

## **REKUPERATIV ISSIQLIK ALMASHINISH QURILMALARIDA ISSIQLIK ALMASHINISH JARAYONLARINI JADALLASHTIRISH**

**Saipnazarov Naurizbek Komekbay uli**  
*Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti Energetika muhandisligi fakulteti "AES va issiqlik energetikasi" kafedrasida magistranti*

*Annotatsiya. Hozirgi vaqtda konvektiv issiqlik uzatishni kuchaytirishning turli usullari taklif qilingan va o'rganilgan. Issiqlik uzatish jarayonining intensivligi va samaradorligiga issiqlik uzatish yuzasining shakli, kanallarning ekvivalent diametri, sirt g'adir-budurlik, ishlaydigan muhitlarning optimal tezligini ta'minlaydigan kanallarning joylashishi, harorat bosimi, kanallarda turbulent elementlarning mavjudligi, qopqoq va boshqa tarkibiy xususiyatlar ta'sir qiladi.*

*Kalit so'zlar: quvurli issiqlik almashtirgich, hujayralararo bo'shliq, turbulizatsiya, laminar rejim bilan ajratilgan qovurg'alar, bo'ylama qovurg'alar, nakatka.*

Turli sohalarning jadal rivojlanishi xalqiy-tisodiyot keng ko'lamli bilan tavsiflanadi issiqlik ta'minoti uskunalari va kattalashtirish unga qo'yiladigan talablar. Shu bilan birga, bu eng ko'p ushbu turdagi qurilmalarning dolzarb/global muammosi, umumiy o'lchamlari va massaning pasayishi bilan birga. Bundan tashqari, ba'zi hollarda harorat va harorat devorlarining farqini kamaytirish kerak. Xuddi shu muammolar kimyo, oziq-ovqat, energiya, neft, metallurgiya va issiqlik uzatish moslamalaridan foydalanadigan boshqa sanoat korxonolari oldida turibdi. Ushbu muammolarni hal qilish ushbu kanallarda issiqlik uzatish jarayonini kuchaytirishdir. Intensivlik usulini tanlashda bir qator shartlar aniqlanadi. Ulardan eng muhimi:

- 1) umumiy o'lcham va massani kamaytirish issiqlik uzatish moslamasi;
- 2) energiya xarajatlari va energiya turi issiqlik uzatish jarayonini faollashtirishga imkon berdi va uni amalga oshirish uchun energiya turi;
- 3) issiqlik uzatishning gidrodinamik tarkibi, oqimni kuchaytirish. Issiqlik zichligi taqsimoti sovutish suvidagi oqim yoki harorat maydoni;
- 4) texnologiyada pishirish qulayligi va ishonchliligi issiqlik almashtirgich texnologiyasi va shuningdek, ish paytida.

Bundan tashqari, ishlab chiqilgan intensivlik usuli kuch, ishonchlilik va ekspluatatsiyani kamaytirmasligi kerak qurilmaning atatsiya xususiyatlari. Odatda iste'mol nazarda tutilganda energiya, nasos energiyasi aks etadi. Shuning uchun uzatish bosimi jadvali qurilma orqali issiqlik bilan ishlov berish, bosimning yo'qolishini o'zgartirmaslik kerak va uning hajmini kamaytirish uchun intensivlik usullarini yaratish kerak. Ma'lumki, issiqlik uzatish uchun turbolent oqimining intensivligining barcha usullari kuchaytirish uchun qo'shimcha sun'iy turbolizatsiya

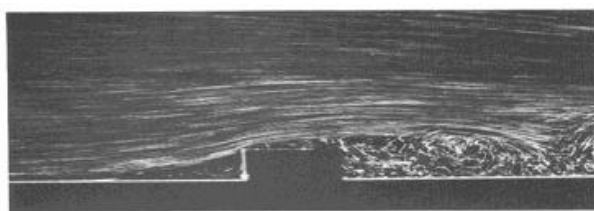
oqimidan foydalanadi. Shu bilan birga, gidravlik qarshilik koeffitsienti oshadi. Shuning uchun kuchaytiruvchi natijalarni, tekis trubkada olingan eksperimental ma'lumotlarni taqqoslash maqsadga muvofiqdir. Buning uchun siz  $Nu/Nu_T$  nisbatidan foydalanishingiz mumkin.

