

**5.3-rasm.** Turli modellar bo'yicha harorat profilining hisobi:  
1-ideal aralashish; 2-ideal siqib chiqarish; 3-yacheykali model;  
4-diffuziyali model.

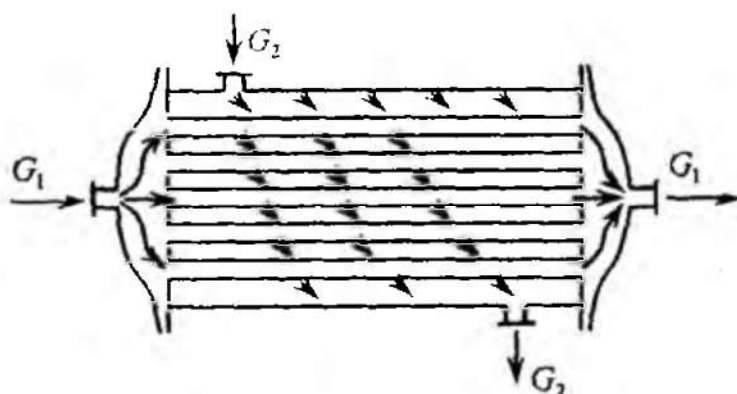
Ular turli modellar uchun olingan haroratlarning sezilarli tarqalishi haqida ma'lumot beradi. Shunday qilib, ideal o'rin almashish modeli yuqori haroratlarni ( $T_{2K} = 112^{\circ}\text{C}$ ) ni beradi, to'liq aralashish modeli esa past haroratlarni ( $T_{2K} = 100^{\circ}\text{C}$ ) ni beradi. Issiqlik almashish apparatidagi harorat o'zgarishining yanada realroq xarakterini yacheykali va diffuziyali modellar aks ettiradi ( $T_{2K} = 100^{\circ}\text{C}$ ). Bunda berilgan modellar uchun chekli haroratlarni amaliy jihatdan mos keladi, lekin juda kichik kesimlardagi haroratlarni farq qiladi. Ideal o'rin almashish va diffuziyali modellar uchun issiqlik apparatlarini hisoblashda chekli haroratlarning farqi  $5^{\circ}$  (5% ga yaqin) ni tashkil etadi. Sovuq agentning o'rin almashish va to'liq aralashish modellari yanada katta farqni beradi.

Keltirilgan natijalar shuni ko'rsatadiki, issiqlik tashuvchilari-ning real oqimlarini to'la o'rin almashish va aralashish rejimlaridan og'ishini o'rganish muhim hisoblanadi.

### **5.1.3. Rekuperativ issiqlik almashish apparatlarining ishlashini modellashtirish**

Umumiy munosabat. Issiqlik almashish apparatlarining berilgan turi kimyo sanoatida keng tarqalgan; unga birinchi navbatda

rekuperativ obi quvurli issiqlik almashish apparatlari tegishli (5.4-rasm).



**5.4-rasm.** Obi quvurli issiqlik almashish apparatidagi issiqlik tashuvchilar oqimlarining sxemasi.

Issiqlik almashish apparatlarining hisobi odatda kerakli miqdordagi issiqlik  $Q$  uzatish uchun lozim bo'ladigan issiqlik almashish sirti  $F$  ning maydonini aniqlash maqsadida (loyihaviy hisob) yoki berilgan konstruksiyali va issiqlik almashish yuzali issiqlik almashish apparatlaridagi issiqlik tashuvchilarning harorati va issiqlik miqdorini aniqlash maqsadida (tekshiruv hisobi) amalga oshiriladi. Bu variantlarning prinsipial farqlari yo'q, shuning uchun ham kelgusida loyihaviy hisobni ko'rib chiqamiz.

Devor bilan ajratilgan, turli haroratli ikki issiqlik tashuvchilar o'rtasidagi issiqlik uzatish jarayonini ko'rib chiqamiz. Elementar  $df$  issiqlik almashish maydoni orqali o'tadigan issiqlik miqdori  $dQ$

$$dQ = K(T_1 - T_2)df \quad (5.17)$$

ni tashkil etadi.

Bu yerda  $T_1$  va  $T_2$  – issiqlik tashuvchilarning issiqlik almashish yuzasiga perpendikular bo'lgan o'rtacha haroratlari;  $K$  – termik o'tkazuvchanlik mohiyatiga ega bo'lgan proporsionallik koeffitsiyenti va u issiqlik tashuvchilar haroratlarning farqi  $1^\circ$  bo'lganda birlik issiqlik almashish yuza orqali birlik vaqt ichida o'tuvchi issiqlik miqdoriga teng.

Termik o'tkazuvchanlikka teskari kattalik termik qarshilik bo'lib, issiqlik oqimi yo'nalishidagi bir-biriga bog'liq termik qarshiliklardan, aynan u: qattiq devor yuzasining birinchi issiqlik tashuvchining issiqlik o'tkazishini asosiy massasiga bo'lgan termik

qarshiligi  $1/\alpha_1$ ; qattiq devorning xususiy qarshiligi  $(\delta_{CT}/\lambda_{CT})$ , devor yuzasining ikkinchi issiqlik tashuvchining asosiy massasiga bo'lgan termik qarshilik ( $1/\alpha_2$ ) lardan tashkil topadi. Termik qarshiliklar qo'shimcha ravishda issiqlik tashuvchilardan issiqlik o'tkazish yuzasiga tushadigan turli jinsli cho'kindilarga ham ega. Bunday qo'shimcha qatlamlarning termik qarshiligi ularning qalinligi  $\delta_i$  va issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti  $\lambda_i$  bilan ifodalanadi.

Yassi issiqlik almashish yuzalari uchun issiqlik uzatish koeffitsiyentining qiymati xususiy termik qarshilik orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$K = \left( \frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} \quad (5.18)$$

Endi kinetik va issiqlikning fizik koeffitsiyentlari o'zgarmas bo'lgan hollardagi issiqlik almashish apparatining hisobini ko'rib chiqamiz.

Issiqlik almashish sirtining zaruriy maydoni (5.17) differensial tenglamani izlanayotgan butun  $F$  sirt bo'yicha integrallab aniqlanadi:

$$F = \int_0^F \frac{dQ}{K(T_1 - T_2)} \quad (5.19)$$

Shunday qilib, integral ostidagi funksiya issiqlik tashuvchining harorati va integrallashning noma'lum yuqori chegarasiga bog'liq bo'ladi va (5.19) tenglamani integrallash issiqlik tashuvchilarning o'zgaruvchan haroratlariga nisbatan amalga oshiriladi.  $df$  elementar issiqlik almashish yuzasidagi issiqlik tashuvchilar uchun issiqlik balansining tenglamasini yozib quyidagini olamiz (issiqlik tashuvchilar teskari oqimli bo'lgan hollar uchun):

$$dQ = -c_1 G_1 dT_1 = -c_2 G_2 dT \quad (5.20)$$

bu yerda,  $c_1, c_2, G_1, G_2$  – birinchi va ikkinchi issiqlik tashuvchilarning issiqlik sig'implari va massaviy sarflari.

(5.20) munosabat faqatgina molekular issiqlik o'tkazuvchanlik va turbulent o'tish tufayli ko'ndalang o'tgan issiqlik miqdori

konvektiv o'tishdagi bilan solishtirilganda ahamiyatsiz darajada bo'lganda to'g'ridir. (5.20) tenglamadan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$d(T_1 - T_2) = \left( \frac{1}{\omega_1} - \frac{1}{\omega_2} \right) K (T_1 - T_2) df \quad (5.21)$$

bu yerda  $\omega_1 = c_1 G_1$ ,  $\omega_2 = c_2 G_2$  – issiqlik tashuvchilarning suvdagi ekvivalentlari.

$T_1$  va  $T_2$  haroratlar o'zgarishining kichik diapazonlarida kattaliklarni o'zgarmas deb qabul qilish mumkin. Unda (5.21) tenglama integrallansa, issiqlik tashuvchilarning bo'ylama issiqlik almashish yuzasi bo'yicha haroratlarning o'zgarish farqi eksponensial ko'rinishga o'tadi:

$$T_1 - T_2 = \Delta_1 \exp \left[ -K \left( \frac{1}{\omega_1} - \frac{1}{\omega_2} \right) f \right] \quad (5.22)$$

bu yerda,  $\Delta T_1$  – issiqlik tashuvchilarning  $f = 0$  dagi haroratlarning farqi.

(5.22) tenglamadan yuza bo'yicha haroratlarning o'rtacha farqi  $\Delta T_{o,r}$  quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta T_{o,r} = \frac{1}{F} \int_0^F \Delta T_1 \exp \left[ K \left( \frac{1}{\omega_1} - \frac{1}{\omega_2} \right) f \right] df = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (5.23)$$

$\Delta T_2 - f = F$  bo'lganda issiqlik almashish apparatining ikkinchi oxiridagi issiqlik tashuvchilar haroratlarning farqlari.

