5,50	7,40	34,9

4-jadval

MC-20 moyining issiqlik-fizik xossalari

$t, ^\circ c$	$\rho,$ kg/ m <sup>3</sup>	$C_p,$ kJ/(kgK)	$\lambda \cdot 10^2$ Wt/(mK)	$\mu \cdot 10^6,$ Pa·c	$\nu \cdot 10^6,$ Pa·c	$a \cdot 10^6,$ m <sup>2</sup> /s	$\beta \cdot 10^4,$ K <sup>-1</sup>	Pr
0	903,6	1,980	0,135	-	-	7,58	6,24	-
10	897,9	2,010	0,135	-	-	7,44	6,31	-
20	892,3	2,043	0,134	10026	1125	7,30	6,35	15400
30	866,6	2,072	0,132	4670	526	7,19	6,38	7310
40	881,0	2,106	0,131	2433	276	7,08	6,42	3890
50	875,3	2,135	0,130	1334	153	7,00	6,46	2180
60	869,6	2,165	0,129	798,5	91,9	6,86	6,51	1340
70	864,0	2,198	0,129	498,3	58,4	6,75	6,55	865
80	858,3	2,227	0,127	336,5	39,2	6,67	6,60	588
90	852,7	2,261	0,126	234,4	27,5	6,56	6,64	420
100	847,0	2,290	0,126	171,7	20,3	6,44	6,69	315
110	841,3	2,320	0,124	132,4	15,7	6,36	6,73	247
120	835,7	2,353	0,123	101,0	12,1	6,25	6,77	193
130	830,0	2,382	0,122	79,76	9,61	6,17	6,82	156
140	824,4	2,420	0,121	61,80	7,50	6,08	6,87	123
150	818,7	2,445	0,120	53,17	6,50	6,00	6,92	108



Suvning to'yinish chizig'idagi issiqlik fizik xossalari

t, °C	$P \cdot 10^3$ Pa	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	$h'$ , kdj/ kg	$C_p \frac{dj}{kgk}$	$\lambda \cdot 10^2$ Bt/mk	$a \cdot 10^3$ m <sup>2</sup> /s	$\mu \cdot 10^6$ Pas	$\gamma \cdot 10^6$ m <sup>2</sup> /s	$\beta \cdot 10^4$ K <sup>-1</sup>	$\sigma \cdot 10^4$ N/m	Pr
0	1,013	999,9	0	4,212	55,1	13,1	1788	1,789	-0,63	756,4	13,67
10	1,013	999,7	42,04	4,191	57,4	13,7	1306	1,306	+0,7	741,6	9,52
20	1,013	998,2	63,91	4,183	59,9	14,3	1004	1,006	1,82	726,9	7,02
30	1,013	99,57	125,7	4,174	61,8	14,9	801,5	0,805	321	712,2	5,42
40	1,013	992,2	167,5	4,174	63,5	15,3	653,3	0,659	3,87	696,5	4,31
50	1,013	988,1	209,3	4,174	64,8	15,7	549,4	0,556	4,49	676,9	3,54
60	1,013	983,2	251,1	4,179	65,9	16,0	469,9	0,478	5,11	662,2	2,98
70	1,013	977,8	293	4,187	66,8	16,3	406,1	0,415	5,70	643,5	2,55
80	1,013	971,8	335,0	4,195	67,4	16,6	355,1	0,365	6,32	625,9	2,21
90	1,013	965,3	377,0	4,208	68,0	16,8	314,9	0,326	6,95	607,2	1,95
100	1,013	958,4	419,1	4,220	68,3	16,9	282,5	0,295	7,52	588,6	1,75
110	1,43	951,0	461,4	4,233	68,5	17,0	259,0	0,272	8,08	569,0	1,60
120	1,98	943,1	503,7	4,250	68,6	17,0	237,4	0,252	8,64	548,4	1,47
130	2,70	934,8	546,4	4,266	68,6	17,2	217,8	0,233	9,19	528,8	1,36
140	3,61	926,1	589,1	4,287	68,5	17,2	201,1	0,217	9,72	507,2	1,26
150	4,76	917,0	632,2	4,313	68,4	17,3	186,4	0,203	10,3	486,6	1,17
160	6,18	907,4	675,4	4,346	68,3	17,3	173,6	0,191	10,7	466,0	1,10
170	7,92	897,3	719,3	4,380	67,9	17,3	162,8	0,181	11,3	443,4	1,05
180	10,03	886,9	763,3	4,417	67,4	17,2	153,0	0,173	11,9	422,8	1,00
190	12,55	876,0	807,8	4,459	67,0	17,1	144,2	0,165	12,6	400,2	0,96
200	15,55	863,0	852,5	4,505	66,3	17,0	136,4	0,158	13,3	376,7	0,93