Turbulentlarning gidrodinamik tarkibini bilishoqim va uning issiqlik almashinuvining ajoyib fazilatlari ushbu hududda turbolent tebranishlarni faollashtirish zarurligini aniqlashga yordam beradi. Ko'pgina olimlarning fikriga ko'ra, hech kim devori yaqinidagi suyuqlik harakatini inkor etmagan. Odatda turbolik intensivlikning oshishi energiya ishlab chiqarishning o'sishi bilan bog'liq harakat, ya'ni gidravlik koeffitsient qarshilik kuchayadi. Shunday qilib, t umuman emas devor yaqinidagi devor. Bunga alohida e'tibor berish kerak, chunki ishlab chiqilgan intensivlashtirish usuli tubdan buzilmasligi kerak qilish texnologiyasi ssiqlik almashinuvi qurilmalariva katta seriyada ishlab chiqarishga moyil bo'lishi kerak. Bu erda nafaqat texnologiyani ishlab chiqarish va qo'shishni, balki oddiy qurilma bilan taqqoslashni ham hisobga olish kerak. Bundan tashqari, ishlab chiqilgan intensivlashtirish usuli kuch, ishonchlilik va uning ishlash xususiyatlarini kamaytirmasligi kerak. Tomoq kanallarida issiqlik almashinuvini kuchaytirishda ishning butun tahlili quyidagi xulosalarga olib keldi.

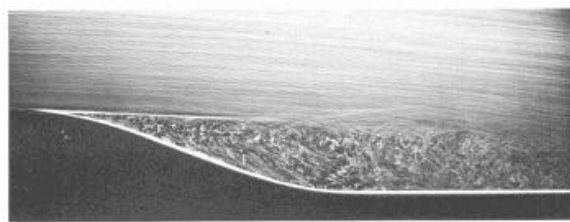
- 1) Eng samarali vosita sun'iy ravishda tashkil etilgan turbulent oqimni yaratishdir.
- 2) Quvurdagi konveks-konkav tipidagi silliq ko'ndalang to'siqlarning dizayni natijasida hosil bo'lgan oqimning turbulentligi ko'p jihatdan to'siqlarning hajmi va shakliga bog'liq.
- 3) Issiqlik almashinuvi intensivligi jarayonida turbolizatorning shakli o'tkir burchaklar bilan bo'lmasligi kerak (uchburchak, to'rtburchaklar va boshqalar), chunki bu shaklli to'siqlarning gidravlik qarshiligi katta.

Shunday qilib, turbulizatorning shakli asta-sekin o'sib boradi va keyin kamayadi va silliq qismlarning gidravlik qarshiligi oshadi. Suyuqlik va gazlar oqimi quvur bo'ylab harakatlanayotganda devor atrofida turbulentlik bilan yupqa chegara qatlamini sun'iy ravishda yaratishi kerak. Bundan tashqari, ushbu devor atrofida nozik qatlamli sun'iy turbulizer uchun diskret ko'ndalang qavariq turboşarlardan foydalanish tavsiya etiladi. Silliq va to'rtburchaklar qavariq tahlil bir xil balandlikdagi to'siqlar va ulardagi o'lchovlar Leniy birinchi holatda turbolizatsiya ekanligini ko'rsatdi yupqa qatlamga eng kichik yuza gidravlik qarshiligiga erishiladi (1-rasm).

*1-rasm. a) To'g'ri burchakli burtikalar shaklida; b) silliq va qiya oqim tuzilishi.*

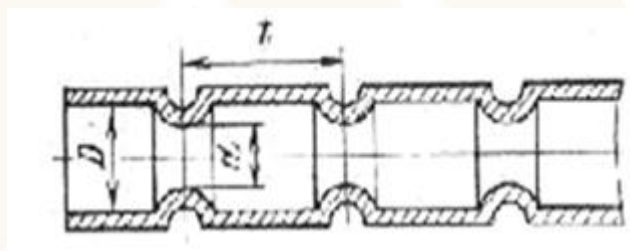


a)



b)

Hozirgi vaqtda olimlar yordamida tashqarida, g'arbiy to'siq issiqlik ta'minoti isitish eng samarali intensivlik quvuridir (2-rasm). Ushbu turdagi "nakatka" usulini yaratish texnologiyasi oddiy va narx tekis quvur liniyasining narxidan bir necha foiz farq qiladi. "Nakatka" da ishlab chiqarilgan issiqlik uzatish apparati yassi quvurlarni ishlab chiqarish texnologiyasidan farq qilmaydi. Shu bilan birga, trubaning issiqlik uzatish moslamasida samarali nakatkasi -bu tekis uchidan kichikroq bo'lgan quvurlarning umumiy uzunligi.