Issiqlik sig'imi va issiqlik berish koeffitsiyentlari o'zgarmas bo'lgan hollarni ko'rib chiqamiz. (5.17) tenglamani  $K = \text{const}$  shartga ko'ra integrallab quyidagini olamiz:

$$Q = \int_0^F K (T_1 - T_2) df = K \Delta T_{o,r} F \quad (5.24)$$

Issiqlik balansi tenglamasi

$$W_1 (T_{1H} - T_1) = \dot{W}_1 (T_{1K} - T_1) \quad (5.25)$$



ni hisobga olib issiqlik almashish apparatining ixtiyoriy kesimi uchun issiqlik tashuvchilar haroratlarining bog'liqligini olish qiyin emas:

$$T_1 = T_{2K} + \frac{W_2}{W_1} \left\{ T_{1H} + \Delta T_1 \exp \left[ K \left( \frac{1}{\omega_1} - \frac{1}{\omega_2} \right) f \right] \right\} \quad (5.26)$$

O'xshash tarzda ikkinchi issiqlik tashuvchilar haroratlarining taqsimlanishi topiladi. Devorlarning tashqi yuzalaridagi harorat  $T_c$  issiq harorat tashuvchining devor va termik qarshiliklarning butun tizimi orqali tashiydigan miqdorlarining tengligidan aniqlanadi:

$$a_1(T_1 - T_{c1}) = K(T_1 - T_2) \quad (5.27)$$

Issiqlik almashish apparatidagi ixtiyoriy kesim uchun  $T_{c2}$  yuqoridagiga o'xshash tarzda topiladi. Shunday qilib, ushbu holdagi issiqlik apparatining ichidagi barcha haroratlarining taqsimlanishini oson topish mumkin.

Issiqlik almashish apparatini hisoblashning ko'rib chiqilgan usullarining asosiy kamchiligi devorning  $a_1$  va  $a_2$  haroratlariga bo'lgan ta'sirning hisobga olinmasligi hisoblanadi.

Amaliyotda issiqlik almashish apparaturalarini hisoblashning butun issiqlik almashish yuzasi bo'yicha issiqlik tashuvchilarning issiqlik sig'imi va issiqlik uzatish koeffitsiyentlari o'zgarmas deb olingan usullari keng tarqalgan, biroq bu yerda boshlang'ich usullardan farqli ravishda issiqlik uzatish koeffitsiyenti  $K$  ning qiymati issiqlik almashish yuzasi bo'yicha olingan o'rtacha  $\bar{T}_1, \bar{T}_{c1}, \bar{T}_{c2}, \bar{T}_2$  larning qiymatlariga bog'liq. Shunday qilib  $\bar{T}_{c1}, \bar{T}_{c2}$  berilmagan bo'lib, ularning o'zi issiqlik almashishning o'rnatilgan jadalligiga bog'liq bo'ladi, ya'ni ular interativ usulda aniqlaniladi. Ushbu usul bo'yicha hisoblash algoritmi quyidagilardan tarkib topadi.

Issiqlik almashish apparatining oxirida issiqlik tashuvchining ma'lum harorati bo'yicha haroratlarining o'rtacha farqi  $\Delta T_{o,r}$  hisoblaniladi ((5.23) tenglama). Suv ekvivalenti katta issiqlik tashuvchilar uchun apparaturalarning uzunligi bo'yicha

haroratlarning o'rtacha yaqinlashish qiymati  $\bar{T}_1 = 0.5(\bar{T}_{1H} + T_{1K})$  hisoblanadi. Ikkinchi issiqlik tashuvchi uchun o'rtacha harorat  $\bar{T}_2 = \bar{T}_1 - \Delta T_{o'r}$  kabi hisoblanadi.

Devorning birinchi issiqlik tashuvchi tomonidagi boshlang'ich yaqinlashish harorati  $\bar{T}_{C1}$   $\bar{T}_1 - \bar{T}_2$  diapazonda tanlandi. Keyinchalik birinchi issiqlik tashuvchining devorga issiqlik berish koeffitsiyenti  $\alpha_1$  ni baholash mumkin. Unda birinchi issiqlik tashuvchidan devorga beriluvchi issiqlik oqimi  $q_1$  quyidagini tashkil etadi:

$$q_1 = \alpha_1(\bar{T}_1 - \bar{T}_2) \quad (5.28)$$

Ifloslangan devorning ma'lum termik qarshiligi  $\left(r_T + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}}\right)$  bo'yicha devorning ikkinchi issiqlik tashuvchi tomonidagi yuzasining harorati aniqlanadi, ya'ni

$$\bar{T}_{C2} = \bar{T}_{C1} - q \left( r_T + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} \right) \quad (5.29)$$

Issiqlik berish koeffitsiyentining qiymati ma'lum  $\bar{T}_{C2}$  va  $\bar{T}_2$  lar bo'yicha hisoblanadi. Nihoyat, devordan ikkinchi issiqlik tashuvchi tomonga beriladigan issiqlik oqimi topiladi:

$$q_2 = \alpha_2(\bar{T}_{C2} - \bar{T}_2) \quad (5.30)$$

Statsionar issiqlik uzatishda  $q_1$  va  $q_2$  issiqlik oqimlari bir-biriga teng bo'lishi kerak. Ko'rinib turibdiki, boshlang'ich iteratsiyalarda bu shart bajarilmaydi va o'rtacha harorat taxminiy beriladi. Bunday holda devor harorati  $\bar{T}_{C1}$  quyidagi shartdan kelib chiqib aniqlanadi:

$$q_1 = \alpha_1(\bar{T}_1 - \bar{T}_{C1}) \quad (5.31)$$

$q_1$  va  $q_2$  oqimlar hisobining berilgan aniqligiga erishishda issiqlik almashish sirtining maydoni  $G'$  va issiqlik uzatish

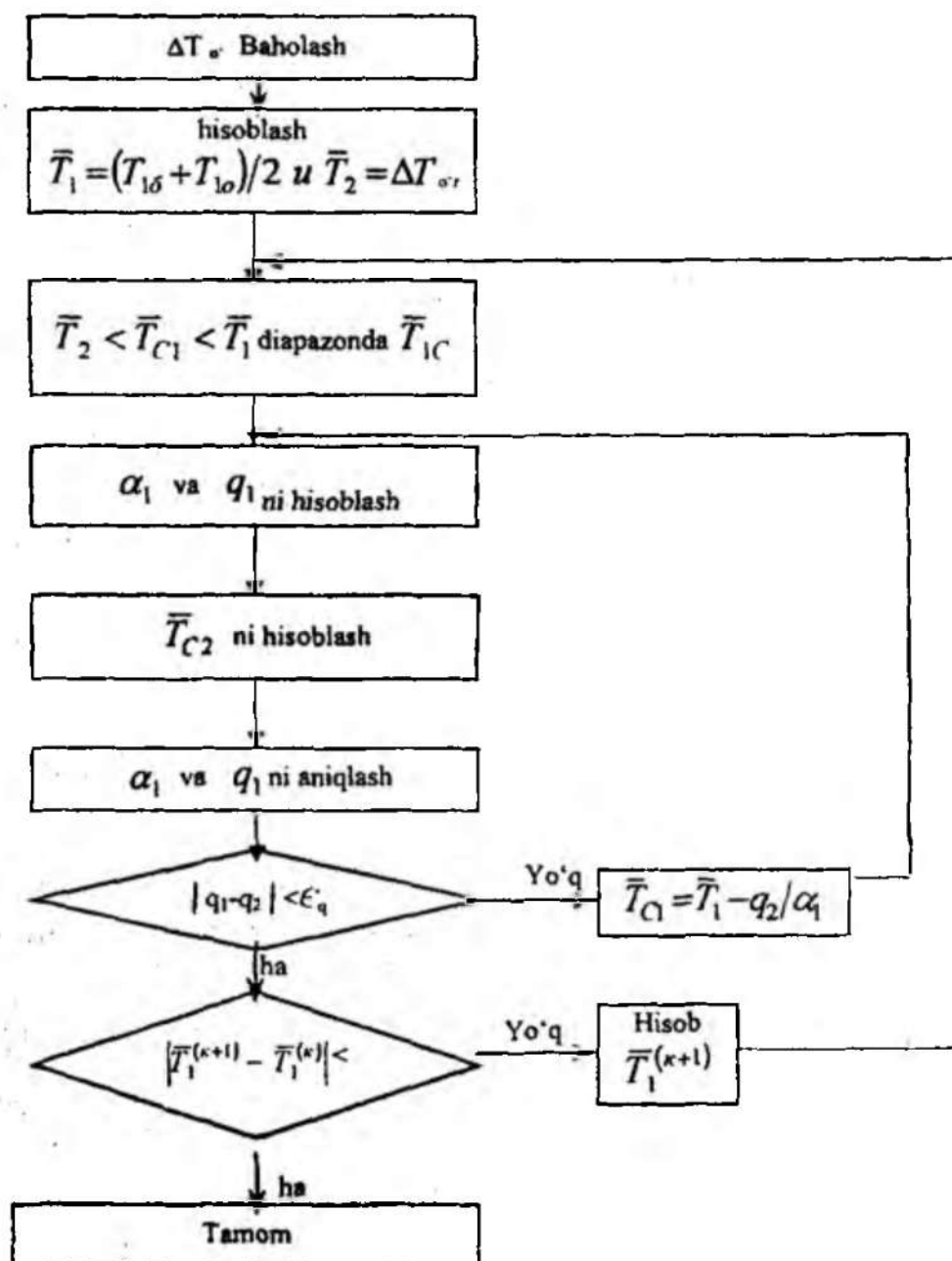
koeffitsiyenti  $K$  ning qiymatlari hisoblanadi. Olingan  $G'$  va  $K$  larning qiymatlari birinchi issiqlik tashuvchining ((5.26) tenglamaga asosan) o'rtacha harorati  $\bar{T}_1$  ni aniqlash imkonini beradi. Keyin ikkinchi issiqlik tashuvchining o'rtacha harorati  $\bar{T}_2$  aniqlanadi va iteratsiya jarayoni toki ikkita ketma-ket iteratsiyalardagi o'rtacha haroratlarning farqlari berilgan aniqlikdan kam bo'lmaguncha davom ettiriladi.

