

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС

ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

ҚАРШИ МУҲАНДИСЛИК ИҚТИСОДИЁТ ИНСТИТУТИ

5520100 – "Иссиқлик энергетикаси"

бакалавр таълим йўналиши

## БИТИРУВ МАЛАКАВИЙ ИШИ

**Мавзу: Локал турбулизаторли иссиқлик алмашинув  
қурилмаларида гидродинамик жараёнларни тадқиқот қилиш**

Раҳбар:

\_\_\_\_\_

(имзо)

**Ибрагимов У.Х.**

Ишни бажарувчи:

\_\_\_\_\_

(имзо)

**Чориева Д.**

*"Ҳимояга рухсат этилди"*

Кафедра мудири:

\_\_\_\_\_ доц. И.Н. Қодиров  
(имзо)

*"Ҳимоя учун ДАКга юборилди"*

Факультет декани:

\_\_\_\_\_ доц. А.И. Юсупов  
(имзо)

" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2012 йил

" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2012 йил

**ҚАРШИ – 2012 йил**

## МУНДАРИЖА

<b>Кириш.....</b>	<b>3</b>
<b>1. Тадқиқот қилинаётган объектнинг замонавий ҳолати.....</b>	<b>6</b>
1.1. Қувур юзасида ғадир-будирликни ошириш йўли билан иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш.....	8
1.2. Турбулизаторлар ёрдамида иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш...	11
1.3. Буралган қувурлар ёрдамида иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш.....	13
1.4. Қувурни накаткалаш ёрдамида иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш.....	16
1.5. Спирал накатка ёрдамида иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш.....	19
1.6. Диффузор-конфузор туридаги иссиқлик алмашинувини жадаллаштиргичлар.....	23
1.7. Спиралсимон пружина ёрдамида иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш.....	25
1.8. Иссиқлик алмашинувини жадаллаштиришнинг турли усуллари самарадорлигини солиштириш.....	30
<b>2. Гидродинамик жараённи экспериментал тадқиқот қилиш.....</b>	<b>34</b>
2.1. Локал турбулизаторлар конструкциясининг тавсифи.....	34
2.2. Тажриба қурилмасининг тавсифи.....	35
2.3. Гидродинамик жараён бўйича олинган тадқиқот натижалари.....	37
<b>3. Мехнат хавфсизлиги ва хавфсизлик техникаси.....</b>	<b>48</b>
<b>4. Иқтисодий қисм.....</b>	<b>54</b>
Хулоса.....	58
Фойдаланилган адабиётлар.....	60

## Кириш.

Маълумки, саноатнинг турли соҳаларида хилма-хил хом-ашё ва маҳсулотларни қайта ишлашда иссиқлик алмашилиш жараёнлари ва уларни амалга оширувчи қурилмалар жуда кенг миқёсда қўлланилади. Иссиқлик алмашинуви қурилмалари иссиқлик электр станцияларида, иссиқлик электр марказларида, хавони иситиш ва шамоллатиш тизимларида, кимё саноатида, нефтьни қайта ишлаш саноатида, озиқ-овқат саноатида, иссиқ сув таъминоти ва иситиш тизимларида ва криоген техникаларда жуда кенг қўлланилади.

Иссиқликни бир иссиқлик ташувчидан бошқа иссиқлик ташувчига узатиш учун мўлжалланган мосламаларга – иссиқлик алмашинув қурилмаси деб аталади. Иссиқлик алмашинуви қурилмалари энергетикада, кимё саноатида, нефтьни қайта ишлаш саноатида, енгил саноатда, совутиш ва криоген техникада, иситиш ва иссиқ сув таъминоти тизимларида, маромлаш тизимларида, турли хил иссиқлик юритгичларида, авиация ва космик техникада кенг қўлланилади. Энергетик қувватлар ва ишлаб чиқариш ҳажмининг ортиши қўлланилаётган иссиқлик алмашинуви қурилмаларининг массасини ва ташқи ўлчамини ортишига олиб келди. Уларни ишлаб чиқаришда кўп миқдордаги легирланган ва рангли металллар сарфланади.

Барча соҳаларда қўлланилаётган иссиқлик алмашинуви қурилмаларининг деярли барча конструкциясида иссиқлик қиздирувчи иссиқлик ташувчидан совутовчи иссиқлик ташувчига уларни ажратиб турувчи оралик қаттиқ жисм (девор) орқали узатилади. Бунда қиздирувчи иссиқлик ташувчи иссиқликни битта юзага беради, қизиётган иссиқлик ташувчи эса иссиқликни деворнинг иккинчи томонидан қабул қилади, яъни барча ҳолларда иссиқлик алмашинуви иссиқлик ташувчилар ва иссиқлик алмашинуви юзаси орасида амалга ошади.

Кўпгина иссиқлик алмашинуви қурилмаларини лойиҳалашда қуйидаги масалалар ечилади: белгиланган умумий иссиқлик оқимида, гидравлик йўқотилишларда, иссиқлик ташувчиларнинг ҳароратлари ва босимларида

мосламанинг минимал ташқи ўлчамига ва массасига эриши. Иссиқлик алмашинуви қурилмаларининг ташқи ўлчамлари ва массасини камайтиришнинг энг оқилона усули – каналларда иссиқлик алмашинувини жадаллаштиришдир.

Ҳозирги вақтда кўпгина рекуператив иссиқлик алмашинуви қурилмаларининг асосий улушини қоплама қувурли иссиқлик алмашинуви қурилмалари ташкил этади. Ушбу қурилмаларда бир иссиқлик ташувчи қувур ичидан, иккинчиси эса қувурлараро бўшлиқда ҳаракатланади. Бундай конструкцияли мосламалар юқори босимларда ва иссиқлик ташувчилар орасидаги босимлар фарқи юқори бўлган ҳолларда, шунингдек ҳароратнинг кенг кўламларида юқори технологик тавсифларни таъминлайди.

Ҳозирги кунда бутун дунёда ишлаб чиқариш жадал суръатлар билан ошиб бормоқда, булар ўз навбатида ишлаб чиқаришдаги энергетик қувватларнинг ортиши иссиқлик алмашинуви қурилмаларининг ташқи ўлчамлари ва массасини ортишига олиб келмоқда. Бунда иссиқлик алмашинуви қурилмаларини ишлаб чиқариш учун кўп миқдордаги легирланган металлларни сарфланишига сабаб бўлмоқда.

Бундай муаммолар дунё мамлакатларининг асосий эътиборида турган долзарб масалалардан бири бўлиб ҳисобланади. Ушбу муаммоларни оқилона ҳал этишнинг усули бу-иссиқлик алмашинуви қурилмаларида иссиқлик алмашинуви жараёнини жадаллаштириш ҳисобланади. Бу борада жуда кўп изланишлар олиб борилган бўлиб, иссиқлик алмашинувини жадаллаштиришнинг жуда кўп усуллари таклиф қилинган.