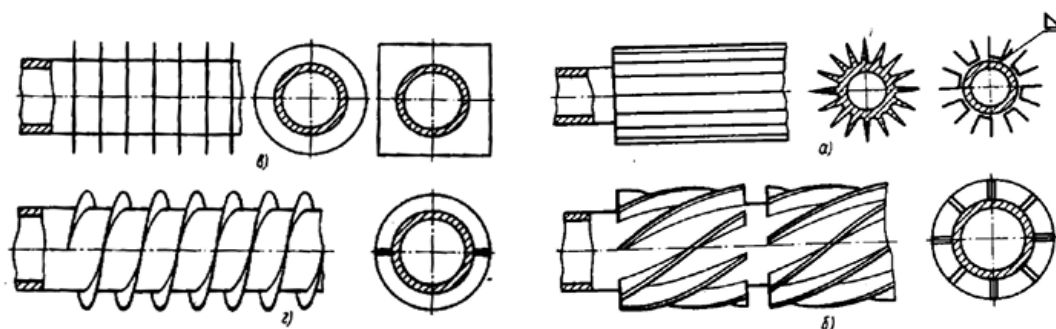


**2-rasm. Tashqi tomondan chiziqli truba, va ichki tomondan-qo'pol to'siq bilan silliq samarali issiqlik almashinuvi yuzasi.**

Shuning uchun, shuning uchun kuchaytirish jarayoni emas kalibrlarni kamaytirish uchun ruxsat berilgan va og'irligi 1,5–2,0 baravar, lekin narxini pasaytirdi. Ushbu usulda  $PR = 2-80$  gidravlik qarshilik 2,7–5,0 marta oshadi va isitish koeffitsientiga 2,0-6 marta erishiladi. Uchun shlangi qarshilik bo'lganda havo 2,8 martadan oshadi, isitish tezligi 3,5 marta oshadi. "Nakatka" quvurlari samaradorlikni oshiradi issiqlik almashinuvi va bir qator afzalliklarga ega:

- ichki issiqlik uzatishi va trubaning tashqi tomonlarida issiqlik almashinuvi bir vaqtning o'zida samarali bo'lishi mumkin;
- issiqlik uzatish samaradorligi boshqa usullarga nisbatan yuqori;
- ushbu turdagi quvurlarni sanoatda tayyorlash oson (3-rasm).

**3-rasm. Quvurlarning tashqi qovurg'alari turlari: a-bo'ylama qovurg'alar; b-bo'lingan qovurg'alar; c-ko'ndalang qovurg'alar; d-spiral qovurg'alar.**



Gazlarni isitish va sovutish jarayonida ( $Re = 104-4$  y  $105$ ,  $d/D = 0,88-0,98$  uchun  $T_w / T_b = 0,13-1,6$ ) o'rtacha issiqlik uzatilishini ushbu formuladan aniqlash mumkin:

agar  $t/d = 0,25-0,8$  bo'lsa,

$$\frac{Nu}{Nu_T} = \left[ 1 + \frac{\lg Re - 4,6}{35} \right] \cdot \left\{ 3 - 2 \exp \left[ \frac{-18,2 \cdot (1 - d/D)^{1,13}}{(t/D)^{0,326}} \right] \right\} \quad (1)$$

Agar  $t/D = 0,8-2,5$ ,

$$\frac{Nu}{Nu_T} = \left[ 1 + \frac{\lg Re - 4,6}{35} \right] \cdot \left[ \left( 3,33 \frac{t}{D} - 16,33 \right) \frac{d}{D} + \left( 17,33 - 3,33 \frac{t}{D} \right) \right] \quad (2)$$

$Nu$  ni (1) va (2) formulalar bo'yicha hisoblashda barcha parametrlar gazning o'rtacha massa haroratida olinadi.  $d/D = 0,9-0,97$  va  $t/D = 0,5$  parametrlari bo'lgan turbulizatorlar quvur liniyalarida issiqlik uzatishni hisoblash uchun quyidagi formuladan foydalanish mumkin:

$$\frac{Nu}{Nu_T} = \left( 1 + \frac{\lg Re_w - 4,6}{7,45} \right) \cdot \left( \frac{1,14 - 0,28\sqrt{1 - d/D}}{1/14} \right) \cdot \exp \left[ \frac{9(1 - d/D)}{(t/D)^{0,58}} \right] \quad (3)$$

Bu erda  $Re_w$  o'rtacha devor harorati hisoblanadi.