Qaynatgichlar yoki kondensatorlarni hisoblashda issiqlik tashuvchilardan birining harorati o'zgarmas bo'lsa, issiqlik tashuvchilarning bo'ylama issiqlik o'tkazish yuzasidagi o'rtacha harorati bo'yicha amalga oshiriladigan iteratsiya sikli qatnashmaydi, umumiy qilib aytganda, masala osonlashtiriladi. 5.5-rasmda bo'ylama issiqlik almashish yuzasining o'rtacha parametrlari bo'yicha hisoblanadigan issiqlik almashish apparatlarini hisoblash algoritmining blok - sxemasi keltirilgan.

Endi issiqlik sig'imi va issiqlik berish koeffitsiyentlari o'zgaruvchan bo'lgan hollarni ko'rib chiqamiz. Ko'pgina amaliy hollarda issiqlik sig'imi va issiqlik berish koeffitsiyentlari issiqlik tashuvchilarning harorati va devor yuzasiga bog'liq bo'ladi. Bularga bog'liq holda ilgari ko'rib o'tilgan issiqlik almashishning o'rtacha parametrlari bo'yicha issiqlik almashish apparatlarini hisoblash algoritmini issiqlik tashuvchilar haroratlarining o'zgarishi katta bo'lmagan hollar uchun qo'llab ko'ramiz. Ko'rsatilgan mulohaza issiqlik almashish apparaturalarini hisoblashning intervalli usuli deb ataluvchi usul sifatida o'rganiladi. Usulning mohiyati quyida keltirilgan.

$[T_{1H}, T_{1K}]$  issiqlik tashuvchilardan biri ega bo'lgan harorat o'zgarishining diapazoni bir necha sondagi intervallarga bo'linadi va har bir interval chegaralarida issiqlik tashuvchilar va devorning haroratlari o'zgarmaydi deb hisoblash mumkin.

Birinchi issiqlik tashuvchining harorati tanlangan intervalning birinchisini oxirida  $T_1^I$  ni tashkil qilsin. Ushbu issiqlik tashuvchining birinchi interval chegaralaridagi haroratini doimiy va  $\bar{T}_1 = 0.5(T_{1H} + T_1^I)$  ga teng deb qabul qilish mumkin. Ikkinchi issiqlik tashuvchining birinchi interval oxiridagi haroratini (misol to'g'ri oqim hollari uchun qaralmoqda) issiqlik balansi tenglamasidan oson aniqlash mumkin



**5.5-rasm.** O'rtacha parametrlı issıqlık almashishning bo'ylama yuzasi bo'yicha issıqlık almashish apparatini hisoblash algoritmining blok - sxemasi.

$$T_2^1 = T_{2H} + \frac{c_1 G_1}{c_1 G_1} (T_{1H} - T_1^1) \quad (5.32)$$

va mos ravishda ikkinchi issıqlık tashuvchining birinchi hududdagi harorati quyidagi tenglikni qabul qilishi mumkin

$$\bar{T}_2^1 = 0.5(T_{2H} + T_2^1) \quad (5.33)$$



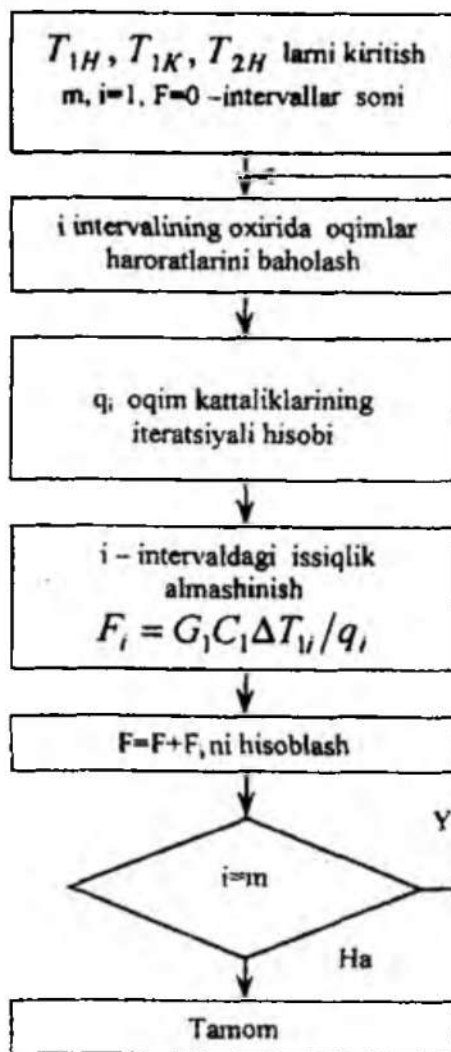
Endi birinchi intervalga yuqorida ko'rib o'tilgan issiqlik almashishni o'rtacha parametrlar bo'yicha hisoblash algoritmini qo'llash mumkin, ya'ni  $\bar{T}_1^1 + \bar{T}_2^1$  harorat intervalida devorning  $T_{C1}^1$  haroratiga boshlang'ich yaqinlashish tanlanadi va  $\alpha_1^1, q_1^1, T_{C2}^1, \alpha_2^1, q_2^1$  qiymatlar iteratsion usulda hisoblanadi.

Hisobning berilgan aniqligi ( $|q_1 - q_2| < \xi$ ) ga erishilgandan so'ng berilgan issiqlik miqdorini o'tkazishni ta'minlovchi issiqlik almashish yuzasining maydoni aniqlanadi.

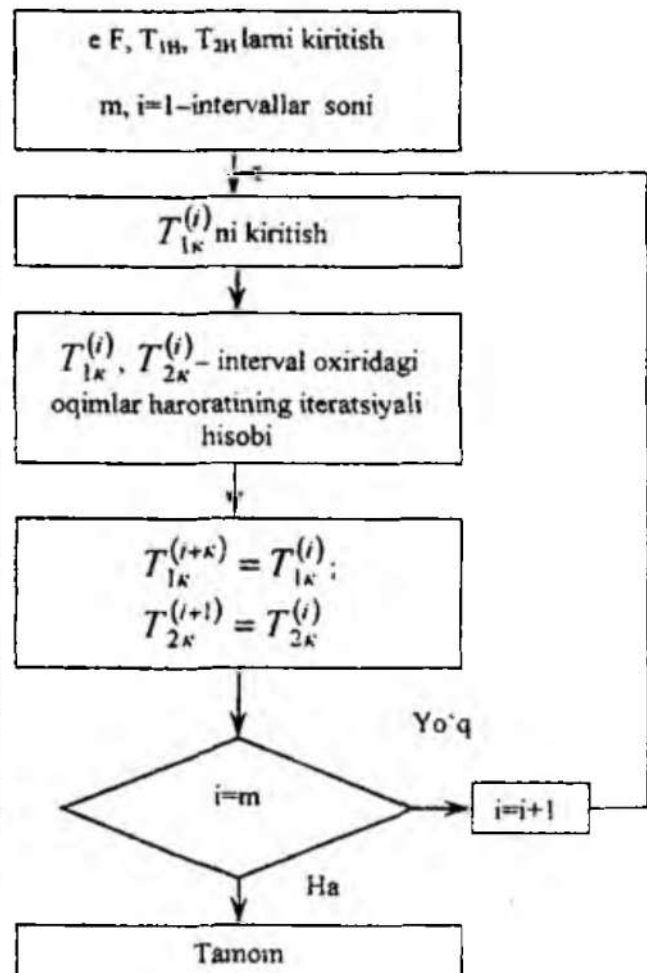
Keyin ketma-ket ravishda issiqlik tashuvchi harorati o'zgarishining ikkinchi va undan keyingi intervallari  $T_{1K}$  gacha hisoblanadi. Har bir interval uchun olingan issiqlik almashish yuzalarining barchasi qo'shiladi va bu yig'indi issiqlik almashish apparatining oxirlarida issiqlik tashuvchilarning berilgan haroratida talab qilinadigan issiqlik almashish yuzasini beradi. 5.6-rasmda issiqlik almashish apparatini intervalli hisoblashning blok - sxemasi keltirilgan.

