

***FAN: ISSIQLIK VA MASSA  
ALMASHINUV JARAYONLARI VA  
QURILMALARI***

***MAVZU: REKUPERATIV ISSIQLIK  
ALMASHINUV QURILMALARINI  
HISOBLASH.***

***MA'RUZACHI: t.f.f.d., dots. U.X. IBRAGIMOV***

# **MA'RUZA REJASI**

- 1. Rekuperativ issiqlik almashinuv qurilmalarini hisoblash tartibi.*
- 2. Issiqlik konstruktiv hisobi.*
- 3. Tekshiruv hisobi.*
- 4. Joylashtiruv hisobi.*
- 5. Hidravlik hisobi.*



# 1. Rekuperativ issiqlik almashinuv qurilmalarini hisoblash tartibi.

## Hisoblash tartibi



## 2. Issiqlik konstruktiv hisob.

Issiqlik balansi tenglamasi:

$$Q = Q_1 \eta = Q_2$$

bu yerda  $Q$  – qurilmaning issiqlik yuklamasi,  $\eta = 1 - Q_{yo'q}/Q_1 = Q_2/Q_1$  – foydali ish koeffitsiyenti.

Fazaviy holatini o'zgartirmaydigan ikkita issiqlik tashuvchi uchun issiqlik balansi tenglamasi:

$$G_1 c_1 (t'_1 - t''_1) \eta = G_2 c_2 (t''_2 - t'_2)$$

bu yerda  $G_1$  va  $G_2$  – sarflar;  $c_1$  va  $c_2$  – solishtirma issiqlik sig'implari;  $t'_1, t''_1, t'_2, t''_2$  - issiqlik tashuvchilarning qurilmaga kirish va chiqishdagi haroratlari.

Agar issiqlik tashuvchilardan biri fazaviy holatini o'zgartirsa, masalan sovuq suv bilan sovitish natijasida bug'ni kondensasiyalanishi sodir bo'lsa:

$$G_1 (h'_1 - h''_1) \eta = G_2 c_2 (t''_2 - t'_2)$$

bu yerda  $h'_1, h''_1$  - kondensatning entalpiyasi.

Agar ikkala issiqlik tashuvchining ham fazaviy holati o'zgarsa, masalan bug' hosil qilgichda qizdiruvchi bug'ning kondensasiyalanish issiqligi hisobiga suvdan ikkilamchi bug' olish amalga oshirilsa, u holda:

$$G_1 (h'_1 - h''_1) \eta = G_2 (h''_2 - h'_2)$$

bu yerda  $h'_2, h''_2$  - qiziyotgan issiqlik tashuvchilarning boshlang'ich va oxirgi entalpiyasi.

## 2. Issiqlik konstruktiv hisob.

Issiqlik almashinuv qurilmasining qizdirish yuzasining maydoni issiqlik uzatish tenglamasidan aniqlanadi:

$$F = \frac{Q}{k\Delta t_{o'rt}}$$

bu yerda  $k$  – issiqlik uzatish koeffisienti;  $F$  – qizdirish yuzasining maydoni;  $\Delta t_{o'rt}$  – issiqlik tashuvchilar orasidagi o'rtacha haroratlar farqi.

Issiqlik uzatishning asosiy tenglamalarini solishtirish natijasida issiqlik uzatish jarayonining o'rtacha harakatga keltiruvchi kuchini topish mumkin:

$$\Delta t_{o'rt} = \Delta t_{o'rt.log} = \frac{\Delta t_{kat} - \Delta t_{kich}}{\ln \frac{\Delta t_{kat}}{\Delta t_{kich}}} = \frac{\Delta t_{kat} - \Delta t_{kich}}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{kat}}{\Delta t_{kich}}}$$

Qurilmaga kirishda va undan chiqishda issiqlik tashuvchi muhitlarning katta va kichik farqlarining nisbati  $\Delta t_{kat}/\Delta t_{kich} > 1,5$  bo'lsa, o'rtacha haroratlar farqi o'rtacha logarifmik qiymat bilan aniqlanadi:

Qurilmaga kirishda va undan chiqishda issiqlik tashuvchi muhitlarning katta va kichik farqlari nisbati  $\Delta t_{kat}/\Delta t_{kich} < 1,5$  bo'lsa, o'rtacha haroratlar farqi o'rtacha arifmetik qiymat bilan aniqlanadi:

$$\Delta t_{o'rt.arif} = \frac{\Delta t_{kat} + \Delta t_{kich}}{2}$$

## 2. Issiqlik konstruktiv hisob.

Nusselt mezonining tenglamasi orqali issiqlik berish koeffisienti  $\alpha$  aniqlanadi:

$$\alpha = \frac{Nu\lambda}{l}$$

Issiqlik berish koeffisienti issiqlik oqimining har bir rejimi uchun alohida mezonli tenglamalar orqali ifodalanadi.