(1)-(3) formulalaridagi  $Nu_t$  quyidagi tenglamalar yordamida hisoblanadi: kamaytirilgan isitish va gazlarni sovutish:

$$Nu_T = 0,0207 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \quad (4)$$

Bu erda aniqlovchi harorat o'rtacha quvur uzunligi bo'ylab devor harorati  $Nu_T = 0,018 \cdot Re^{0,8}$  (5)

Bu erda aniqlovchi harorat o'rtacha quvur uzunligi bo'ylab massa harorati. Agar  $t/D = 0,5$  va  $d/D \geq 0,94$  ( $Re > Re^*$ ) bo'lsa, suyuqliklar uchun o'rtacha issiqlik uzatish quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$\frac{Nu}{Nu_T} = \left[ 100 \cdot \left( 1 - \frac{d}{D} \right) \right]^{0,445} \quad (6)$$

Bu erda  $Nu_T$  quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$Nu_T = 0,0216 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,445} \quad (7)$$

Ushbu quvurlarning  $Re = 10^4 - 4 \cdot 10^5$  diapazonidagi gidravlik qarshiligini quyidagi formula bilan aniqlash mumkin:

Qachonki  $t/D = 0,90 - 0,97$  va  $t/D = 0,5 - 1,0$  bo'lsa

$$\frac{\xi}{\xi_T} = \left[ 1 + \frac{100 \cdot (\lg Re - 4,6) \cdot (1 - d/D)^{1,65}}{\exp(t/D)^{0,3}} \right] \cdot \exp \left[ \frac{25 \cdot (1 - d/D)^{1,32}}{(t/D)^{0,75}} \right] \quad (8)$$

agar  $d/D = 0,88 - 0,98$  va  $t/D = 0,5$  bo'lsa

$$\frac{\xi}{\xi_T} = \left[ 1 + \frac{\lg Re - 4,6}{3,4 Re \cdot 10^{-5} + 6} \right] \cdot \left( 1,3 - \sqrt{\frac{d}{D} - 0,93} \right) \cdot \exp \left[ 20,9 \cdot (1 - d/D)^{1,05} \right] \quad (9)$$

Agar  $d/D = 0,90 - 0,98$  va  $t/D = 0,25$  bo'lsa,

$$\frac{\xi}{\xi_T} = \left[ 1 - \frac{\lg Re - 4,6}{6(Re \cdot 10^{-5})^{0,33}} \right] \cdot \left( 3 \frac{d}{D} - 2 \right) \cdot \left( 2,5 - 1,5 \frac{d}{D} \right) \cdot \exp \left[ 17 \left( 1 - \frac{d}{D} \right)^{0,858} \right] \quad (10)$$

(8) formuladagi  $\xi_T$  qiymati quyidagi tenglamadan topiladi:

$$\xi_m = \frac{0,316}{Re^{0,254}} \cdot \left( \frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^n \quad (11)$$

Bu erda gazlarni isitish jarayoni uchun  $n=0,14$ ,  $n = 0$  uchun sovutish gazlari va suyuqliklarni isitish uchun  $n=0,333$ . (10) va (11) formulalardagi  $\xi_T$  soni keyin hisoblanadi:

$$\xi_T = 0,182 \cdot \text{Re}^{-0,2} \quad (12)$$

Ushbu usulda  $\text{Pr} = 2-80$  bo'lgan suyuqliklar uchun gidravlik qarshilik  $2,7-5,0$  baravar oshishi bilan issiqlik uzatish koeffitsientini  $2,0-2,6$  baravar oshirish mumkin. Havo uchun gidravlik qarshilik  $2,8-4,5$  baravar ko'payganda, issiqlik uzatish koeffitsienti  $2,8-3,5$  baravar ko'payadi. Devor yaqinidagi chegara qatlamining turbulentligini tezlashtiradigan yuqorida aytib o'tilgan turbulentliklarga qo'shimcha ravishda, kimyoviy va neft muhandisligida va boshqa intensivlashtirish usullari qo'llaniladi. Boshqa usullar qatorida trubadagi issiqlik quvurlarining spiral harakati usuli alohida o'rin tutadi:

- a) vintli turboşarjlar (o'ralgan lenta, vint) trubaning qismlariga yoki butun uzunligiga o'rnatiladi;
- b) quvurda tangensial issiqlik uzatish;
- c) quvurning kirish qismida yoki quvurlarning kerakli joylarida pichoqlarni o'rnatish;
- d) isitgichga spiral quvurlarni o'rnatish.