Президентимиз И.А. Каримовнинг “Асосий вазифамиз–ватанимиз тараққиёти ва халқимиз фаровонлигини янада юксалтиришдир” номли асарларида таъкидланганидек: “Узоқ муддатли истиқболга мўлжалланган, мамлакатимизнинг салоҳияти, қудрати ва иқтисодиётимизнинг рақобатбардошлигини оширишда ҳал қилувчи аҳамият касб этадиган навбатдаги муҳим устивор йўналиш – бу асосий етакчи соҳаларни

модернизация қилиш, техник ва технологик янгилаш, транспорт ва инфратузилма коммуникацияларини ривожлантиришга қаратилган стратегик аҳамиятга молик лойиҳаларни амалга ошириш учун фаол инвестиция сиёсатини олиб боришдан иборат” яна “... иқтисодиётимизнинг етакчи ўринларга чиқиши учун Тошкент, Навоий ва Толлимаржон иссиқлик электр станцияларида буғ-газ мосламаларини қуриш, ... ташкил этишга қаратилган йирик лойиҳаларни амалга оширилишини айтиб ўтиш лозим.

Шу билан бирга, Муборак газни қайта ишлаш заводи ва Шўртаннефтегаз мажмуасида суюлтирилган газ ишлаб чиқаришни кўпайтириш учун пропан-бутан аралашмаси мосламаларини қуриш, Янги Ангрен иссиқлик электр станцияси энергия блокларини кўмир ёқилғиси билан ишлаш тизимига ўтказиш, автомобил кучланиш агрегатларини ишлаб чиқаришни йўлга қўйиш ва бошқа бир қатор муҳим стратегик лойиҳаларни амалга ошириш алоҳида истиқболли аҳамиятга эга эканини таъкидлаш зарур” [1].

Юқорида келтирилган масалаларни билдирилган фикрларни инобатга олган ҳолда ушбу битирув малакавий ишида иссиқлик алмашинуви қурилмаларини ташқи ўлчамларини кичрайтириш, уларнинг массасини камайтириш ва иссиқлик алмашинуви қувурларида содир бўладиган туз қатламларини олдини олиш масалаларига асосий эътибор қаратилди.

Битирув малакавий ишини бажаришдан асосий мақсад иссиқлик алмашинувини жадаллашишига олиб келувчи локал турбулизаторларнинг янги конструкцияларини ишлаб чиқиш ва уларни тадқиқот қилишнинг тажриба қурилмасини яратиш, қувурларда локал турбулизаторлар қўлланилганда гидродинамик жараённи тадқиқот қилиш ва натижалар олиш, ҳамда яратилган локал турбулизаторларнинг янги конструкцияларини иқтисодий асослаш битирув малакавий ишининг асосий мақсади ҳисобланади.

## **1. Тадқиқот қилинаётган объектнинг замонавий ҳолати.**

Ёқилғи энергетика манбаларидан оқилона ва самарали фойдаланиш муҳим муаммолардан бири ҳисобланади. Энергетик қувватларни ва ишлаб чиқариш ҳажмини ортиши натижасида қўлланилаётган иссиқлик алмашинуви қурилмаларининг массасини оғирлашишига ва ташқи ўлчамларини катталашшига олиб келди. Юқори самарадор ва ихчам иссиқлик алмашинуви қурилмасини яратиш, ёқилғини, металл ва меҳнат ҳаражатларини сезиларли даражада камайтирди.

Ушбу муаммоларни ҳал этишда каналларда иссиқлик алмашинувини жадаллаштиришнинг самарали усулларидан фойдаланиш зарур. Иссиқлик алмашинуви қурилмалари барча энергетик қурилмаларнинг асосийси ва металл сифими юқори бўлган мосламалар ҳисобланади. Улар иссиқлик энергетикасида, кимё, нефтьни қайта ишлаш ва енгил саноатнинг технологик жараёнларида, металлургияда, қурилишда ва халқ ҳўжалигининг бошқа соҳаларида ҳам кенг қўлланилади. Масалан нефть кимёси ишлаб чиқаришида иссиқлик алмашинуви қурилмаларининг массаси барча технологик мосламаларнинг умумий массасини 35-40% ини ташкил этади.

Иссиқлик алмашинуви қурилмаларининг ичида энг кенг тарқалганлари қоплама қувурли иссиқлик алмашинуви қурилмалари ҳисобланади. Ушбу қурилмаларни ишлаб чиқаришда кўп миқдорда легирланган ва рангли металллар сарфланади.

Каналларда иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш усуллари қўлланган иссиқлик ва масса алмашинуви қурилмаларини яратиш ва ишлаб чиқиш тажрибалари мосламаларнинг ташқи ўлчамларини ва металл сифимини 1,5-2 марта камайишига олиб келади, шунингдек, каналларда туз қатламларини ҳосил бўлиш жадаллиги сезиларли даражада камаяди. Бунда ишлатишдага ҳаражатлар ва меҳнат сифими 2-3 марта ортади. Жадаллаштиришнинг таклиф этилган усуллари ишлаб чиқаришда технологик

содда, иссиқлик алмашинуви қурилмаларини йиғишда қулай ва ишлатишда ишончли бўлиши керак.

Иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш иссиқлик алмашинуви қурилмаларининг массасини ва ташқи ўлчамларини камайтириш муаммосини ечишнинг самарали йўли ҳисобланади.

Ҳозирги вақтда конвектив иссиқлик алмашинувини жадаллаштиришнинг турли усулари таклиф этилган ва тадқиқот қилинган. Бир фазали иссиқлик ташувчилар учун турбулизаторларни қўллаш, ғадир-будир юзалар, қовурғалаш ҳисобига юзани ошириш, спиралсимон қовурға ёрдамида оқимни уюрма ҳаракатга келтириш, шнекли мосламалар, каналга киришда ўрнатилган гирдоблантиргичлар, суюқлик оқимига газ пуфакчаларини аралаштириш, газ оқимига эса қаттиқ заррачалар ва томчили суюқликларни аралаштириш, иссиқлик алмашинуви юзасини айлантириш, юзани тебратиш, оқимга электростатик майдон таъсир эттириш, чегараланган қатламдан оқимни сўриб олиш ва ҳоказо.

Жадаллаштиришнинг курама усулини қўллаш юқори самарадор ҳисобланади (турбулизаторларни қовурғали юзалар билан қўллаш, спиралсимон қовурғаларни уюрма ҳаракатга келтирилган оқим билан бир вақтда қўллаш, уюрма ҳаракатга келтирилган оқим билан турбулизаторларни биргаликда қўллаш ва ҳоказо).

Шуни таъкидлаш жоизки, иссиқлик алмашинувини жадаллаштиришнинг у ёки бу усулини қўллаш учун усулни танлашда нафақат юзанинг самарадорлигини, балки усулнинг бир ёки икки фазали иссиқлик ташувчилар учун универсаллигини, тайёрлашда технологик осонлигини, иссиқлик алмашинуви қурилмасини йиғишда осонлигини, мустаҳкамлик талабларини, юзанинг ифлосланишини, ишлатишида қулайлигини ҳам ҳисобга олиш зарур. Ушбу ҳолатлар самарадор юзаларни танлаш имкониятини камайтиради.

Ҳозирги вақтда оқимни сунъий турбулизациялаш усулини қўллаш каналларда иссиқлик алмашинувини жадаллаштиришнинг энг самарали усули ҳисобланади [4,5].