Issiqlik apparatlarini intervalli hisoblash algoritmlari yordamida tekshiruv hisoblari (issiqlik almashish yuzasi ma'lum va issiqlik tashuvchining chiqishdagi haroratini topish talab qilinadi) issiqlik almashish yuzalarini intervallarga bo'lish bilan amalga oshiriladi. Keyin issiqlik tashuvchilardan birining interval chiqishidagi haroratining qiymati beriladi va iteratsion yo'l bilan issiqlik tashuvchilarning interval chiqishidagi haroratlari aniqlanadi, shundan so'ng keyingi intervalga o'tiladi. Issiqlik almashish apparatining tekshiruv o'tkazishdagi intervalli hisoblash algoritmi 5.7-rasmda keltirilgan.

Issiqlik tashuvchilarning ikkalasini ham agregat holati o'zgaradigan issiqlik apparatlarining hisobi. Qaralayotgan issiqlik almashish apparatlarida odatda bir issiqlik tashuvchi bug'larining kondensatsiyalanishi va ikkinchi suyuq issiqlik tashuvchining qaynashi amalga oshiriladi (masalan, rektifikatsiya kolonnalarining qaynatgichlari, bug'latish apparatlarining yonish kameralari). Ushbu issiqlik almashish jarayonlarining asosiy xususiyati issiqlik tashuvchilarning bo'ylama issiqlik almashish yuzasi bo'yicha harorati o'zgarmas va buning natijasida issiqlik tashuvchilarning xossalari va issiqlik uzatish koeffitsiyenti ham o'zgarmasdir.



**5.6-rasm.** Issiqlik almashish apparatini intervalli hisoblash algoritmining blok-sxemasi.



**5.7-rasm.** Issiqlik almashish apparatining tekshiruv o'tkazishdagi intervalli hisoblash algoritmining blok - sxemasi.

Issiqlik almashish apparatlari bir yo'lli obi quvurli bo'lgan hollarda issiqlik almashish yuzasini hisoblash algoritmini ko'rib chiqamiz.

Quvur devoridan qaynaydigan suyuqlik quvuriga issiqlik uzatish koeffitsiyenti  $\alpha_{quv}$

$$\alpha_{quv} = 780 \frac{\lambda_j^{1.3} \rho_j^{0.5} \rho_p^{0.06} q^{0.6}}{\sigma_j^{0.5} r_j^{0.6} \rho_0^{0.6} c_j^{0.3} \mu_j^{0.3}} = A q^{0.6} \quad (5.34)$$

formula bo'yicha aniqlanadi,

bu yerda,  $q$  – solishtirma issiqlik oqimi,  $Vt/m^2$ ;  $\rho_0$  – suyuqlik bug'larining atmosfera bosimidagi zichligi;  $\lambda_j$  – bug' hosil bo'lishining solishtirma issiqligi;  $\sigma_j$  – sirt tarangligi;  $c_j$  – issiqlik sig'imi;  $\mu_j$  –

qovushqoqlik;  $\lambda_j$  – issiqlik o'tkazuvchanlik. (5.34) formuladagi barcha kattaliklar qaynash haroratida berilgan.

Quvurning tashqi yuzasida kondensatsiyalanuvchi bug'ning issiqlik berish koeffitsiyenti solishtirma issiqlik yuklamasining bog'liqligi ko'rinishida ifodalanishi mumkin:

$$\alpha_{M,quv} = 1.2\lambda_k \left( \frac{\rho_k r_k g}{\mu_k H q} \right)^{1/3} = Bq^{-1/3} \quad (5.35)$$

bu yerda,  $\alpha_k$  – kondensatsiyalanishning solishtirma issiqligi;  $\lambda_k, \rho_k, \mu_k$  mos ravishda kondensatning issiqlik o'tkazuvchanligi, zichligi va qovushqoqligi;  $N$  – quvurning balandligi.

Solishtirma issiqlik oqimi  $q$  ni topish uchun issiqlik uzatish yuzasi

$$F = Q/q \quad (5.36)$$

va issiqlik uzatishning asosiy tenglamasi

$$q = K\Delta T \quad (5.37)$$

dan foydalanib uni quyidagi ko'rinishga keltiramiz,

$$\frac{1}{K} = \frac{\Delta T}{q} = \frac{1}{\alpha_{quv}} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{quv,or}} \quad (5.38)$$

bu yerda,  $K$  – issiqlik uzatish koeffitsiyenti;  $\Delta T$  – issiqlik tashuvchilar haroratlarining farqi;  $\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + r_{z1} + r_{z2}$  – quvur devori va iflos cho'kmalarning termik qarshiliklari yig'indisi;  $Q$  – apparatning issiqlik balansidan aniqlanadigan issiqlik yuklamasi.

(5.38) tenglamaga (5.34) va (5.35) ifodalar qo'yilgandan so'ng u quyidagi ko'rinishga keladi:

$$f(q) = \frac{1}{A} q^{0.4} + \left( \sum \frac{\delta}{\lambda} \right) q + \frac{1}{B} q^{4/3} - \Delta T = 0 \quad (5.39)$$

Oxirgi tenglamani solishtirma issiqlik yuklamasi  $q$  ga nisbatan yechishni yarmiga bo'lish usuli bilan amalga oshirish mumkin (5.11 rasm). Usulning g'oyasi  $[a_i, b_i]$  kesmani ketma-ket qisqartirishdan iborat bo'lib, qisqartirish izlanayotgan  $q^*$  ildizga olib boruvchi bu kesmani ikkiga bo'lish yordamida amalga oshiriladi:

$$c_i = \frac{a_i + b_i}{2} \quad (5.40)$$

tekshirish sharti quyidagicha

$$f(a_i)f(c_i) < 0 \quad (5.41)$$

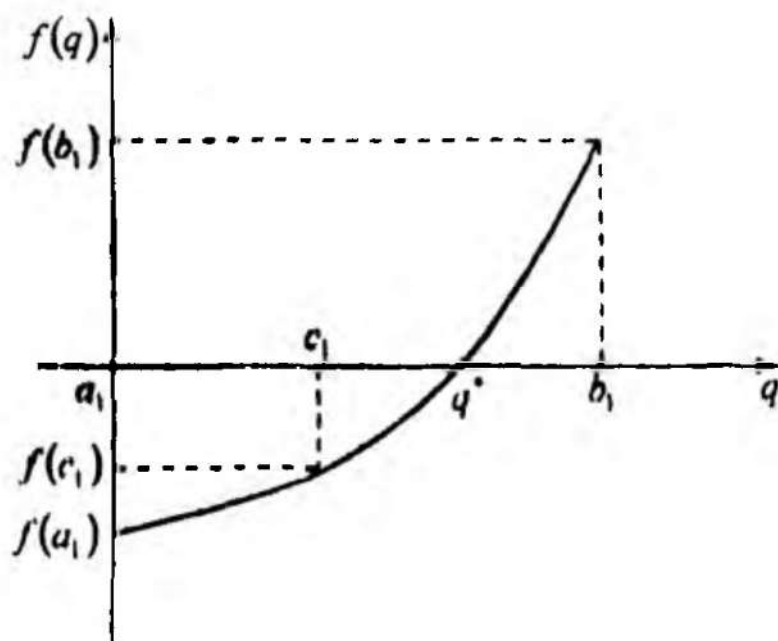
Agar (5.41) shart bajarilsa,  $[a_i, c_i]$  kesma tanlanadi; aks holda  $[a_i, c_i]$  kesma tanlanib izlanish amali takrorlanadi. Kesmani bo'lish uning uzunligi  $b_i - a_i$  berilgan aniqlikdan kichik bo'lmaguncha davom ettiriladi.

Izlanish intervalining quyi chegarasi  $a_i$  nolga yaqin qilib, yuqori chegarasi  $b_i$  esa solishtirma issiqlik yuklamasining kritik qiymati  $q_{KP}$  ga yaqin qilib qabul izlanadi.

Topilgan solishtirma issiqlik yuklamasi  $q$  uchun talab qilinadigan issiqlik almashish apparatining yuzasi (5.36) tenglikdan aniqlanadi.

**1-misol.** Kondensatning kondensatsiyalanish haroratidagi fizik xossalari: issiqlik o'tkazuvchanligi  $\lambda_k = 0.683 \text{ Vt/(m} \cdot \text{K)}$ , zichligi  $\rho_k = 908 \text{ kg/m}^3$ , solishtirma bug'lanish issiqligi  $r_k = 2095000 \text{ J/kg}$ , qovushqoqligi  $\mu_k = 0,000177 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ . Suyuqligining qaynash haroratidagi fizik xossalari: issiqlik o'tkazuvchanligi  $\lambda_j = 0,686 \text{ Vt/(m} \cdot \text{K)}$ , zichligi  $\rho_j = 957 \text{ kg/m}^3$ , issiqlik sig'imi  $c_j = 4190 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ , qovushqoqligi  $\mu_j = 0,00024 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , sirt tarangligi  $\sigma_j = 0,0583 \text{ N/m}$ , qaynash haroratidagi bug'larning zichligi  $\rho_p = 0,65 \text{ kg/m}^3$ , solishtirma bug'lanish issiqligi  $r_j = 2253900 \text{ J/kg}$  bo'lgan suv bug'i bilan qizdiriladigan qaynatgich berilgan. Haroratlar farqi  $\Delta T = 55,6^\circ\text{C}$ , quvur devori va iflos cho'kmalar termik qarshiliklarining yig'indisi  $\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = 0,0004787 \text{ m}^2 \cdot \text{K/Vt}$

Umumiy issiqlik yuklamasi  $Q = 1005000 \text{ Vt}$  bo'lsa, berilgan rektifikatsiya kolonnasining qaynatgichini hisoblash talab qilinadi.