1. Dumaloq ko'ndalang kesimli tekis quvur yoki kanallarda issiqlik tashuvchi muhitlarning agregat holati o'zgarmasdan **turbulent rejimda** ( $Re \geq 10000$ ) oqishi vaqtida ushbu formulani qo'llash mumkin:

$$Nu = 0,021Re^{0,8}Pr^{0,43} \left( \frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25}$$

2. **O'tish rejimida** ( $2300 < Re < 10000$ ) issiqlikning berilishi uchun aniq mezonli tenglama bo'lmaganligi sababli quyidagi taxminiy mezonli tenglamadan foydalanish mumkin:

$$K_0 = NuPr^{-0,43} \left( \frac{Pr_s}{Pr_d} \right)^{-0,25}$$

$$Nu = K_0Pr^{0,43} \left( \frac{Pr_s}{Pr_d} \right)^{0,25}$$

3. Tekis quvur va kanallarda **laminar rejimda** ( $Re \leq 2300$ ), erkin konveksiya ta'siri kam ( $Gr \cdot Pr < 810^5$ ) bo'lganda quyidagi hisoblash tenglamadan foydalaniladi:

$$Nu = 0,17Re^{0,33}Pr^{0,43}Gr^{0,1} \left( \frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25}$$



## 2. Issiqlik konstruktiv hisob.

Quvurlararo bo'shliqda muhitlarning issiqlik berish koeffisienti quyidagi tenglamalar orqali aniqlanadi.

Agar  $1,6 < Re < 40$  bo'lsa, u holda:

- shaxmatsimon joylashgan quvurlar uchun:

$$Nu = 1,04Re^{0,4}Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25}$$

- yo'laksimon joylashgan quvurlar uchun:

$$Nu = 0,9Re^{0,4}Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25}$$

Agar  $40 < Re < 10^3$  bo'lsa, u holda:

- shaxmatsimon joylashgan to'plam uchun:

$$Nu = 0,71Re^{0,5}Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25}$$

- yo'laksimon joylashgan to'plam uchun:

$$Nu = 0,52Re^{0,5}Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25}$$

## 2. Issiqlik konstruktiv hisob.

Agar  $10^3 < Re < 210^5$  bo'lsa, u holda:

- shaxmatsimon joylashgan to'plam uchun:

$s_1/s_2 < 2$  bo'lganda

$$Nu = 0,35Re^{0,6}Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25} \left( \frac{s_1}{s_2} \right)^{0,2}$$

$s_1/s_2 > 2$  bo'lganda

$$Nu = 0,4Re^{0,6}Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25}$$

- yo'laksimon joylashgan to'plam uchun:

$$Nu = 0,27Re^{0,63}Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25}$$

Agar  $Re > 210^5$  bo'lsa, u holda:

- shaxmatsimon joylashgan to'plam uchun:

$$Nu = 0,031Re^{0,8}Pr^{0,4} \left( \frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25}$$

- yo'laksimon joylashgan to'plam uchun:

$$Nu = 0,33Re^{0,8}Pr^{0,4} \left( \frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25}$$



### 3. Tekshiruv hisobi.

Amaliyotda standart yoki yangi ishlab chiqilayotgan issiqlik almashinuv qurilmasi uchun  $G_1$ ,  $G_2$  sarflar, boshlang'ich haroratlari  $t'_1$ ,  $t'_2$ , moslama yuzasining maydoni  $F$  aniq bo'lganda issiqlik tashuvchilar haroratining oxirgi qiymatini  $t''_1$ ,  $t''_2$  yoki moslamaning issiqlik quvvatini aniqlash zaruriyati tug'iladi. Issiqlik va massa almashinuv kursidan ma'lumki,  $t''_1$ ,  $t''_2$  larni quyidagi formulalardan hisoblash mumkin:

$$t''_1 = t'_1 - (t'_1 - t'_2) \varepsilon \frac{(Gc)_{\min}}{G_1 c_1}$$

$$t''_2 = t'_2 + (t'_1 - t'_2) \varepsilon \frac{(Gc)_{\min}}{G_2 c_2}$$

bu yerda  $\varepsilon$  -issiqlik almashinuv qurilmasining samaradorligi, ushbu ulush maksimal mumkin bo'lgan haqiqiy issiqlik quvvatidan aniqlanadi;  $(Gc)_{\min}$  -  $G_1 c_1$  va  $G_2 c_2$  dan kichik.