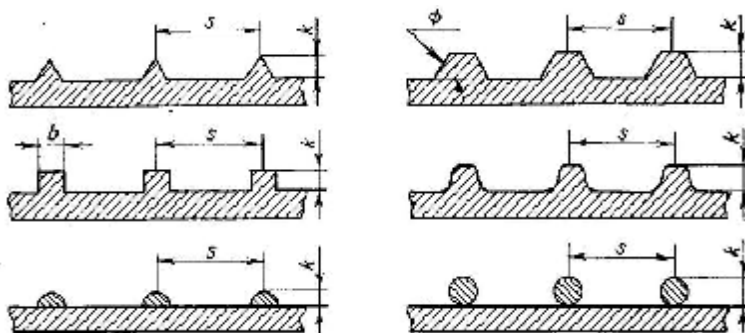
Иссиқлик ташувчиларнинг ламинар оқимда спиралсимон ёки бурама қувурларни қўллаш [6], кўп йўлли шнеклар ёрдамида оқимни гирдоблантириш, каналлар ва қувурларда ташқи ва ички қовурғани қўллаш кичик иссиқлик оқими ва иссиқлик ташувчиларнинг ламинар оқим режимида мақсадга мувофиқдир [8-10].

### **1.1. Қувур юзасида сунъий ғадир-будирликни ошириш йўли билан иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш.**

Саноат иссиқлик алмашинуви қурилмаларида фойдаланиладиган қувур ва каналларнинг ички юзаси амалда ҳеч қачон текис бўлмайди. Амалиётда ҳар доим идеал текис юза рельефидан оғиш мавжуд.

Юзанинг ғадир-будирлиги-табиий равишда технологик ишлаб чиқаришда ва қувурларни ишлатиш шароитидан, шунингдек, сунъий равишда, яъни қувур юзаларида махсус ўрнатмалар ҳосил қилиб ғадир-будирликни ошириш (1.1-расм). Сунъий ғадир-будирлик иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш мақсадида амалга оширилади, бунда гидравлик қаршилик ортади.

Турбулент оқими вақтида Г.Шлихтинг [11] учта характерли режимни фарқлайди.



**1.1-расм.** Ғадир-будир юзаларнинг шакллари.



$b$ -ғадир-будир юзаларнинг қалинлиги;  $s$ -ғадир-будирлик қадами;  $k$ -ғадир-будирлик баландлиги.

Г.Шлихтинг турбулент оқимини учта характерли режимга ажратади.

Ғадир-будирлик бўлмаган ёки гидравлик силлиқ қувур режими,  $k/r_0$  ҳар бир қиймати учун аниқланган ва Рейнольдс сони соҳасига мос келади, бунда қувур ғадир-будирлигининг қаршилик коэффиценти қийматига эга бўлади. Бундай оқим режими  $vk \leq 5$  бўлганда амалга оширилади. Ушбу ҳолда ғадир-будир бўртмалар кичик бўлиб, қовушқоқ ост қатламнинг ичида жойлашади ва оқим бузилмасдан оқади. Бунда ғадир-будирлик қаршилик ва  $\xi = f(Re)$  боғлиқликка таъсир кўрсатади.

Ўтиш режими гидравлик силлиқ қувур режимига қараганда анча ривожланган бўлиб, қувур ғадир-будирлигининг қаршилик коэффиценти силлиқ қувурнинг гидравлик қаршилик коэффицентида катта бўлади. Ўтиш режими  $5 \leq vk/n \leq 70$  бўлганда кузатилади. Ушбу ҳолда ғадир-будирлик элементлари баъзан қовушқоқ ост қатламдан бўртиб чиқади, уларнинг бўртиб чиққан қисми оқимни бузади (оқимни узулишига олиб келади) бу ўз навбатида қўшимча кучланишнинг ҳосил бўлишига олиб келади, бунда қувур ғадир-будирлигининг қаршилиги нафақат  $Re$  га, балки  $k/r_0$  га боғлиқ бўлади.

Ғадир-будирликнинг тўлиқ мавжуд бўлиш режими Рейнольдс сонининг жуда катта қийматларига мос келади, юнда қувур ғадир-будирлигининг қаршилик коэффиценти  $Re$  га боғлиқ ҳолда ҳамда ортади. Бундай режим  $vk/n > 70$  бўлганда кузатилади. Ушбу ҳолда ғадир-будирлик элементлари деярли тўлиқ қовушқоқ ост қатламининг устида бўлади. Шунинг учун ғадир-будирлик элементларининг шакллари қаршилиги девордаги кучланиш уринмасининг вужудга келишида асосий ролни уйнайди. Ушбу сабаб бўйича  $\xi$ ,  $k/r_0$  га боғлиқ бўлади, қаршилик қонуни эса квадратли бўлиб қолади ( $\Delta p \approx \bar{w}^2$ ).

Қумоқ ғадир-будирликни қувурда ғадир-будирлик тўлиқ мавжуд бўлган режимда қаршилик коэффиценти учун И. Никурадзе [12] қуйидаги тенгламадан олган:

$$x = \frac{l}{(2 \lg(r_0/k) + 1,74)^2} \quad (1.1)$$

Қувурларда барча учта оқим режими учун табиий ғадир-будирликли қувурларда қаршилик коэффиценти Колибрик ва Уойт тенграмаси ёрдамида яхши ёзилади:

$$1/\sqrt{x} = 1,74 - 2 \lg(k/r_0 + 18,7/(Re\sqrt{x})) \quad (1.2)$$

$k/r_0 \rightarrow 0$  бўлганда (1.2) тенглама гидравлик силлиқ қувур учун Прандтл формуласига ўтади:

$$1/\sqrt{x} = 2 \lg(Re\sqrt{x}) - 0,8 \quad (1.3)$$

Агар қувур ғадир-будирлигининг қаршилиги силлиқ қувур қаршилигидан доимо катта бўлса ёки унга тенг бўлса, у ҳолда ғадир-будир қувурда иссиқлик бериш силлиқ қувурга қараганда юқори ёки паст бўлиши мумкин. Бу ғадир-будирлик элементларининг шакли, баландлиги, ўзаро жойлашуви ва Рейнольдс сонидан аниқланади.

Амалиётда иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш учун сунъий ғадир-будирлик кўп қўлланилади, масалан-резбалар, қувур бўйлаб жойлаштирилган турли профилли ҳалқалар ва ҳоказо.