5.8-rasm. Oralqni teng ikkiga bo'lish usulining grafik tasviri.

*Yechim*—rektifikatsiya kolonnalarining qaynatgichlari sifatida odatda vertikal bir yo'lli obi quvurli issiqlik almashish apparatlaridan foydalaniladi va quvurning tashqi yuzasini kondensatsiyalovchi, qizdiruvchi bug'ning issiqlik berish koeffitsiyenti quvurning balandligiga bog'liq, shuning uchun ham avval quvurning balandligi  $H = 2\text{ m}$  ni beramiz. Boshlang'ich ma'lumotlar asosida talab qilingan issiqlik almashish yuzasi  $F$  ni hisoblaymiz. Hisoblash natijalari quyidagicha:  $\alpha_{q_{uv}} = 10478,2 \text{ Vt/(m}^2\text{K)}$ ,  $\alpha_{q_{uv,or}} = 7073,6 \text{ Vt/(m}^2\text{K)}$ ,  $K = 1395,9 \text{ Vt/(m}^2\text{K)}$ ,  $F = 12,9\text{ m}^2$ .

Balandligi  $H = 2\text{ m}$  bo'lgan bir yo'lli obi quvurli issiqlik almashish apparatlar yuzasining Davlat standartidagi (Dav.ST) qiymatga yaqin qiymati  $18\text{ m}^2$ . Shundan kelib chiqib, issiqlik almashish apparatining zaxira yuzasi talab qilingani bilan solishtirilganda quyidagini tashkil etadi:  $\Delta = \frac{18 - 12,9}{12,9} 100\% = 39,5\%$

Issiqlik almashish apparatini Dav.ST bo'yicha yanada aniqroq tanlashga harakat qilamiz. Buning uchun quvurning balandligini  $N = 1,5\text{ m}$  deb qilamiz. Ushbu holda issiqlik apparatining hisobi quyidagilarni beradi:  $\alpha_{q_{uv}} = 10596,5 \text{ Vt/(m}^2\text{K)}$ ,  $\alpha_{q_{uv,or}} = 7698,1 \text{ Vt/(m}^2\text{K)}$ ,  $K = 1422,3 \text{ Vt/(m}^2\text{K)}$ ,  $F = 12,7\text{ m}^2$ .



Dav.ST 15122—79 dagi issiqlik almashish apparatiga yaqin, 14 m<sup>2</sup> yuzali issiqlik almashish apparati yuza bo'yicha quyidagi to'la qanoatlantiruvchi zaxirani ta'minlaydi.

Shunday qilib, ikkinchi holatda hisoblangan qaynatgich afzal bo'lib, u issiqlik almashish yuzasi bo'yicha ko'proq asoslangan zaxirani ta'minlaydi va kichik issiqlik almashish yuzasiga ega.

Issiqlik tashuvchilardan birining agregat holati o'zgaradigan issiqlik almashish apparatlarining hisobi. Issiqlik almashish apparatlarining ushbu sinfiga qizdiruvchi agent sifatida kondensatsiyalanuvchi bug' ishlatiladigan suyuqlik bug'larining kondensatorlari va qizdirgichlarni kiritish mumkin. Bunday issiqlik almashish apparatlarida agregat holati o'zgaruvchi issiqlik tashuvchining harorati issiqlik uzatish yuzasi bo'yicha o'zgarmas bo'ladi va fazaviy o'tish haroratiga mos keladi, ikkinchi issiqlik tashuvchining harorati esa monoton ravishda o'zgaradi. Shunday qilib, issiqlik uzatishni harakatga keltiruvchi kuch va issiqlik uzatish koeffitsiyenti yuza bo'yicha o'zgaradi. Bu holatda issiqlik apparatlarini hisoblash yo yuza bo'yicha olingan o'rtacha issiqlik almashish parametrlari asosida yo intervalli bo'lsin, butun issiqlik almashish yuzasi hududlarga bo'linadi va ularning har biri doimiy issiqlik almashish parametrga ega deb hisoblanadi. Keyinroq o'rtacha parametrlil butun issiqlik almashish yuzasi bo'yicha issiqlik almashish apparatlarini hisoblashni ko'rib chiqamiz. Hisoblashning taklif qilinadigan algoritmlari bir va ko'p yo'lli obi quvurli issiqlik almashish apparatlariga tegishli bo'lib, quvurlar orasidagi fazoda suyuqlik bug'lari kondensatsiyalanadi, kondensatsiyalanish issiqligi yordamida quvurlarning ichidagi suyuqlik yoki gazlar qizdirilishi amalga oshiriladi.

Quvurlardagi issiqlik tashuvchilarning issiqlik uzatish koeffitsiyenti quyidagi ko'rinishda keltirilishi mumkin:

$$\alpha_{quv} = \frac{\lambda_{quv}}{d} \times Re_{quv}^{\gamma} Pr^{0.43} = CN^{-\gamma} \quad (5.42)$$

bu yerda

$$Re_{quv} = \frac{u_{quv} d \rho_{quv}}{\mu_{quv}} = \frac{4G_{quv} Z}{\pi \mu_{quv} d N}; \quad Pr_{quv} = \frac{c_{quv} \mu_{quv}}{\lambda_{quv}}$$

agar  $Re_{quv} > 10^4$  bo'lsa,  $x = 0,023$ ,  $\mu = 0,8$ ; agar  $2300 < Re_{quv} < 10^4$  bo'lsa,  $x = 0,008$ ,  $\mu = 0,9$ .  $G_{quv}$  – quvurlardagi issiqlik tashuvchilarning massa sarfi;  $d = d_H - 2\delta_{c1}$  – quvurlarning ichki diametri;  $N$  – quvurlar soni;  $Z$  – quvurlar fazosidagi yo'llar soni.

Diametri  $d_H$  va balandligi  $N$  bo'lgan vertikal quvurning tashqi yuzasida kondensatsiyalanuvchi bug'ning issiqlik berish koeffitsiyentiga muvofiq

$$\alpha_{quv.or} = DN^{1/3} \quad (5.43)$$

bu yerda,

$$D = 3.78 \lambda_k^3 \sqrt{\frac{\rho_k^2 D_h}{\mu_k G_p}} \quad (5.44)$$

Quvurlar gorizontal bo'lgan hollarda, o'xshash tarzda quyidagi nisbatga ega bo'lamiz:

$$\alpha_{quv.or} = DN^{1/3} \quad (5.45)$$

lekin

$$D = 2.02 \lambda_k^3 \sqrt{\frac{\rho^2 L}{\mu_k G_p}} \quad (5.46)$$

Bu yerda,  $L$  – quvur uzunligi;  $R$  – issiqlik almashish apparatining diametrik kesimida vertikal quvurlar qatorining joylashish koeffitsiyenti.

Issiqlik almashish yuzasi  $G'$  ning kattaligi quvurlar soni  $N$  bilan bog'liqligi quyidagi munosabat bilan ifodalanadi:

$$F = \pi \left( \frac{d_H + d}{2} \right) H N \quad (5.47)$$

Unda issiqlik almashish yuzasini aniqlash masalasi berilgan uzunlik (balandlik) va diametrli quvurlar soni  $N$  ni qidirish bilan olib borilishi mumkin. Buning uchun issiqlik uzatish tenglamasi

$$KF\Delta T_{quv} = G_p r_k \quad (5.48)$$

yoki

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_{quv}} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{quv.or}} = \frac{\pi d_{o'r} H N \Delta T_{o'r}}{G_p r_k} \quad (5.49)$$

dan foydalanamiz. Bu yerda,  $\Delta T_{o'r}$  – o'rtacha logarifmik harakatlantiruvchi kuch;  $G_p r_k$  – umumiy issiqlik yuklamasi;

$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + r_{z1} + r_{z2}$  – quvur devorlari va iflos cho'kma termik qarshiliklarining yig'indisi.

(5.49) tenglamaga (5.42) va (5.43) ifodalarni qo'ygach u quyidagi ko'rinishga o'tadi:

$$f(N) = \frac{1}{D} N^{-4.3} + \left( \sum \frac{\delta}{\lambda} \right) N^{-1} + \frac{1}{C} N^{(r-1)} - \frac{\pi d_{o'r} H \Delta T_{o'r}}{G_p r_k} = 0 \quad (5.50)$$

Oxirgi tenglamani issiqlik almashish apparatidagi quvurlar soni  $N$  ga nisbatan mohiyati oldinroq ko'rib o'tilgan oraliqni teng ikkiga bo'lish usuli bilan yechish mumkin. Quvurlar soni  $N$  aniqlangandan so'ng (5.47) tenglamadan zaruriy issiqlik almashish yuzasi  $G'$  aniqlanadi.