210	19,08	852,8	897,7	4,555	65,5	16,9	130,5	0,153	14,1	354,1	0,91
220	23,20	840,3	943,7	4,614	64,5	16,6	124,6	0,148	14,8	331,6	0,89
230	27,98	827,3	990,2	4,681	63,7	16,4	119,7	0,145	15,9	310,0	0,88
240	33,48	813,48	1037,5	4,756	62,8	16,2	114,8	0,141	16,8	285,5	0,87
250	39,78	799,0	1085,7	4,844	61,8	15,9	109,9	0,137	18,1	261,9	0,86

## Adabiyotlar

1. S. Kleein., G.Nellis. Thermodynamics. Cambridge, 2012
2. Zohidov R.A., Alimova M.M., Mavjudova Sh.S., Issiqlik texnikasining nazariy asoslari. O'quv qo'llanma.-Toshkent: O'zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashiriyoti, 2010.
3. Зоҳидов Р.А., Авезов Р.Р., Вардияшвили А.Б., Алимова М.М. «Иссиқлик техникасининг назарий асослари» ўқ.қўл.,1қисм.-Т.: ТГТУ, 2005.
4. Зоҳидов Р.А., Алимова М.М., Мавжудова Ш.С. Техник термодинамика ва иссиқлик узатилиши фанидан масалалар тўплами, - Тошкент.: ТДТУ, 2006.
5. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Техническая термодинамика. - М.: Высшая школа, 2005.
6. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен, -МЭИ.: 2001.

## MUNDARIJA

Kiri sh .....	4
1 ISSIQLIKO‘TKAZUVCHANLIK.....	6
1.1 Issiqliko‘tkazuvchanlik .....	6
1.2 Haroratlar gradiyenti .....	7
1.3 Issiqliko‘tkazuvchanlikning asosiy qonuni .....	7
1.4 Issiqliko‘tkazuvchanlikning differensial tenglamasi .....	9
1.5 Bir o‘lchamlik shartlari .....	11
Masalalar .....	13
Nazorat savollari .....	14
2 Birinchi tartibli chegara shartidagi barqaror issiqliko‘tkazuvchanligi.....	15
2.1 Bir qatlamli yassi devorining issiqliko‘tkazuvchanligi .	15
2.2 Ko‘p qatlamli yassi devorning I tartibli chegara shartidagi issiqliko‘tkazuvchanligi.....	17
2.3 Bir qatlamli silindrik devorning I tartibli chegara shartidagi issiqliko‘tkazuvchanligi.....	19
2.4 Silindrik ko‘p qatlamli devorning issiqliko‘tkazuvchanligi .....	22
2.5 Shar shaklidagi jismning issiqliko‘tkazuvchanligi.....	23
2.6 Ixtiyoriyshakldagi jismning I tartibli chegarashaklidagi issiqliko‘t kazuvchanligi .....	24
Masalalar .....	25
Nazorat savollari .....	26
3 Barqaror sharoitda III - tartibli chegara shartidagi issiqliko‘tkazuvchanlik.....	27
3.1 Bir qatlamli yassi devor orqali issiqlik uzatilishi.....	27
3.2 Ko‘p qatlamli yassi devor orqali issiqlik uzatish.....	28
3.3 Bir qatlamli va ko‘p qatlamli silindrik devor orqali.....	31
III - tartibli chegara shartidagi issiqlik uzatish.....	31
3.4 Izolasiyaning kritik diametric .....	32
Masalalar .....	35
Nazorat savollari .....	36
4 Nobarqaror sharoitda issiqliko‘tkazuvchanlik.....	36
4.1 Asosiy tushunchalar.....	36
4.2 Regulyar rejim. Regulyar rejim holatda nobarqaror issiqliko‘tkazuvchanlik.....	38
4.3 Yassi yuzada nobarqaror issiqliko‘tkazuvchanlik.....	40