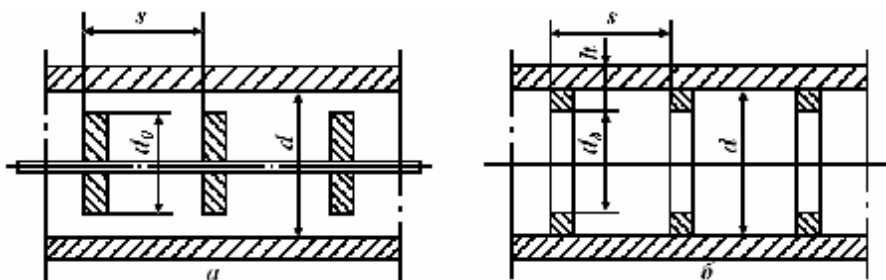
Табиий ва сунъий ғадир-будирликли қувурларда иссиқлик бериш учун турли шаклдаги элементлар (симлар, шарлар, пирамида, цилиндрлар, ярим цилиндрлар ва ҳоказо) бир-бирига яқин жойлашганда иссиқлик бериш учун А.М. Ягтя ва Б.А. Кадар [13] лар қуйидаги тенграмани олишган:

$$Nu = \frac{\sqrt{x/8} Re Pr}{2,12 \ln \frac{r_0}{k} + 0,55(Pr^{2/3} - 0,2)k_+^{1/2} + 10 - \frac{3,2}{(1 - k/r_0)^2} + 6,6\sqrt{x/8}} \quad (1.4)$$

бу ерда  $k_+ = \frac{k}{d} Re \sqrt{x/8}$ .

## 1.2. Турбулизаторлар ёрдамида иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш.

Ҳозирги вақтга қадар турли хил турбулизацияловчи мосламалар таклиф қилинган, уларни қуйидагича таснифдаш мумкин: текис коаксиал дисклар (1.2, а-расм), улар қувурнинг диаметр кесими бўйича ўрнатилади: диафрагмалар (ҳалқалар) оқим кесимини даврий торайиши (1.2, б-расм).



1.2-расм. Дискли ва ҳалқали турбулизаторлар.

Дискли турбулизаторлар Р. Кох томонидан тадқиқот қилинган бўлиб, унда турбулент оқим режимида ички диаметри 50 мм бўлган қувурдан ҳаво оқими ўтганда дискли турбулизаторлар ўтнатилган.

Энг яхши энергетик ва иқтисодий самара  $d_0/d=0,4$  ( $d_0=20$  мм) бўлганда олинган, бунда эркин ўтиш кесими 84% га мос келади.

Дискли турбулизаторлар билан таъминланган қувур, диск ўрнатилмаган текис қувур билан солиштирилганда ва бунда сувнинг тезлиги  $w=0,5$  м/с бўлганда ва  $d_0/d=0,4$  учун энергетик ва келтирилган йиллик харажатлар 3% га тежаллади. Аммо сувнинг тезлиги оптимал тезликка эришганда (1 м/с) тежамкорлик тахминан 1% гача камаяди. Жуда юқори тезликларда дискларни қўллаш ҳеч қандай самара бермайди.

Дискли турбулизаторларнинг асосий камчиликлари уларнинг энергетик ва иқтисодий самарадорлигини камлиги, улар турбулизацияни бутун оқим бўйича ва оқим ядроси бўйича кучайтиради. Бу ўз навбатида суюқликларни ҳайдашга сарфланадиган қувватни сезиларли оширади, иссиқлик алмашинувини жадаллаштириши сезиларли даражада ортади.

Турбулент ва ўтиш режимлари учун энг истиқболли турбулизациялаш қурилмаси ҳисобланади. Ушбу турбулизаторлар деворга ёпишган оқимнинг

четки қатламини турбулент ҳаракатга келтиради. Ушбу ҳолда оқим ядросида амалга оширилмаган қўзғалишга энергия сарфланмайди ва сарфланган қувват эса фақатгина чегара қатламини тубулизациялашга сарфланади, ушбу чегара қатлам умумий оқимнинг маълум қисмини ташкил этади, аммо иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш учун жуда муҳим ҳисобланади.

Бундай периферияли турбулизаторларга одатда диафрагмани киритиш мумкин. Улар ёки қувурнинг ичига жойлаштириладиган ҳалқа сифатида ёки қувурни қисиш орқали ҳосил қилинади. Ҳалқали турбулизаторлар Р. Кох [15], В. Нуннер [14] ва В.Г. Букин [16] томонидан тажрибавий ўрганилган. Ҳалқали турбулизаторларни синов натижалари Э.К. Калинин ва бошқалар [17] китобида келтирилган.

[14] ишда ҳавонинг оқимида ҳалқали турбулизаторлар тажрибавий тадқиқот қилинган. Тадқиқот  $Re=500\div 60000$ ,  $l/d=0,4\div 20$ ,  $d_0/d=0,5\div 0,8$  оралиғида олиб борилган.

[15] ишда ҳавонинг оқимида ҳалқали турбулизаторлар тажрибавий тадқиқот қилинган. Тадқиқот  $Re=500\div 60000$ ,  $l/d=0,4\div 3,2$ ;  $d_0/d=0,88\div 0,98$  оралиғида олиб борилган.

[16] ишда  $CaCl_2$  намोकобининг оқимида ҳалқали турбулизаторлар тажрибавий тадқиқот қилинган. Тадқиқот  $Re=1800\div 10000$ ,  $l/d=0,17\div 2,67$ ;  $d_0/d=0,8\div 0,92$  оралиқларда амалга оширилган.

[17] ишда сув ва сув-глицерин эритмасининг оқимида  $Re=1600\div 63000$ ,  $l/d=0,5\div 2$ ;  $d_0/d=0,88\div 0,98$  оралиғида олиб борилган.

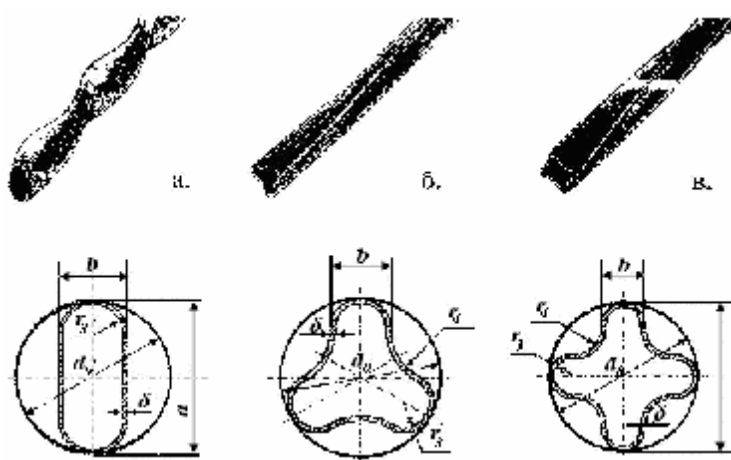
Иссиқлик бериш коэффициентларининг нисбатини  $\alpha/\alpha_t$ , қаршилиқлар коэффициентларининг нисбатини  $x/x_m$ , шунингдек,  $H=ax_m/a_mx$ , нисбатини  $Re$  сонига боғлиқлиги турбулизаторларни қўллаш самарадорлигини сифат томонлама тавсифлайди ва  $H=f(Re)$ ,  $a/a_m=f(Re)$  ва  $x/x_{zn}=f(Re)$  графиклар шаклида ифодаланган [18].  $Re<2000$  бўлганда ҳалқали турбулизаторларни қўллаш мақсадга мувофиқ эмас, шунингдек бунда ламинар оқим ҳалқани силлиқ ювиб ўтади ва уярма ҳосил бўлмайди, натижада ламинар оқимни

турбулизацияланиши кузатилмайди, бу эса иссиқлик бериш жараёнини жадаллашишига салбий таъсир кўрсатади.