Issiqlik almashish yuzasini (5.47) tenglama bo'yicha hisoblash uchun oldindan bir qator konstruktiv parametrlar berilgan bo'lishi lozim, aynan: issiqlik almashish apparatining tipi (gorizontal, vertikal), quvurlarning diametri  $d_H$ , yo'llar soni  $Z$  va quvurlarning balandligi (uzunligi)  $N$ . 5.9-rasmda issiqlik almashish apparatini hisoblash algoritmining blok - sxemasi keltirilgan.

Formula bo'yicha  $\alpha_{quv}$  hisob issiqlik tashuvchilarning quvur ichidagi harakatining turbulent rejimini kuchaytirish uchun zarur ( $x=0,023$ ,  $u=0,8$ ). Agar tanlangan diametr va balandliklarda quvurlar sonining hisobi natijasida o'lchamsiz Reynolds soni

$2300 \leq Re_{q_{uv}} \leq 10^4$  diapazonda yotsa,  $x = 0,008$ ,  $u = 0,9$  yangi qiymatlarida xuddi shu diametr va balandlikka ega quvurlar soni uchun issiqlik uzatishni qaytadan hisoblash zarur. Dasturda laminar rejim uchun  $\alpha_{q_{uv}}$  hisob nazarda tutilmagan, shuning uchun ham issiqlik almashish apparatining konstruktiv tavsiflari ( $Z$  sonidagi quvurlarning diametri  $d_H$  va quvurning balandligi  $N$ ) ni tanlashda quvurlar soni  $N$  ning hisob natijalari  $Re_{q_{uv}} > 2300$  shartni bajarilishini ta'minlay olishi kerak degan shartga duch kelinadi.

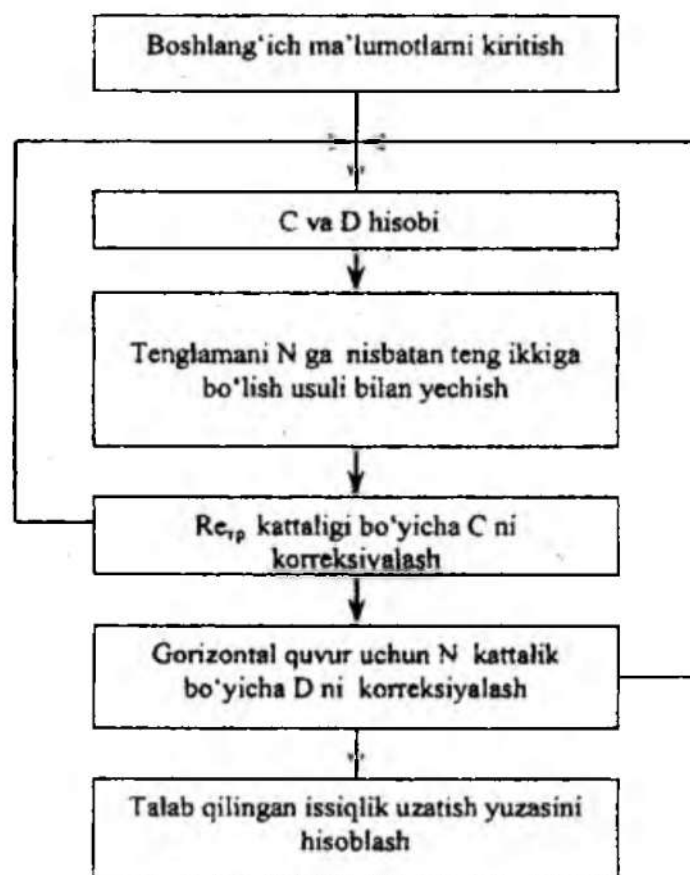
**2-misol.** rektifikatsiya kolonnalarining boshlang'ich aralashmalarining qobiq - quvurli qizdirgichlarini hisoblash. Qizdirish suv bug'i bilan olib boriladi. Kondensatsiyalanish haroratidagi kondensatning fizik xossalari: issiqlik o'tkazuvchanligi  $\lambda_k = 0,683 \text{ Vt/(m} \cdot \text{K)}$ , zichligi  $\rho_k = 908 \text{ kg/m}^3$ , solishtirma bug'lanish issiqligi  $r_k = 2095000 \text{ J/kg}$ , qovushqoqligi  $\mu_k = 0,000177 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , bug' sarfi  $G_p = 0,170 \text{ kg/s}$ . Quvurdagi o'rtacha haroratli suyuqliklarning fizik xossalari: issiqlik o'tkazuvchanligi  $\lambda_{q_{uv}} = 0,458 \text{ Vt/(m} \cdot \text{K)}$ , qovushqoqligi  $\mu_{q_{uv}} = 0,000534 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , issiqlik sig'imi  $c_{q_{uv}} = 3730 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ . Quvur devorlari va ifloslanishning termik qarshiliklari yig'indisi  $\sum \frac{\delta}{\lambda} = 0,000479 \text{ m}^2 \text{K/Vt}$ .

Haroratlarning o'rtacha farqi  $\Delta T_{cp} = 106^\circ \text{C}$ . Suyuqlik sarfi  $G_{TP} = 0,973 \text{ kg/s}$ .

**Yechim.** Quvurining tashqi diametri  $d_H = 0,02$ , yo'llari  $Z = 1$  va quvur uzunligi  $L = 3 \text{ m}$  bo'lgan gorizonta l issiqlik almashish apparati ( $T=1$ ) keltirilgan variantni ko'rib chiqamiz. **COND** bo'yicha boshlang'ich ma'lumotlarni kiritgandan so'ng  $\alpha_{q_{uv}} = 865,1 \text{ Vt/(m}^2 \cdot \text{K)}$ ,  $\alpha_{q_{uv},or} = 13118,3 \text{ Vt/(m}^2 \cdot \text{K)}$ ,  $K = 584,5 \text{ Vt/(m}^2 \cdot \text{K)}$ ,  $Re_{q_{uv}} = 4674,4$ ,  $N = 31$  larni olamiz.

Ko'rsatilgan konstruktiv tavsifli issiqlik almashish apparatining **Dav.ST** ga mos keladiganining quvurlari soni  $N = 61$ , ya'ni quvurlar soni bo'yicha zaxira yuza deyarli ikki marta:

$$\Delta = \frac{61 - 31}{31} \cdot 100\% = 96.8\%$$



**5.9-rasm.** Issiqlik tashuvchilaridan birining agregat holati o'zgaradigan obi - quvurli issiqlik almashish apparatini hisoblash algoritmining blok - sxemasi.

Issiqlik almashish apparatining uzunligini 2 m gacha kamaytiramiz va qolgan konstruktiv tavsiflarni o'zgarishsiz qoldiramiz. Hisoblash natijasida  $\alpha_{quv} = 247,0 \text{ Vt/(m}^2\text{K)}$ ,  $\alpha_{quv.or} = 15625,8 \text{ Vt/(m}^2\text{K)}$ ,  $K = 217,2 \text{ Vt/(m}^2\text{K)}$ ,  $Re_{quv} = 1161,1$ ,  $N=124$  larni olamiz.

Shunday qilib, quvurlar uzunligining kamayishi ularning sonini oshishi va  $Re_{quv}$  sonini kamayishi (shuningdek  $\alpha_{quv}$  ham) ga olib keladi,  $Re$  soni 2300 dan kam bo'ladi. Ushbu variant maqsadga to'g'ri kelmaydi. Natijalar tahlili shuni ko'rsatadiki, ikki yo'lli issiqlik almashish apparatlarini hisoblashlarni quvur uzunligini 2 m qilib olish maqsadga muvofiqdir. Tashqi diametri  $d_H=0,025 \text{ m}$  bo'lgan quvurli issiqlik almashish apparatini hisoblaymiz. Hisoblash natijalari quyidagicha:  $\alpha_{quv}=740,9 \text{ Vt/(m}^2\text{K)}$ ,  $\alpha_{quv.or}=12628,1 \text{ Vt/(m}^2\text{K)}$ ,  $K = 524,2 \text{ Vt/(m}^2\text{K)}$ ,  $Re_{quv} = 5323,3$ ,  $N=41$ .



Dav.STga mos keluvchi issiqlik almashish apparatining quvurlari soni  $N = 52$ . Shunday qilib, quvurlar soni bo'yicha zaxira  $\Delta = \frac{52 - 41}{41} \cdot 100\% = 26.8\%$  ni tashkil etadi. Bu natijani qoniqarli deb

hisoblash mumkin. Tanlangan gorizontal issiqlik almashish apparatining qobig'i diametri 0,325 m,  $d_H = 0,025$  m, yo'llar soni 2, quvurlar soni 52, quvurlar uzunligi 2 m va issiqlik almashish yuzasi  $8\text{m}^2$ .

*Issiqlik tashuvchilarining agregat holati o'zgarmaydigan issiqlik almashish apparatlarini hisoblash.* Issiqlik almashish apparatlarining ushbu guruhiga issiqlik tashuvchilarining birortasi ham agregat holatini o'zgartirmaydigan issiqlik uzatish jarayonlaridagi qizdirgichlar va sovutgichlar kiradi.