	Nazorat savollari .....	40
5	KONVEKTIV ISSIQLIKALMASHINUVI .....	41
5.1	Umumiy tushunchalar .....	41
5.2	Issiqlikberishkoeffitsiyentigata'siretuvchifaktorlar ...	43
5.3	Konvektiv issiqlik almashinuvining differensial tenglamalari.....	43
5.4	Bir o'lchamlik shartlari .....	45
5.5	O'xshashliknazariyasoslari. MezonlitenglamalarQuvurlardamajburiyoqimdaissiqlikberish .....	45
	Masalalar .....	50
	Nazorat savollari .....	51
6	Erkin harakatlanishdaIssiqlik berilishi .....	52
6.1	Tekis yuza bo'ylab oq'ish jarayonida Issiqlik beruvchanlikning gidrodinamikasi.....	54
6.2	Tekis yuzada suyuqlik xarakatlanganda Issiqlik berilishi .....	56
	Masalalar .....	62
	Nazorat savollari.....	62
7	Quvurlardasuyuqliknimajburiyqimidaissiqlikberuvchfnlik .....	63
7.1	Suyuqlikquvur bo'ylab harakatlanganda Issiqlik almashuvi .....	63
7.2	Quvurlar to'plamida Issiqlik beruvchanlik.....	65
	Nazorat savollari .....	66
8	Quvur va quvurlar bog'lamini ko'ndalang oqib o'tishida issiqlik almashinuvi .....	67
8.1	Quvurni ko'ndalang oqib o'tishidagi issiqlik almashinuvi.....	67
8.2	Quvurlar bog'lamini ko'ndalang uvilishida issiqlik almashinuvi.....	67
8.3	G'adir-budur quvurlardagi issiqlik almashinuv.....	70
8.4	Yaxlitdumaloqquvurniko'ndalangoqibo'tishdagiissiqlikalmashinuvi .....	70
	Masalalar .....	71
	Nazorat savollari .....	71
9	Suyuqlikerkin harakatlanganda Issiqlikberilishi .....	72

9.1	Suyuqlik katta hajmda erkin harakatlenganda Issiqlikberilishi .....	72
9.2	Suyuqlik cheklangan muhitda erkin harakatlenganda issiqlik berilishi .....	73
	Masalalar .....	74
	Nazorat savollari .....	75
10	Qaynashda Issiqlik beruvchanlik .....	76
10.1	Qaynash jarayoni va uni sodir bo'lishi .....	76
10.2	Qaynash ning turlari .....	78
10.3	Qaynashkrizislarivaungata'siretuvchiomillar .....	79
10.4	Katta hajmdagi va kanallardagi qaynash .....	81
	Masalalar .....	83
	Nazorat savollari.....	84
11.	Bug'ni q'aytadan suvga aylanishida Issiqlik beruvchanlik .....	85
11.1	Kondensatsiya hodisasi .....	85
11.2	Vertikal yuzada harakatlanmayotgan bug'ning plyonkalik kondensatsiyasidagi Issiqlik almashinuvi .....	88
11.3	Gorizontal quvurlarda va quvurlar to'plamidagi kodensasiya .....	91
11.4	Bug'ning tomchilab kondensatsiyasida Issiqlik beruvchanlik .....	92
	Nazorat savollari .....	93
12	NURLANISH USULIDA ISSIQLIK UZATILISHI	95
12.1	Asosiy tushunchalar .....	95
12.2	Nurlanishning asosiy q'onunlari .....	96
	Masalalar .....	97
	Nazorat savollari .....	98
13	Issiqlik almashinish apparatlari .....	99
13.1	Issiqlik almashinish apparatlarining issiqlik hisobi.....	99
13.2	Issiqlik almashinuv apparatlarining issiqlik hisobi.....	100
13.2.	Issiqlik tashuvchilarning oqimi holatini aniqlash.....	100
1		0
13.2.	Noma'lum sarfni aniqlash .....	100
2		1
13.2.	Issiqlik almashinishi quvurlarining devoir haroratlarini aniqlash .....	100
3		2