## 4. Joylashtiruv hisobi.

Quvurlar soni quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$n = \frac{F}{\pi d_{o'rt} L} = \frac{4G_i z_q}{\pi d_i^2 \rho_i w_i}$$

bu yerda  $d_{o'rt}$  – quvurning o'rtacha diametri.

Oltiburchakli usulda joylashtirilganda quvurlar soni quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$n = 3a(a + 1) + 1$$

bu yerda  $a$ -oltiburchakning tartib nomeri, markazdan boshlab hisoblanadi, ya'ni  $a = (\sqrt{12n - 3} - 3)/6$ , oltiburchakning diagonal bo'yicha quvurlar soni  $b = 2a + 1$ .

Qurilma korpusining ichki diametri:

bir yo'lli:

$$D_i = s(b - 1) + 4d_t \text{ yoki } D_i' = 1,1s\sqrt{n}$$

ko'p yo'lli:

$$D_i = 1,1s \sqrt{\frac{n}{\eta}}$$

bu yerda  $\eta$ -quvur panjarasining to'lish koeffsienti, quvurlar band qilgan maydonni qurilma kesimidagi panjaraning to'liq maydoni nisbatiga teng. Odatda  $\eta = 0,6 \div 0,8$  oralig'ida bo'ladi.

## 4. Joylashtiruv hisobi.

Issiqlik almashinuv qurilmasining hisoblangan  $D_i$  ning hisobiy qiymati standart yoki tanlangan issiqlik almashinuv qurilmasinikaga qadar yaqinlashtiriladi.

Quvurdan harakatlanayotgan issiqlik tashuvchining yo'llar soni:

$$z_q = \frac{\pi d_i^2 \rho_q w_q}{4G_q}$$

Quvurlararo bo'shliqdagi yo'llar soni:

$$z_{qa} = \frac{f_{qa} \rho_{qa} w_{qa}}{G_{qa}}$$

Zmееvikli issiqlik almashinuv qurilmasini joylashtiruv hisobini bajarishda issiqlik hisobidan yuza maydoni  $F$ , quvurning ichki, tashqi va o'rtacha diametri,  $d_i$ ,  $d_t$ ,  $d_{o'rt}$ , zmееvik diametri  $D_z$  va uning o'ramlarini soni aniqlanadi, zmееvik bitta o'ramining uzunligi aniqlanadi:

$$l_z = \sqrt{\pi D_{zm} + h_{zm}^3} \approx \pi D_{zm}$$

Zmееvikning umumiy uzunligi:

$$l = \frac{F}{\pi d_{o'rt}}$$

O'ramlar soni:

$$n = \frac{l}{l_1}$$

Shtutserning shartli diametri quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$d_{sh.sh} = \sqrt{\frac{4G}{\pi \rho w}}$$

## 5. **Gidravlik hisob.**

Issiqlik almashinuv qurilmasining umumiy gidravlik qarshiligi ( $\Delta P$ , Pa) quvurlar bo'shlig'i va quvurlararo bo'shlig'idagi gidravlik qarshiliklarni yig'indisiga teng:

$$\Delta P = \Delta P_q + \Delta P_{q.a}$$

bu yerda  $\Delta P_q$  – quvurlar bo'shlig'idagi qarshiliklarini yengish uchun yo'qotilgan bosim, Pa;  $\Delta P_{q.a}$  – quvurlararo bo'shliqdagi qarshiliklarni yengish uchun yo'qotilgan bosim, Pa.

**Quvurlar bo'shlig'idagi gidravlik qarshilik** quyidagi tenglama orqali topiladi:

$$\Delta P_q = \Delta P_i + \Delta P_m = \left( \lambda \frac{l}{d_i} + \sum \xi \right) \frac{\rho w^2}{2}$$

bu yerda  $\lambda$  - ishqalanish qarshiligi koeffitsiyenti;  $l$  – quvurlarning bitta yo'li uzunligi, m;  $d_i$  – quvurning ichki diametri, m;  $\sum \xi$  – quvur yo'lidagi mahalliy qarshiliklar yig'indisi;  $\rho$  – suyuqlik yoki gazning zichligi, kg/m<sup>3</sup>;  $w$  – oqimning tezligi, m/s.