Ҳалқали турбулизаторларнинг асосий камчиликларига уларни узун в ингичка қувурларда ўрнатиш қийинлиги ҳисобланади. Амалиётда фақатгина қувурларни ташқи қисми қўлланилади.

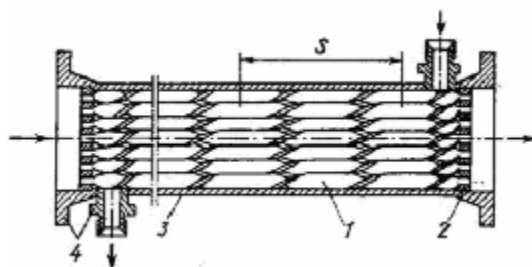
### 1.3. Буралган қувурлар ёрдамида иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш.

Буралган қувурлар турли мақсадларда қўлланиладиган иссиқлик алмашинуви қурилмалари кенг қўлланилади. Бундай қувурларнинг кўндаланг кесими, учбурчакли ёки тўртбурчакли бўлиши мумкин (1.2-расм). Одатда қувурлар, қувурлар дастасига йиғилади ва иссиқлик алмашинуви қурилмасининг корпусига жойлаштирилади. Шундай қилиб, ҳар қувурнинг ичидаги оқим ва қувурлараро бўшлиқдаги оқим гирдобланади ва иссиқлик алмашинувининг жадаллашиши юқори даражада бўлади.



1.3-расм. Яқка буралган қувурлар.

Овалсимон (а), учбурчакли (б) ва тўртбурчакли (в).



**1.4-расм.** Винтсимон буралган қувурлардан тайёрланган қоплама қувурли  
иссиқлик алмашинуви қурилмаси.

1-қувур; 2-қувурлар тахтаси; 3-қоплама; 4-иссиқлик алмашинувчи муҳитни  
киритувчи ва чиқарувчи коллекторлар.

Буралган қувурлар ёрдамида ҳосил қилинган қийин шаклли каналларда  
иссиқлик алмашинуви ва гидродинамик жараёнларнинг хусусиятлари ушбу  
тўпламнинг конструктив хусусиятларидан аниқланади [19]. 1.4-расмда  
қувурининг кўндаланг кесими овал шаклида бўлган буралган қувурлардан  
тайёрланган қоплама қувурли иссиқлик алмашинуви қурилмаси схематик  
тасвирланган, буралган қувурларнинг охири текис ҳалқали бўлиб, улар  
қувурлар тахтасига маҳкамланган [20].

Бурлаган қувурлар дастасининг энг асосий геометрик параметрлари  
бўлиб, уларга қурилмаларнинг буралиш қадами  $s$ , қувур овал кесимининг  
максимал ўлчамига мос келадиган диаметр  $d$  ва ҳоказо.

Буралган қувурлар тизимида иссиқлик алмашинуви ва  
гидродинамикани тажрибавий ва назарий тадқиқот қилишнинг натижалари  
[19,21] ишларда тўлиқ келтирилган.

[19] ишда бурама қувурлар ичидан оқиб ўтганда гидравлик қаршилик  
ва иссиқлик алмашинуви тажрибавий тадқиқот қилинган. Тажрибалар иккита  
буралган қувурда олиб борилган бўлиб, уларнинг нисбий қадами  $s/d=6,2$  ва  
12,2 ва қуйидаги ораликда амалга оширилган  $Re=7 \cdot 10^3 \dots 2 \cdot 10^5$ ,  
 $T_c/T_n=1,08 \dots 1,9$ .

Овалсимон буралган қувурдаги гидравлик қаршилик изотермик оқимда  
тадқиқот қилинган.

Тажриба натижалари  $Re$  сонининг тадқиқот қилинган соҳаларида  
қуйидаги боғлиқлик билан умумлаштирилади:

$s/d=6,2$  учун

$$x = 0,26 Re^{-0,18} \quad (1.5)$$

$s/d=12,2$  учун

$$x = 0,175 Re^{-0,18} \quad (1.6)$$

Айлана қувурлар учун умумлаштирилган боғлиқлик қуйидаги кўринишда бўлади [22, 23]:

$$x = 0,316 \left[ 1 + 3,237 \left( \frac{s}{d} \right)^{-0,81} \right] Re^{-0,25} \quad (1.7)$$

Овалсимон кесимли бурама қувурларнинг ичидаги гидравлик қаршилик бўйича олинган гидравлик қаршиликлар қуйидаги боғлиқлик билан умумлаштирилиши мумкин:

$$x = \frac{0,71}{Re^{0,2}} \left( \frac{d_3}{D} \right)^{0,27} - 0,008 \left( \frac{D}{d_3} \right)^{0,67} \quad (1.8)$$

Иссиқлик алмашинуви стабиллашган ҳолда қувурнинг узунлиги бўйича маҳаллий иссиқлик бериш қуйидаги ифода билан умумлаштирилади:

$s/d=12,2$  учун

$$Nu = 0,025 Re^{0,8} Pr^{0,4} y^{-(0,22+0,0023x/d_3)} \quad (1.9)$$

$s/d=6,2$  учун

$$Nu = 0,0294 Re^{0,8} Pr^{0,4} y^{-0,17} \quad (1.10)$$

Ишчи жисми ҳаво бўлган тадқиқот ишида олинган натижалар 10% гача аниқлик билан қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$Nu = 0,072 Re^{0,76} Pr^{0,4} (T_c / T_n)^n (d_3/D)^{0,16} \quad (1.11)$$

$s/d=6,2 \dots 16,69$ ,  $Re=6 \cdot 10^3 \dots 10^5$ ,  $T_c/T_n=1 \dots 1,55$  параметрлар оралиғида иссиқлик бериш [23] ишда тадқиқот қилинган бўлиб, у қуйидаги боғлиқлик билан умумлаштирилади:

$$Nu = 0,019 \left[ 1 + 0,547 \left( \frac{s}{d} \right)^{-0,83} \right] Re^{0,8} \quad (1.12)$$

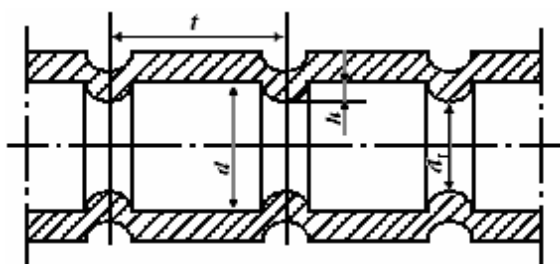
Буралиш қадами  $s/d=12,2$  учун (1.12) боғлиқлик бўйича Nu сонини ҳисоблаш 9,6% гача аниқлик беради,  $s/d=6,2$  учун эса 20,3% ни ташкил этади.