Qizdirish va sovitishda issiqlik tashuvchilarning har birining harorati issiqlik almashish yuzasi bo'yicha uzluksiz va monoton ravishda almashinadi. Issiqlik uzatish parametrlari (issiqlik uzatish koeffitsiyenti, harakatlantiruvchi kuch) ga muvofiq o'zgaradi. Barcha issiqlik almashish yuzasi bo'yicha issiqlik uzatish koeffitsiyenti va issiqlik tashuvchilar haroratlari farqining o'rtacha qiymatlari asosida issiqlik almashish apparatlarini hisoblashni ko'rib chiqamiz. Bunda issiqlik tashuvchilarning o'rtacha haroratlardagi xossalari beriladi. Issiqlik almashishdagi issiqlik tashuvchilar fazaviy aralashishlarda ishtirok etmaydi, issiqlik tashuvchidan devorga, devordan sovuq issiqlik tashuvchiga issiqlik berish jarayoni o'lchamsiz Reynolds soni bilan aniqlanuvchi issiqlik oqimining rejimi, o'lchamsiz Prandtl soni bilan aniqlanuvchi issiqlik tashuvchilarning xossalariga va devorning haroratlariga bog'liq.

Segmentli pardevorga ega issiqlik almashish apparatlarining quvurlari orasidagi fazo  $a_{quv.or}$  da harakatlanuvchi ikki issiqlik tashuvchining issiqlik berish koeffitsiyentlari quyidagi ifodalar bilan aniqlaniladi:

$$a_{quv.or} = \frac{\lambda_{quv.or}}{d_e} \varepsilon_\phi 0.4 \text{Re}_{quv.or}^{0.36} \text{Pr}_{quv.or}^{0.36}, \text{Re}_{quv.or} > 1000 \quad (5.51)$$

$$\alpha_{quv.or} = \frac{\lambda_{quv.or}}{d_e} \varepsilon_\varphi 0.56 Re_{quv.or}^{0.5} Pr_{quv.or}^{0.36}, \text{ agar } Re_{quv.or} < 1000 \quad (5.52)$$

(quv.or – quvurlar orasidagi fazo)

bu yerda,  $Re_{quv.or} = \frac{G_{quv.or} d_e}{\mu_{quv.or} S_{quv.or}}; Pr_{quv.or} = \frac{c_{quv.or} \mu_{quv.or}}{\lambda_{quv.or}}$  – quvurlar

orasidagi fazodagi issiqlik tashuvchilar uchun o'lchamsiz Reynolds va Prandtl sonlari;  $\varepsilon_\varphi = 0,6$  – quvurlar to'plamiga oqimlarning bostirib kirish burchagiga ta'sir qiluvchi koeffitsiyent;  $S_{quv.or}$  – segmentli pardevorli issiqlik almashish apparatining quvurlari orasidagi fazodagi oqimning normal bilan aniqlanuvchi eng tor kesimining maydoni. Taxminan uni quyidagi formula bo'yicha aniqlash mumkin:

$$\text{agar } D \leq 0.3 \text{ bo'lsa, } S_{quv.or} \approx 0.3S,$$

$$\text{agar } D > 0.3m \text{ bo'lsa, } S_{quv.or} \approx 0.16S,$$

bu yerda,  $S = \frac{\pi D^2}{4}$  – issiqlik almashish apparatining kesim yuzasi;

$D$  – qobiqning diametri.

(5.51), (5.52) tenglamalarda aniqlovchi o'lcham sifatida ekvivalent diametr  $d_e$  qabul qilingan.

Quvurlar orasida harakatlanuvchi issiqlik tashuvchilar uchun issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$\text{agar } Re_{quv} \geq 10^4 \text{ bo'lsa, } \alpha_{quv} = 0.023 \frac{\lambda_{quv}}{d} Re_{quv}^{0.8} Pr_{quv}^{0.43}, \quad (5.53)$$

$$\text{agar } 2300 \leq Re_{quv} < 10^4 \text{ bo'lsa, } \alpha_{quv} = 0.008 \frac{\lambda_{quv}}{d} Re_{quv}^{0.9} Pr_{quv}^{0.43}, \quad (5.54)$$

$$\text{agar } Re_{quv} < 2300 \text{ bo'lsa, } \alpha_{quv} = 0.008 \frac{\lambda_{quv}}{d} Re_{quv}^{0.33} Pr_{quv}^{0.43} Gr_{quv}^{0.1}, \quad (5.55)$$

bu yerda,

$$Re_{quv} = \frac{4G_{quv}Z}{\pi\mu_{quv}dN}; Pr_{quv} = \frac{c_{quv}\mu_{quv}}{\lambda_{quv}}; Gr_{quv} = \frac{gd^3\beta_{quv}\rho_{quv}^2}{\mu_{quv}^2}\Delta T$$

quvurlardagi issiqlik tashuvchilar uchun o'lchamsiz Reynolds, Prandtl va Gragsof sonlari;  $\beta_{quv}$  – hajmiy kengayish koeffitsiyenti;  $Z$  – quvurli sohadagi yo'llar soni. (5.53) - (5.55) tenglamalarda

aniqlovchi o'lcham sifatida quvurning ichki diametri  $d = d_H - 2\delta_{CT}$  qabul qilingan.

Quvurlardagi issiqlik tashuvchilar uchun issiqlik berish koeffitsiyenti  $\alpha_{quv}$  quvurning ichki yuzasi va quvurdagi issiqlik tashuvchi haroratlarning oldin noma'lum bo'lgan farqi  $\Delta T$  ga bog'liq. Shuning uchun  $\Delta T$  kattalik issiqlik almashish apparatlarida issiqlik berishning quyidagi statsionarlik shartidan foydalanib, iteratsiya usulida aniqlanadi:

$$\alpha_{quv} \Delta T = K \Delta T_{o'r} \quad (5.56)$$

yoki

$$\Delta T = \frac{K \Delta T_{quv}}{\alpha_{quv}} \quad (5.57)$$

Haroratlarning o'rtacha farqi  $\Delta T_{CT}$  issiqlik tashuvchilar harakati sxemasining quyidagi formulasi bo'yicha aniqlanadi:

$$\Delta T_{o'r} = \varepsilon_{\Delta T} \Delta T_{o'r \log} \quad (5.58)$$

bu yerda  $\Delta T_{o'r \log}$  – haroratlarning o'rtacha logarifmik farqi;  $\varepsilon_{\Delta T} < 1$  – teskari oqim ( $z=1$  da  $\varepsilon_{\Delta T}=1$ ) bilan solishtirish bo'yicha aralash oqim ( $Z=2, 4, 6$ ) da o'rtacha harakatlantiruvchi kuchning kamayishida qatnashuvchi koeffitsiyent. Issiqlik uzatish koeffitsiyenti  $K$  va o'rtacha harakatlantiruvchi kuch  $\Delta T_{o'r}$  lar aniqlangandan so'ng, ma'lum umumiy issiqlik yuklamasi  $Q$  da issiqlik uzatish tenglamasidan issiqlik uzatish yuzasi hisoblanadi:

$$F = \frac{Q}{K \Delta T_{o'r}} \quad (5.59)$$

Shuningdek issiqlik uzatish jarayoni issiqlik almashish apparatining konstruktiv tavsiflariga bog'liq va hisoblash boshlanishidan oldin quyidagi konstruktiv parametrlarni berish lozim: quvurning tashqi diametri  $d_H$ , yo'llar soni  $z$ , koeffitsiyent  $\varepsilon_{\Delta T}$ ,  $N$  to'plamdagi quvurlar soni va quvurlar orasidagi fazoni eng tor kesimining maydoni  $S_{quv.or}$  5.10 - rasmda ko'rilayotgan hol uchun issiqlik almashish apparatini hisoblash algoritmining blok-sxemasi keltirilgan.

*Misol.* 3-rektifikatsiya kolonnalarining kub qoldiqlari sovitgichini hisoblash. Umumiy issiqlik yuklamasi  $Q = 402\,980$  Vt. Quvur bo'yicha harakatlanuvchi kub qoldiqlari  $G_{quv} = 1,24$  kg/s, uning issiqlik o'tkazuvchanligi  $\lambda_{quv} = 0,662$  Vt/(m·K), zichligi  $\rho_{quv} = 986$  kg/m<sup>3</sup>, qovushqoqligi  $\mu_{quv} = 0,00054$  Pa·s, issiqlik sig'imi  $c_{quv} = 4190$  J/(kg·K), hajmiy kengayish koeffitsiyenti  $\beta_{quv} = 0,00048$  K<sup>-1</sup>. Sovituvchi suv quvurlar orasidagi fazoda  $G_{quv,or} = 4,36$  kg/s sarf bilan harakatlanadi va o'zining o'rtacha haroratida issiqlik o'tkazuvchanlik  $\lambda_{quv,or} = 0,61$  Vt/(m·K), qovushqoqlik  $\mu_{quv,or} = 0,00085$  Pa·s, issiqlik sig'im  $c_{quv,or} = 4190$  J/(kg·K) ga ega. Issiqlik tashuvchilar haroratlarining o'rtacha logarifmik farqi  $\Delta T_{o'r,log} = 25,4^{\circ}\text{C}$  ga teng. Quvur devorlari va ifloslanishning termik qarshiliklari yig'indisi  $\sum \delta/\lambda = 0,00042$  m<sup>2</sup> K/Vt.