Issiqlik uzatishni shu tarzda kuchaytirish bir qator omillar tufayli:

- yassi quvurlar bilan bir xil o'rtacha iste'mol bilan tezlik va kuchlanish gradienti turbulent, m kanal devorlarida baland bo'lishi;
- atrofdagi markazdan qochma kuch ta'sirida devorlari yuqori sovuq suyuqlik yig'iladi va trubaning markazida past zichlikdagi issiq suyuqlik mavjud. Suyuqlikning ko'p qatlamli ta'siri isitish jarayonida issiqlik uzatishni kuchaytiradi;
- vintli elementlardan foydalanish o'tkir sirt effektini beradi. Ushbu usul bilan issiqlik uzatish koeffitsienti  $30-40\%$  ga oshadi,  $\alpha$  gidravlik qarshilik  $1,5-2,5$  marta ortadi.

Turbulent va vaqtinchalik rejimlarda devor yaqinidagi qatlam zonasini kuchaytirish kerak, chunki chegara qatlamining issiqlik o'tkazuvchanligi kichik. Bundan tashqari, devor-suyuqlik tizimining  $60-70\%$  harorat oralig'i mavjud, ya'ni issiqlik oqimining maksimal zichligi. Intensivlashtirishning yana bir samarali usuli issiqlik uzatish jarayoni-trubaning tashqi yuzasida qo'shimcha o'tkir sirtlarni yaratish. Ushbu usulda past issiqlik uzatish koeffitsienti bo'lgan muhit quvurga yo'naltirilishi kerak.

Issiqlik uzatish yuzasiga mexanik ta'sir qilish usullari, shuningdek elektr, ultratovush va magnit maydonlarning ta'siri hali yaxshi tushunilmagan. Issiqlik

uzatish jarayonining kuchayishi natijasida issiqlik uzatish koeffitsientining oshishi isitish bug'lari va isitiladigan suyuqliklar va toza issiqlik uzatish yuzalarida devor o'rtasidagi issiqlik uzatish koeffitsienti bilan belgilanadi. Eng ko'p ishlatiladigan issiqlik tashuvchilarning fizik-kimyoviy xossalari, bosimi, harorati va issiqlik uzatish koeffitsientlari soat bir-biridan keskin farq qiladi. Masalan, bug'dan devorga issiqlik uzatish koeffitsientining qiymati,  $\alpha = 4000-15000 \text{ BT}/(\text{M}^2\cdot\text{K})$  va yopishqoq suyuqliklar uchun –  $\alpha \leq 200 \text{ BT}/(\text{M}^2\cdot\text{K})$ .

Shubhasiz, jarayon past intensivlik koeffitsientiga ega bo'lgan sovutish suvi bilan amalga oshirilishi kerak, ya'ni yopishqoq suyuqlik. Agar issiqlik uzatish koeffitsienti ikkala muhit uchun ham bir xil bo'lsa, intensivlashtirish har ikki tomonda ham amalga oshirilishi mumkin. Biroq, qurilmaning operatsion va texnik imkoniyatlarini hisobga olish kerak.