13.2.	Isituvchi issiqlik tashuvchilar tomonidan issiqlik berish	
4	koeffitsentini aniqlash.....	10
		2
13.2.	Qizitilayotgan issiqlik tashuvchi tomonidan issiqlik berish	
5	koeffitsentini aniqlash .....	10
		5
13.2.	Issiqlik uzatish koeffitsentini aniqlash .....	10
6		3
13.2.	Devor haroratini aniqlash .....	10
7		3
13.2.	Apparatning issiqlik unumdorligini aniqlash .....	10
8		4
13.2.	Apparatning konstruktiv parametrlarini aniqlash .....	10
9		5
13.3	Issiqlik almashinuviapparatlarining gidravlik hisobi .....	10
		5
13.3.	Quvurlar yuzasidagi yo‘qolishlarni aniqlash	10
1		6
13.3.	Quvurlar oralig‘idagi yo‘qolishlarning yig‘indisini	
2	aniqlash.....	10
		7
	Masalalar .....	10
		9
	Nazorat savollari .....	10
	Ilovalar .....	9
		11
		0
	Adabiyotlar .....	11
		1

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
----------------	---

1	ТЕПЛОПРОВОДИМОСТЬ .....	6
1.1	Теплопроводимость .....	6
1.2	Температурный градиент .....	7
1.3	Основной закон теплопроводимости .....	7
1.4	Дифференциальное уравнение теплопроводимости	9
1.5	Условие единого измерения .....	11
	Задачи .....	13
	Контрольные вопросы .....	14
2	Устойчивая тепло проводимость в условии одно	
	порядковой границы .....	15
2.1	Тепло проводимость однослойной плоской стены	15
2.2	Тепло проводимость многослойной плоской стены	
	в условии одно порядковой границы.....	17
2.3	Тепло проводимость однослойной	
	цилиндрической стены в условии одно	
	порядковой границы.....	19
2.4	Теплопроводимость многослойной	
	цилиндрической стены .....	22
2.5	Теплопроводимость шарообразного тела .....	23
2.6	Тепло проводимость произвольного тела в	
	условии одно порядковой границы .....	24
	Задачи .....	25
	Контрольные вопросы .....	26
3	Тепло проводимость при устойчивом условии III	
	-порядковой границы .....	27
3.1	Передача тепла через однослойную плоскую стену	27
3.2	Тепло передача через многослойный плоскую	
	стену.....	28
3.3	Теплопередача при условии III -порядковой	
	границы через однослойную и многослойную	
	цилиндрическую стену .....	31
3.4	Критический диаметр изоляции .....	31
	Задачи .....	32
	Контрольные вопросы .....	35
4	Теплопередача при неустойчивых условиях .....	36
4.1	Основные понятия .....	36
4.2	Регулярный режим. Неустойчивая теплопередача	
	при регулярном режиме .....	36
4.3	Неустойчивая теплопередача при плоской	