*Yechim.* Obi - quvurli sovitgichlarning ikki variantini tanlaymiz. Birinchi variant:  $d_H = 0,02$  m,  $Z=2$ ,  $N=166$  va ushbu holda agar obining diametri (0.4 m) uchun quvurning maksimal uzunligi (6 m) kamlik qilsa, uni so'nggi 600 mm gacha uzaytiramiz. Ikkinchi variant:

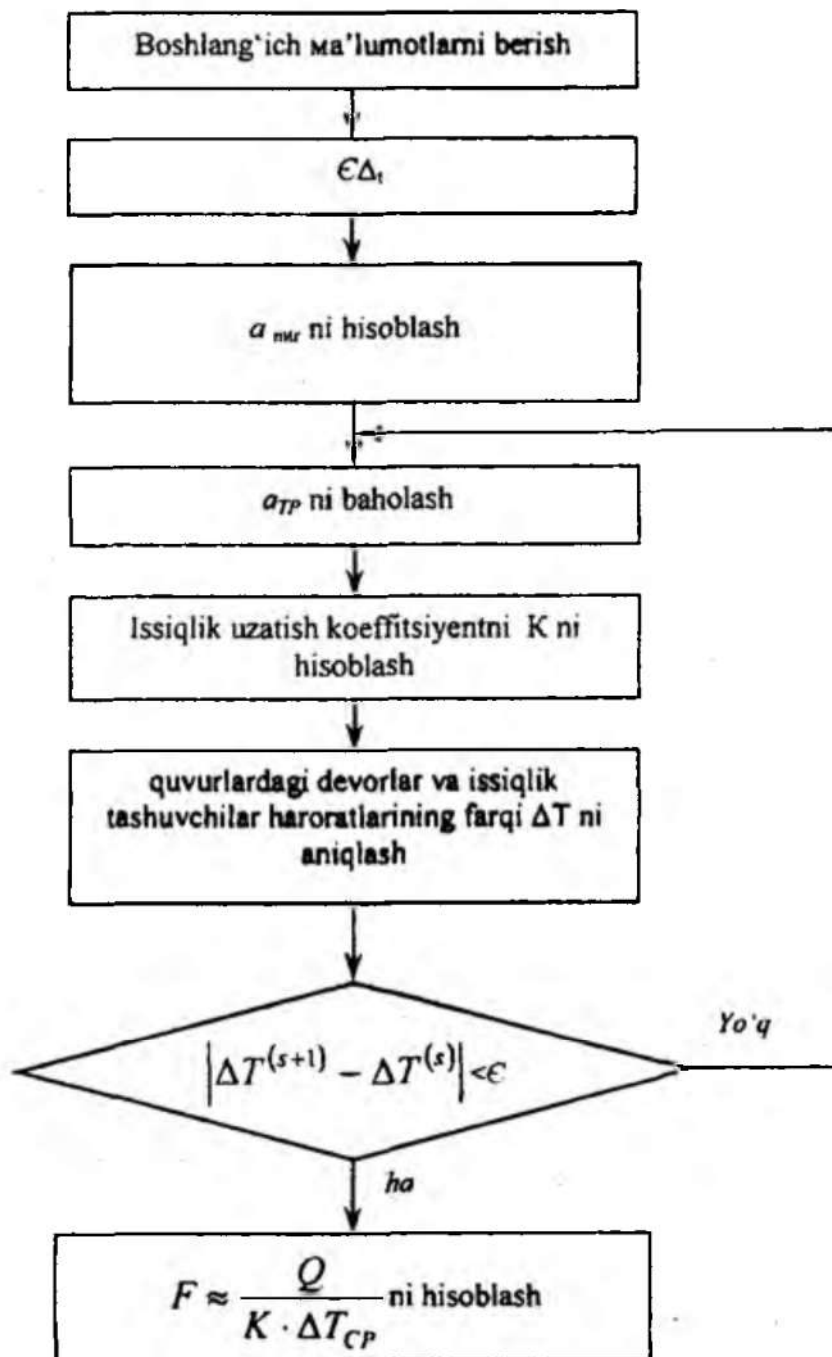
0,020 m,  $Z=2$ ,  $N=314$ . Issiqlik almashish apparatining hisoblanayotgan variantlari uchun  $\varepsilon_{\Delta T} = 0.9$ .

Normal bo'yicha birinchi variant uchun  $S_{quv,or} = 0,021$  m<sup>2</sup> va ikkinchi variant uchun  $S'_{quv,or} = 0,047$  m<sup>2</sup> ni aniqlaymiz.

Boshlang'ich axborotlarni kiritgach **COOLER** dasturi bo'yicha birinchi variantdagi holat uchun:  $\alpha_{quv} = 531,9$  Vt/(m<sup>2</sup>·K),  $\alpha_{quv,or} = 2257,9$  Vt/(m<sup>2</sup>·K),  $K = 364,6$  Vt/(m<sup>2</sup>·K),  $F = 48,3$  m<sup>2</sup>,  $Re_{quv} = 2205,1$ ,  $Re_{quv,or} = 4885,1$  larni olamiz.

Normal bo'yicha uzunligi 6 m quvurli va yuzasi  $F = 62$  m<sup>2</sup> bo'lgan issiqlik almashish apparati mos keladi. Yuza zaxirasi 62-48,3ni tashkil qiladi:

$$\Delta = \frac{62 - 48.3}{48.3} \cdot 100\% = 28.4\%$$



**5.10-rasm.** Issiqlik tashuvchilarning fazaviy o'tishi mavjud bo'lmagan issiqlik almashish apparatlarini hisoblash algoritmining blok-sxemasi.

*Ikkinchi variant:*  $\alpha_{quv} = 406,7 \text{ Vt/(m}^2\text{K)}$ ,  $\alpha_{quv.or} = 1392,4 \text{ Vt/(m}^2\text{K)}$ ,  $K = 278,0 \text{ Vt/(m}^2\text{K)}$ ,  $F = 63,4 \text{ m}^2$ ,  $Re_{quv} = 978,7$ ,  $Re_{quv.or} = 2182,7$ .

Bu issiqlik almashish apparatlari ikkala oqim uchun olingan bo'ylama kesimning kattaligi, Reynolds sonining qiymati kichikligi, issiqlik berish va uzatish koeffitsiyentlarining kichikligi tufayli katta yuzaga ega, biroq uning afzalligi kichik gidravlik qarshilik va



obining diametri 0,6 m bo'lganda quvurning zaruriy uzunligining kichikligi:  $L=3$  m hisoblanadi. Yuza zaxirasi

$$\Delta = \frac{70 - 63.4}{63.4} \cdot 100\% = 10.4\% \text{ ni tashkil etadi.}$$

Zaruriy yuzani kamaytirish, shuningdek, ular bilan birgalikda quvurlar uzunligini ham kamaytirish uchun quvurli sohadagi yo'llar sonining teng shartlarda  $Z = 4$  ( $N = 338$ ,  $S_{quv.or} = 0,047$ ) va  $Z = 6$  ( $N=320$ ,  $S_{quv.or} = 0,047$ ) gacha oshadigan yana ikkita variantni ko'rib chiqamiz.

$Z=4$  yo'llar soniga ega issiqlik almashish apparatlarini hisoblash natijasida  $\alpha_{quv} = 524,0$   $Vt/(m^2 \cdot K)$ ,  $\alpha_{quv.or} = 1392,4$   $Vt/(m^2 \cdot K)$ ,  $K = 328,2$   $Vt/(m^2 \cdot K)$ ,  $F = 53,7 m^2$ ,  $Re_{quv} = 2166,0$ ,  $Re_{quv.or} = 2182,7$  larni olamiz.

$$\text{Yuza zaxirasi } \Delta = \frac{64 - 53.7}{53.7} \cdot 100\% = 19.2\% \text{ ni tashkil etadi.}$$

Uzunligi 3 m ga teng bo'lgan issiqlik almashish apparatining ushbu varianti issiqlik berish koeffitsiyentining oshishi va talab qilingan issiqlik almashish yuzasining mos kamayishi tufayli ikkinchi variant oldida uncha katta afzallikka ega emas.

To'rtinchi variantning ( $Z = 6$ ) hisob natijalari;  $\alpha_{quv} = 853,7$   $Vt/(m^2 \cdot K)$ ,  $\alpha_{quv.or} = 1392,4$   $Vt/(m^2 \cdot K)$ ,  $K = 432,9$   $Vt/(m^2 \cdot K)$ ,  $F=40,7 m^2$ ,

$$Re_{quv} = 3431,7, Re_{quv.or} = 2182,7.$$

Bu variantdagi issiqlik almashish apparatlarining afzalligi shundaki, u kichik uzunlikdagi quvur  $L = 2$  m va obi diametri  $D=0,6$  m ga ega. Yuza zaxirasi  $\Delta = \frac{41 - 40,7}{40,7} \cdot 100\% = 0,7\%$  ni tashkil etadi.

Biroq ko'rilayotgan issiqlik almashish apparatining variantida ikkinchi variantdagiga qaraganda gidravlik qarshilik katta.

Shunday qilib, ikkita: ikkinchi va to'rtinchi variantlarni qabul qilishimiz mumkin. Ular gidravlik hisobdan keyin iqtisodiy mezon asosida tanlanishi mumkin.