Ishqalanish qarshiligi koeffitsiyenti issiqlik tashuvchilarning harakat tartibiga va quvur ichki yuzasining nisbiy g'adir-budirlik ko'rsatkichiga bog'liq holda tegishli tenglamalar orqali topiladi:

a) laminar harakat tartibi uchun:

$$\lambda = \frac{A}{Re}$$

bu yerda  $A$  – quvur kesimi yuzasiga bog'liq koeffitsiyent,  $A = 64$  – silindrik kesimli quvurlar uchun;  $A = 57$  – to'rtburchak kesimli quvurlar uchun.  $Re$  – Reynolds mezon.

## 5. *Gidravlik hisob.*

b) *turbulent harakat tartibi uchun:*

$$\lambda = 0,11 \left( \varepsilon + \frac{68}{Re} \right)$$

*bu yerda  $\varepsilon$  - nisbiy g'adir-budirlilik; quvur ichki yuzasining absolyut g'adir-budirligini quvur diametriga nisbatiga teng, ya'ni*

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{d}$$

*bu yerda  $\Delta$  – absolyut g'adir-budirlilik ko'rsatkichi, quvur yuzasining holati va quvur yasalgan materialga bog'liq holda, maxsus adabiyotlarning jadvallaridan topiladi. Uning qiymati  $\Delta = 0,1 \div 0,3$  mm oraliq'ida qabul qilinishi mumkin.*

*Quvurlar bo'shlig'ida harakat qilayotgan oqimga ko'rsatilayotgan mahalliy qarshilik koeffitsiyentlari:  $\xi = 1,5$  – kamera ga kirish va chiqish;  $\xi = 2,5$  – yo'llar orasidagi burilish;  $\xi = 1,0$  – quvurga kirish va chiqish.*

**Quvurlararo bo'shlig'idagi gidravlik qarshilikni** hisoblashda ishqalanish qarshiligi mahalliy qarshilikni juda kam ulushini tashkil qilganligi sababli  $\Delta P_i$  qiymat hisobga olinmaydi. Demak, quvurlararo bo'shliqning umumiy qarshiligi faqatgina mahalliy qarshiliklardan iborat bo'ladi va quyidagi tenglama orqali topiladi:

$$\Delta P_{q.a} = \sum \xi_m \frac{\rho w_2^2}{2}$$

*bu yerda  $\sum \xi_m$  – quvurlararo bo'shliqdagi mahalliy qarshilik koeffitsientlarining yig'indisi;  $w_2$  – muhitning quvurlararo bo'shliqdagi tezligi, m/s:*

$$w_2 = \frac{G_2}{S_{e.k} \rho_2}$$

*bu yerda  $S_{e.k}$  – quvurlararo bo'shliqdagi eng kichik yuza, m<sup>2</sup>.*



## 5. **Gidravlik hisob.**

Quvurlararo bo'shlig'ida harakat qilayotgan oqimga ko'rsatilayotgan mahalliy qarshilik koeffitsiyentlari:  $\xi = 1,5$  – suyuqlikning kirishi va chiqishi;  $\xi = 1,5$  – segment to'siq orqali burilish;  $\xi = \frac{3m}{Re^{0,8}}$  – quvurlar dastasining qarshiligi.

Issiqlik tashuvchini issiqlik almashinuv qurilmasining quvurlar bo'shlig'idan o'tkazish uchun zarur nasos quvvati quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$N_q = \frac{G_1 \Delta P_q}{\rho_1 \eta}$$

bu yerda  $G_1$  – issiqlik tashuvchining massaviy sarfi,  $kg/s$ ;  $\Delta P_q$  – quvurlar bo'shlig'idagi umumiy yo'qotilgan bosim,  $Pa$ ;  $\rho$  – issiqlik tashuvchining zichligi,  $kg/m^3$ ;  $\eta$  – nasosning FIK, odatda  $\eta = 0,7$ .

Issiqlik tashuvchini issiqlik almashinuv qurilmasining quvurlararo bo'shlig'idan o'tkazish uchun zarur nasos quvvati quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$N_{q.a} = \frac{G_2 \Delta P_{q.a}}{\rho_2 \eta}$$

bu yerda  $G_2$  – issiqlik tashuvchining massaviy sarfi,  $kg/s$ ;  $\Delta P_{q.a}$  – quvurlar bo'shlig'idagi umumiy yo'qotilgan bosim,  $Pa$ ;  $\rho$  – issiqlik tashuvchining zichligi,  $kg/m^3$ ;  $\eta$  – nasosning FIK, odatda  $\eta = 0,7$ .