	плоскости .....	38
	Контрольные вопросы .....	40
5	КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН .....	40
5.1	Общие понятия .....	41
5.2.	Факторы влияющие на коэффициент передачи тепла .....	41
5.3	Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена.....	43
5.4	Условия единого измерения .....	43
5.5	Основы теории аналогии. Уравнения критериев. Теплопередача при принудительных потоках в трубах .....	45
	Задачи .....	45
	Контрольные вопросы .....	50
6	Передача тепла при свободном движении .....	51
6.1	Гидродинамика теплопередачи при процессе течения по ровной плоскости .....	52
6.2	Теплопередача при движении жидкости по ровной плоскости .....	54
	Задачи .....	56
	Контрольные вопросы .....	62
7	Теплопередача в принудительном участке жидкости в трубах .....	62
7.1	Теплообмен при движении жидкости по трубам ..	63
7.2	Теплопередача в наборе труб .....	63
	Контрольные вопросы .....	65
8	Теплообмен при поперечном потоке труб и связки труб .....	66
8.1	Теплообмен при поперечном течении труб .....	67
8.2	Теплообмен при поперечном промывании связок труб .....	67
8.3	Теплообмен в неровных трубах .....	67
8.4	Теплообмен целостной круглой трубы при поперечном течении .....	70
	Задачи .....	70
	Контрольные вопросы .....	71
9	Теплопередача при свободном течении жидкости	71

9.1	Теплопередача при свободном течении жидкости большого объема .....	72
9.2	Теплопередача при свободном движении жидкости в ограниченной области .....	72
	Задачи .....	73
	Контрольные вопросы .....	74
10	Теплопередаваемость при кипении .....	75
10.1	Процесс кипения и его осуществление .....	76
10.2	Типы кипения .....	76
10.3	Кризисы кипения и действующие на него факторы	78
10.4	Кипение при больших объемах и каналах .....	79
	Задачи .....	81
	Контрольные вопросы .....	83
11	Теплопередача при преобразовании пара обратно в воду .....	84
11.1	Явление конденсации .....	85
11.2	Теплообмен при пленочной конденсации пара движущегося по вертикальной плоскости .....	85
11.3	Конденсация в горизонтальных трубах и связках труб .....	88
11.4	Теплопередача при капельной конденсации пара ...	91
	Контрольные вопросы .....	92
12	<b>ТЕПЛОПЕРЕДАЧА МЕТОДОМ ИЗЛУЧЕНИЯ</b>	93
12.1	Основные понятия .....	95
12.2	Основные законы излучения .....	95
	Задачи .....	96
	Контрольные вопросы .....	97
13	Аппараты теплообмена .....	98
13.1	Учеттеплааппаратовтеплообмена .....	99
13.2	Учеттеплааппаратовтеплообмена .....	99
13.2.1	Определение состояния потока теплоносителей ...	100
13.2.2	Определение неизвестного расхода .....	100
13.2.3	Определение            девоирной            температуры теплообмена труб .....	101
13.2.4	Определение коэффициента передачи тепла при помощи нагревающих теплоносителей .....	102
13.2.5	Определение коэффициента передачи тепла со стороны нагреваемого теплоносителя .....	102
13.2.6	Определение коэффициента теплопередачи .....	105

13.2.7	Определение девоирной температуры .....	103
13.2.8	Определение производительности тепловых аппаратов.....	103
13.2.9	Определение конструктивных параметров аппаратов .....	104
13.3	Гидравлический учет аппаратов теплообмена .....	105
13.3.1	Определение потерь на поверхности труб .....	106
13.3.2	Определение нижеследующим образом потерь между трубами .....	107
	Задачи .....	107
	Контрольные вопросы .....	109
	Приложение .....	110
	Использованная литература .....	111

## CONTENT

	INTRODUCTION .....	4
1	THERMAL CONDUCTIVITY .....	6
1.1	Heat production .....	6
1.2	Temperature gradient .....	7
1.3	The basic law of thermal conductivity .....	7
1.4	Differential heat equation .....	9
1.5	The single measurement condition .....	11
	Tasks .....	13
	Test questions .....	14
2	Stable heat conductivity in a single-boundary condition .....	15
2.1	Heat conductivity of a single-layer flat wall .....	15
2.2	Heat conductivity of a multilayer flat wall in the condition of one ordinal boundary .....	17
2.3	Heat conductivity of a single-layer cylindrical wall in the condition of one ordinal boundary .....	19
2.4	Thermal conductivity of a multilayer cylindrical wall .....	22