[24] ишда  $s/d=6,5$ ,  $Re=2 \cdot 10^4 \dots 2 \cdot 10^5$ ,  $T_c/T_n=1 \dots 1,6$  параметрли ораликда иссиқлик бериш қуйидаги боғлиқлик билан умумлаштирилади:

$$Nu = 0,0182 Re^{0,8} \left( \frac{T_{\text{н}}}{T_{\text{р}}} \right)^{-0,55} \exp \left[ 1,95 \left( \frac{T_{\text{н}}}{T_{\text{р}}} - 1 \right)^2 \right] \quad (1.13)$$

#### 1.4. Қувурни накаткалаш ёрдамида иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш.

Қувурчали иссиқлик алмашинуви қурилмаларида қувурни накаткалаш орқали иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш усули Москва авиация институти (МАИ) да Э.К. Калинин, Г.А. Дрейцер, Е.В. Дубровский, С.А. Ярхо, Г.И. Воронин [25, 6] лар томонидан ишлаб чиқилган. Таклиф этилган усулнинг моҳияти қуйидагича: накаткалаш ёрдамида қувурнинг ташқи юзасига даврий жойлашган ҳалқали бўртиқлар ҳосил қилинади (1.5-расм). Бунда қувурнинг ички юзасида рагон шаклли ҳалқали диафрагмалар ҳосил бўлади. Ҳалқали диафрагмалар ва бўртмалар девор олди қатламидаги оқимни турбулизациялайди ва қувурнинг ички ва ташқи томонида иссиқлик алмашинуви жадаллашишини таъминлайди. Шунингдек бунда тўпламнинг ташқи диаметри ошмайди ва иссиқлик алмашинуви қурилмаларини йиғишнинг олдинги технологияси ўзгармайди.



1.5-расм. Ҳалқали накаткали қувурнинг кўндаланг қирқими.

Қувурларни накаткалашнинг таклиф этилган усулини амалга ошириш қийин эмас. Накаткани амалга ошириш нархи қувур нархининг бир неча фоизини ташкил этади. Накаткаловчи дастгоҳнинг унумдорлиги 2 м/дақиқа. Махсуслаштирилган дастгоҳнинг унумдорлиги эса 9 м/дақиқа.

Таклиф этилган ҳалқали турбулизаторли қувурлар газ ва суюқликда ишловчи мосламаларда, иссиқлик ташувчиларнинг қайнашида ва конденсацияланишида қўлланилади, шунингдек амалиётда қўллашда



универсалликни таъминлайди. Шундай қилиб, ҳалқали турбулизаторли қувурлар барча талабларни қониқтиради, бу эса уларни амалиётда кенг қўллаш имконини беради.

Шуни таъкидлаш керакки, ушбу қувурларда биринчи мартаба илгари ноъмалум бўлган қонуният, яъни ажбурий конвекция шароитида оқимнинг дискрет турбулизацияланишида канал даврларида иссиқлик беришнинг ўзгариши кашф этилди, яъни турбулизаторларнинг белгиланган қўламдаги ўлчамида ва жойлашувида иссиқлик беришнинг ўсиши гидравлик қаршилиқнинг ўсишидан катта бўлади.  $Nu/Nu_m > x/x_m$  муносабатни амалиётга жорий этиб фойдаланиш натижасида, иссиқлик алмашинуви қурилмасининг белгиланган қувватида ва гидравлик қаршилигида нафақат мосламанинг ҳажми камаяди, балки унинг кўндаланг кесими майдони қисқаради.

Ҳалқали турбулизаторли қувурлар учун Рейнольдс сонига боғлиқ ҳолда иссиқлик бериш ва гидравлик қаршилиқ коэффициентларини аниқлаш учун турбулизаторларнинг жойлашиш қадами ва баландлиги  $d/D$  учун умумлаштирувчи боғлиқликлар олинган [26-30]. Барча келтирилган боғлиқликларда ҳалқали турбулизаторли қувурларда ва қувурлар тўпламида иссиқлик бериш коэффициенти аниқлашда иссиқлик алмашинуви юзасининг ошиши ҳисобга олинмаган, яъни иссиқлик оқимининг зичлиги текис қувурларнинг ўтиш кесими бўйича аниқланади.

Равон кўндаланг ҳалқали накаткали қувурларда газларнинг (ҳаво, сульфат кислота, гелий) ва суюқликларнинг (сув, сув-глицерин аралашмаси) оқиб ўтишида иссиқлик бериш гидравлик қаршилиқ тадқиқот қилинган.

Тадқиқот кенг қўламда қуйидаги параметрлар бўйича амалга оширилган:  $Re=1,5 \cdot 10^3 \div 4 \cdot 10^5$ ,  $Pr=0,7 \div 50$ ,  $d/D=0,83 \div 1$ ;  $t/D=0,25 \div 10$ ;  $y=0,13 \div 1,6$  газлар учун ва  $m_f/m_w=1 \div 2,5$  суюқликлар учун.

Газларни қиздириш ва совутишда ( $y=0,13 \div 1,6$ ) ўртача иссиқлик бериш коэффициенти ҳисоблаш (1.14) ва (1.16) формулалар бўйича амалга

оширилади, тажриба натижалари  $Re$  кўламида  $\pm 12\%$  аниқлик билан умумлаштирилади:

$d/D=0,88\div 0,98$  ва  $t/D=0,25\div 0,8$  бўлганда

$$\frac{Nu}{Nu_0} = \left( 1 + \frac{\lg Re - 4,6}{35} \right) \left\{ 3 - 2 \exp \left[ \frac{-18,2(1 - d/D)^{1,13}}{(t/D)^{0,326}} \right] \right\} \quad (1.14)$$

$d/D=0,88\div 0,98$  ва  $t/D=0,8\div 2,5$

$$\frac{Nu}{Nu_0} = \left( 1 + \frac{\lg Re - 4,6}{30} \right) \left[ \left( 3,33 \frac{t}{D} - 16,33 \right) \frac{d}{D} \right] + \left( 17,33 - 3,33 \frac{t}{D} \right) \quad (1.15)$$

Иккала формула ҳам  $Re$  газнинг ҳарорати бўйича аниқланади.

$d/D=0,90\div 0,97$  ва  $t/D=0,5\div 10$  бўлганда қуйидаги формуладан фойдаланиш мумкин

$$\frac{Nu}{Nu_0} = \left( 1 + \frac{\lg Re_w}{7,45} \right) \left( 1 - 0,25 \sqrt{1 - \frac{d}{D}} \right) \exp \left[ \frac{9(1 - d/D)}{(t/D)^{0,58}} \right] \quad (1.16)$$

бу ерда  $Re_d$  девор ҳарорати бўйича аниқланади.