Odatda, issiqlik uzatish jarayonining kuchayishi gidravlik qarshilikni engish uchun ishlatiladigan energiyaning ko'payishi bilan bog'liq. Shuning uchun issiqlik uzatish jarayonini intensivlashtirishning asosiy ko'rsatkichlaridan biri bu qurilmaning energiya samaradorligi. Issiqlik o'tkazuvchanligining oshishi gidravlik qarshilikning oshishiga teng bo'lishi maqsadga muvofiqdir. Issiqlik uzatish jarayonini kuchaytirishning quyidagi usullari mavjud:

- devorga yaqin chegara qatlamining oqishini kuchaytiradigan murakkab shakldagi sirtlarni qurish;
- quvurga vintlardek va oqimlarni turbolizatsiya qilish moslamalarini o'rnatish;
- elektr, magnit va ultra tovush maydonlarining issiqlik uzatish oqimiga ta'siri;
- devor yaqinidagi chegara qatlamida oqim tezligining tebranish yoki aylanish harakatini tashkil etish va uni burama spiral traektoriya bo'ylab yo'naltirish;
- qirrali tuzilmani yaratish orqali issiqlik uzatish yuzasini oshiring;
- issiqlik almashinuvi yuzasining aylanishi va tebranish harakati kabi mexanik ta'sir;
- statsionar yoki mavhum qaynash qatlamlarida donador nozullarni qo'llash;
- issiqlik almashtirgichga zarrachalar yoki gaz pufakchalarini qo'shish.

U yoki bu narsadan foydalanishning maqsadga muvofiqligi muayyan vaziyatda intensivlashtirish usuli uning texnik maqsadga muvofiqligi va samaradorligi bilan belgilanadi. Quvurli issiqlik almashtirgichlarda turbulent oqim hosil qilish orqali agent va mahsulotni quvur bo'ylab va interstitsial bo'shliq bo'ylab harakatlantirish orqali issiqlik uzatish koeffitsientini oshirish mumkin. Bu iste'molni kamaytirishi mumkin sovutish suvi va qurilmaning samaradorligini oshirishdir.

**Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:**

1. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям /под ред. М.О. Штейнберга. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов. 8-е изд., перераб. – М.: Химия, 1971. – 783 с.
3. Процессы и аппараты химической технологии / А.А. Захарова, Л.Т. Бахшиева, Б.П. Кондауров [и др.]; под ред. проф. А.А. Захаровой. – М.: Академия, 2006. – С. 30–53.
4. Процессы и аппараты химической технологии / под ред. проф. А.А. Захаровой. – М.: Академия, 2006. – С. 30–68.
5. Технология переработки нефти: в 2 ч. Ч. I. Первичная переработка нефти / О.Ф. Глаголева, В.М. Капустин, Т.Г. Гюльмисарян [и др.]; под ред. О.Ф. Глаголевой и В.М. Капустина. – М.: Химия, Колос С, 2006. – 400 с.
6. Чугаев Р.Р. Гидравлика. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 672 с.
7. Khurmatov A.M., Rakhimov G.B. Calculation of heat transfer and heat transfer in a pipe apparatus in heating gas condensate // Scientific and technical journal of Namangan institute of engineering and technology. – 2021. – Vol. 6, Issue 1.
8. Khurmatov A.M., Rakhimov G.B. Расчет гидравлического сопротивления при диффузоре и конфузоре в горизонтальной трубе // Технологии нефти и газа. – 2021. – № 5 (136).
9. Нодирханова, С. И., Хаджибаев, А. Ш., Раджабова, С., & Култураева, Ш. А. (2025). Влияние термического сопротивления на эффективность теплообменных аппаратов. *American journal of education and learning*, 3(5), 635-642.
10. Мавлонов, Э. Т., Закиров, С. Г., Нодирхонова, С. И., Каюмов, А. А., Азимбоев, З. М., & Хушатов, А. С. (2018). Зависимость переноса тепла от шага размещения турбулизаторов на трубчато-решетчатых насадках абсорберов. In *современные материалы, техника и технология* (pp. 246-250).
11. Рахимжанова, Ш., Маназарова, Х., & Нодирхонова, С. (2023). Исследование процесса подогрева нефтегазоконденсатной смеси парами легкой нефти в теплообменном аппарате 10E04. *Зелёная химия и устойчивое развитие*, 1(1), 120-122.
12. Шарипов, К. К., Абдуллаева, С. Ш., Нодирхонова, С. И., Култураева, Ш. А., & Абдурахимова, М. И. (2024). Инновационный метод удаления загрязнений из теплообменной установки. *Science and innovation*, 3(Special Issue 15), 513-515.
13. Нурмухамедов, А. М., Абдуллаева, С. Ш., Абдуллаев, А. Ш., Нодирханова, С. И., & Хаджибаев, А. Ш. (2025). Исследование физико-механических свойств теста для национальных мучных изделий с начинкой. *American journal of education and learning*, 3(4), 176-181.