2.5	Heat conductivity of the spherical body.....	23
2.6	Heat conductivity of an arbitrary body in a single-boundary condition .....	24
	Tasks .....	25
	Test questions .....	26
3	Heat conduction under the stable condition of the III-order boundary .....	27
3.1	Heat transfer through a single-layer flat wall .....	27
3.2	Heat transfer through a laminated flat wall .....	28
3.3	Heat transfer under the condition of III-order boundary through a single-layered and multilayer cylindrical wall .....	31
3.4	Critical insulation diameter .....	31
	Objectives .....	32
	Test questions .....	35
4	Heat transfer under unstable conditions .....	36
4.1	Basic concepts .....	36
4.2	Regular mode. Unstable heat transfer under regular conditions .....	36
4.3	Unstable heat transfer in a plane plane .....	38
	Test questions .....	40
5	CONVECTIVE HEAT EXCHANGE .....	40
5.1	General concepts .....	41
5.2	Factors affecting the heat transfer coefficient .....	41
5.3	Differential equations of convective heat transfer .....	43
5.4	The conditions for a single measurement .....	43
5.5	Fundamentals of the theory of analogy. Equations of criteria. Heat transfer in forced flows in pipes ...	45
	Objectives .....	45
	Control questions .....	50
6	Heat transfer during free movement .....	51
6.1	Hydrodynamics of heat transfer during a flow process along a flat plane .....	52
6.2	Heat transfer when the liquid moves along a flat plane .....	54
	Tasks .....	56
	Test questions .....	62
7	Heat transfer in the forced area of the liquid in the pipes.....	62

7.1	Telpolysis when moving fluid through pipes .....	63
7.2	Heat transfer in a set of pipes .....	63
	Test questions .....	65
8	Heat transfer for transverse flow of pipes and bundles of pipes.....	66
8.1	Heat transfer in the transverse flow of pipes.....	67
8.2	Heat transfer during transverse washing of bundles of pipes .....	67
8.3	Heat transfer in uneven pipes .....	67
8.4	Heat transfer of a hollow circular pipe in a transverse flow .....	70
	Tasks .....	70
	Control questions .....	71
9	Heat transfer during free flow of liquid. 86 .....	71
9.1	Heat transfer in the free flow of a large volume of liquid.....	72
9.2	Heat transfer at free motion of a fluid in a limited region .....	72
	Objectives .....	73
	Control questions .....	74
10	Heat transfer at boiling .....	75
10.1	The process of boiling and its implementation ....	76
10.2	Types of boiling .....	76
10.3	Crises of boiling and the factors acting on it .....	78
10.4	Boiling at high volumes and channels .....	79
	Tasks .....	81
	Control questions .....	83
11	Heat transfer when steam is converted back to water.....	84
11.1	Condensation phenomenon .....	85
11.2	Heat transfer during film condensation of steam moving along a vertical plane .....	85
11.3	Condensation in horizontal pipes and pipe bundles .....	88
11.4	Heat transfer during drop condensation of steam ..	91
	Test questions .....	92
12	THERMAL TRANSMISSION BY RADIATION METHOD .....	93
12.1	Basic concepts .....	95

12.2	Basic radiation laws .....	95
	Objectives .....	96
	Control questions .....	97
13	Heat exchangers .....	98
13.1	Heat transfer of heat exchangers.....	99
13.2	Heat transfer of heat exchangers .....	99
13.2.1	Determination of the heat carrier flow .....	100
13.2.2	Definition of unknown flow .....	100
13.2.3	Determination of the wedge temperature of pipe heat exchange.....	101
13.2.4	Determination of the heat transfer coefficient with the aid of heating mediums .....	102
13.2.5	Determination of the heat transfer coefficient from the heating medium side .....	102
13.2.6	Determination of the heat transfer coefficient .....	105
13.2.7	Determination of the void temperature .....	103
13.2.8	Determination of the productivity of heat devices	104
13.2.9	Definition of design parameters of devices .....	105
13.3	Hydraulic accounting of heat exchangers .....	105
13.3.1	Determination of losses on the surface of pipes ...	106
13.3.2	Determination of the following losses between pipes.....	107
	Tasks .....	109
	Test questions .....	109
	Application .....	110
	References .....	111