(1.14) ва (1.16) формулаларда  $Nu_0$  қуйидаги боғлиқликлар бўйича аниқланади:

газларни қиздиришда

$$Nu_0 = 0,0207 Re_w^{0,8} Pr_w^{0,43} \quad (1.17)$$

газларни совутишда

$$Nu_0 = 0,0192 Re_w^{0,8} Pr_w^{0,43} \quad (1.18)$$

ҳаво учун

$$Nu_0 = 0,018 Re^{0,8} \quad (1.19)$$

Гидравлик қаршиликлар бўйича олинган натижалар  $Re=10_4\div 4\cdot 10^5$  кўламида  $\pm 12\%$  аниқлик билан қуйидаги боғлиқликлар ёрдамида умумлаштирилади:

$d/D=0,90\div 0,97$  ва  $t/D=0,5\div 10$  бўлганда

$$\frac{x}{x_0} = \left[ 1 + \frac{100(\lg Re - 4,6)(1 - d/D)^{1,65}}{\exp(t/D)^{0,3}} \right] \exp \left[ \frac{25(1 - d/D)^{1,32}}{(t/D)^{0,75}} \right] \quad (1.20)$$

$d/D=0,88\div 0,98$  ва  $t/D=0,5$  бўлганда

$$\frac{x}{x_0} = \left( 1 + \frac{\lg Re - 4,6}{3,4 Re / 10^5 + 6} \right) \left( 1,3 - \sqrt{\frac{d}{D} - 0,93} \right) \exp \left[ 20,9 \left( 1 - \frac{d}{D} \right)^{1,05} \right] \quad (1.21)$$

$d/D=0,88\div 0,98$  ва  $t/D=0,5$  бўлганда

$$\frac{x}{x_0} = \left[ 1 + \frac{\lg Re - 4,6}{6 (Re / 10^5)^{0,33}} \right] \left( 3 \frac{d}{D} - 2 \left( 2,5 - 1,5 \frac{d}{D} \right) \exp \left[ 17 \left( 1 - \frac{d}{D} \right)^{0,858} \right] \right) \quad (1.22)$$

(1.20) формулада  $x_0$  куйидаги боғлиқликдан аниқланади:

$$x_0 = 0,3164 / Re^{0,25} (m_f / m_w)^{n_0} \quad (1.23)$$

бу ерда  $n_0=0,14$  газларни қиздиришда,  $n_0=0$  газларни совутишда ва  $n_0=1,3$  суюқликларни қиздиришда.

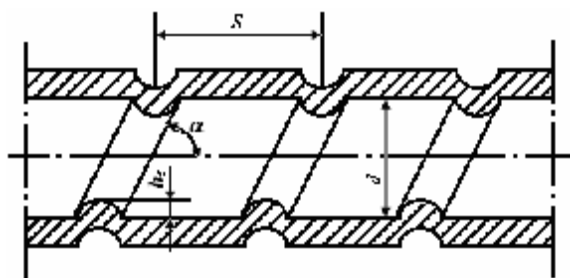
(1.21) ва (1.22) формулаларда  $x_0$  куйидаги боғлиқлик бўйича аниқланади

$$x_0 = 0,182 / Re^{-0,2} \quad (1.24)$$

Ўхшаш ҳолда [6] ишда гидравлик қаршиликлар учун ҳисобий боғлиқликлар келтирилган.

### 1.5. Спирал накатка ёрдамида иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш.

Ички спирал накатка иссиқлик алмашинуви қурилмаларида кенг қўлланилади. Накатка токарлик дастгоҳида амалга оширилади. Табиийки амалиётда массавий ишлаб чиқаришда тайёрлаш жараёни модернизацияланиши мумкин ва бундай қувурлар роликли машинади ёки бошқа усул билан тайёрланиши мумкин. Ички спирал накатканинг кўндаланг қирқими 1.6-расмда келтирилган.



1.6-расм. Винтсимон накаткали қувурнинг умумий кўриниши.

Узлукли бўртмалар ёрдамида иссиқлик беришни жадаллаштириш турбулизациялаш ва оқимнинг девор олди зоналарини бузиш ҳисобига амалга оширилади. Иссиқлик алмашинувини жадаллаштирувини ва гидравлик қаршиликни ортиши бўртманинг баландлиги  $h_s$ , бўртмалар орасидаги масофа  $S$ , бўртмалар шаклига ва уларнинг ўзаро жойлашувига боғлиқ [33].

Шуни таъкидаш жоихки, ҳалқали ва винтсимон накаткали қувурларда иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш катор афзалликларга эга [33]:

1) қувурнинг ташқи юзасида накаткалани ёрдамида ҳосил қилинадиган уймалар иссиқлик ташувчиларнинг қувурлараро оқимида иссиқлик алмашинувини жадаллаштиради;

2) накаткалани технологияси содда;

3) қоплама қувурли иссиқлик алмашинуви қурилмасини йиғишнинг амалдаги технологиясини накаткаланган қувурлар учун тўлалигича қўллаш мумкин;

4) кам ҳаражатли (накаткалани нархи текис қувур нархининг бир неча фоизини ташкил этади [14]);

5) қўшимча металл сарфи талаб этилмайди.

Ре сонининг катта қийматларида оқимнинг турбулентли ғалаёнланиши каналнинг марказига тўғри келади ва иссиқлик бериш жараёнига кам таъсир кўрсатади. Шунингдек  $Re=10^4 \div 10^5$  учун бўртманинг оптимал баландлиги  $0,02 < h_s/d < 0,1$ , оптимал қадами эса  $10 < s/h_s < 25$  оралиқда бўлади [7, 8].

Спиралсимон бўртмаларни қўллаш натижасида каналларда иссиқлик алмашинувини жадаллаштиришнинг тадқиқотини кўрсатишича думалоқ қувурларда энг юқори самарадорлик  $s/h_s=10 \div 15$  бўлганда ёки оқимни буралиши  $\alpha_0=50 \div 60^\circ$  да амалга ошади. Бунда  $tg \alpha_0 = pd/S$ .

Спирал қовурғали қувурларни, винтсимон накаткали қувурларни ва пружинали спиралсимон ўрнатмалли қувурларни қўлланилиш соҳалари деярли бир хил. Иссиқлик алмашинувини жадаллаштиришда юзага келадиган

самаралар ҳам деярли бир хил. Лекин [11, 14] ларда кўрсатилишича винтсимон накатка шаклидаги жадаллаштиргичнинг шакллари камаяди ва бўртма билан қизиётган қувур юзаси орасидаги контактни ёмонлашиши юзага келмайди, бу айниқса пружинали ўрнатмалардан фойдаланишда содир бўлади.

[6] да ушбу жадаллаштириш усулининг самарадорлиги қайд қилинган  $Re=6 \cdot 10^3 \div 3 \cdot 10^5$  кўламида самара ёки текис қувур билан солиштирилганда иссиқлик алмашинувининг жадаллашишини ошириши 50% га етади.

[1] ишда ички спирал накатка иўлиқ тадқиқот қилинган. Гидравлик диаметри  $d_3=16$  мм,  $l/d=50$  бўлган 6 та қувурда тадқиқот олиб борилган, бунда иссиқлик алмашинувининг стабиллашган шароити таъминланади. 4 та бир йўлли қувурлар, уларда спирал қадами  $H/d_3=1,25; 2,5; 3,8; 5$ ;  $h/d_3=0,25$ , битта икки йўлли қувур, унда спирал қадами  $H/d_3=3,9$  ва битта тўрт йўлли қувур, унда спирал қадами  $H/d_3=4,0$ ;  $h/d_3=0,25$  бўлган қувурлар тадқиқот қилинган.

Иссиқлик алмашинуви ва гидравлик қаршиликбўйича тажриба натижалари  $Nu/(0,02Re^{0,8})=f(Re)$  ва  $\chi=f(Re)$  графиклар шаклида ифодаланган. Қаршиликларни енгишга сарфланган солиштира қувват текис қувур билан тенг бўлганда, иссиқлик сиғимининг ошириши тахминан 20% ни ташкил этади. Ушбу иссиқлик сиғимининг ортиши [2] ишда олинган, унда ўхшаш накаткали қувур тадқиқот қилинган. Иссиқлик алмашинуви бўйича тажриба натижалари қуйидаги формула бўйича умумлаштирилади:

$$Nu = 0,03 Re^{0,75} (2,05 - 0,114H / d_3) \quad (1.25)$$

ушбу формула  $1,25 < H/d_3 < 5$ ;  $h/d_3=0,25$ ;  $6 \cdot 10^3 < Re < 5 \cdot 10^4$  кўламда мақсадга мувофиқ, энг яхши натижалар бир йўлли накаткали қувурлар учун  $H/d_3=3$  да олинган.

Уч йўлли накаткали қувурдан сув турбулент режимида оқиб ўтганда тажриба натижалари қуйидаги тенглама ёрдамида умумлаштирилади:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} (Pr_f / Pr_w)^{0,25} [1 + 4,6 \exp(-0,82s / D - 0,028h / D)]^b \quad (1.26)$$

бу ерда  $b = (Re/6 \cdot 10^4)^a$ ,  $a = 0,1 - 0,3 \exp(-0,02D/h)$ .

(1.25) тенглама  $Re=2 \cdot 10^4 \dots 1,6 \cdot 10^5$ ;  $Pr=2 \dots 10$ ;  $h/D=0,01 \dots 0,08$ ;  $s/D=0,75 \dots 4,5$ ;  $h/s=0,008 \dots 0,04$  кўламда олинган.

Гидравлик қаршилик диаметри 12 мм ва узунлиги 1350 мм бўлган қувурдан сувнинг оқиб ўтишида ўрганилган. Спиралсимон ариқчалар (олти йўлли) турли қадам 3 ва бұртма чуқурлиги  $h$  га эга  $Re=(3 \dots 25) \cdot 10^3$  ораликда изотермик оқимда тажрибалар натижалари қуйидаги тенглама ёрдамида умумлаштирилади:

$$\sqrt{I_{\text{н\ddot{o}}}/8} = -1/[2,46 \ln(7/Re)^m] \quad (1.27)$$

бу ерда  $m=0,83-18,61h/s$ . Спирал уймали қувурда гидравлик қаршилик текис қувурга қараганда 70% га юқори, яъни бунда уймаларда Гертлар туридаги уюрмали оқим юзага келади.

Иссиқлик алмашинуви бўйича тажриба натижалари диаметри 16 мм ва узунлиги 1500 мм бўлган қувурда олинган. Қувурнинг ички юзасига олти йўлли спиралсимон бұртмалар ҳосил қилинган, спиралсимон канаваканинг қадами  $s=60 \dots 12$  мм ва чуқурлиги  $h=0,25 \dots 0,95$  мм бұртманинг кенглиги ўзгармас ва 3,5 мм га тенг.  $Re=(6 \dots 70) \cdot 10^3$  кўламда умумлаштирувчи тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$Nu = 0,02[1 + 8,59(D/s)^{0,04}(h/D)^{0,83}]Re^{0,8} Pr^{0,43} \quad (1.28)$$

[3] ишда винтсимон накатка ёрдамида қовушқоқ ньютон суюқликларида иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш бўйича тажрибалар ўтказилган. Тадқиқот жараёнида Рейнольдс сонининг қиймати 30 дан 2000 гача ўзгаради, ишчи муҳит сифатида трансформатор мойидан фойдаланилган. Фойдаланилган қувурларнинг геометрик ўлчамлари жадвал шаклида келтирилган. Ушбу ҳолда гидравлик қаршиликни ортиши 30-60%. Иссиқлик сифимини ортиши 40-70% ни ташкил эжтади. Иссиқлик алмашинуви ва гидравлик қаршилик бўйича олинган тажриба натижалари  $Nu=f(Re)$  ва  $\chi=f(Re)$  график шаклида келтирилган.

Бир хил шароитда спиралсимон бўртмали қувурларда иссиқлик алмашинувини солиштирилганда, яъни  $Re=const$ ,  $Re=6 \cdot 10^3 \dots 7 \cdot 10^4$  бўлганда кўп йўлли бўртмалар бошқа гирдоблантиргичларга қараганда 20...25% га самаралидир.

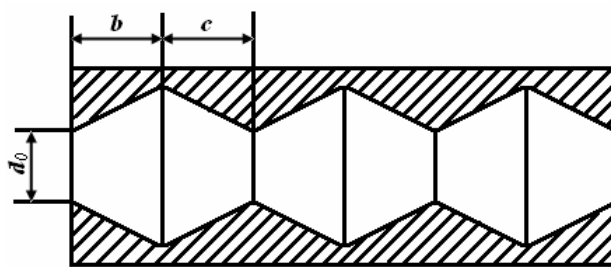
Ҳозирги вақтда бўртма қувурлар дастасидан тайёрланган иссиқлик алмашинуви қурилмалари кенг ишлаб чиқарилмоқда. Бундай мосламаларни тармоқ сув қиздиргичларида қўлланилганида жадаллаштириш самарадорлиги 5-70% га етади: бунда иссиқлик алмашинуви қурилмасининг массаси 50% га камаяди [18, 19]. [20] ишда таъкидланганидек, бўртмали қувурлар мустаҳкамлиги бўйича текис қувурлардан қолишмайди.

Спиралсимон уймали қувурларда иссиқлик алмашинувини тажрибавий тадқиқот қилиш ҳаво ва сув учун қатор ишларда [21-23] бажарилган, бунда Рейнольдс сонининг қўлами  $Re=2 \cdot 10^3 \div 10^5$ .

Спиралсимон бўртмали қувурларда оқим вақтида жадаллаштириш самараси ўтиш ва турбулент режимлар соҳасида гидравлик қаршилиқлар бир хил бўлганда текис қувур билан солиштирилганда 50% га ортади.

### **1.6. Диффузор-конфузор туридаги иссиқлик алмашинувини жадаллаштиргичлар.**

Диффузор-конфузор туридаги иссиқлик алмашинувини жадаллаштирувчи қувурлар В.К. Мигай ва П.Г. Бистровлар томонидан яратилган [4]. Бундай қувурлар диффузор-конфузор тизимида иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш имконини беради (1.7-расм). Қувурлар конфузор ва диффузор қисмлардан ташкил топган, улар махсус роликлар ёрдамида накаткалаш йўли билан тайёрланадию улар учта роликдан иборат бўлиб, уларга аниқ ўлчамлар берилгандан сўнг ишлайди. Диффузорлар ва конфузорларнинг кенгайиш бурчаклари оқимларнинг шароитидан танланади. Оқимларнинг узилиши иссиқлик алмашинувини жадаллаштиради, аммо босим ҳароратини ҳосил бўлишига олиб келмайди.



**1.7-расм.** Диффузор-конфузор туридаги қувурларнинг кўндаланг кесими.

Иссиқлик алмашинуви ва гидравлик қаршилик бўйича олинган натижалар  $Nu=f(Re)$  ва  $x=f(Re)$  графиклар шаклида ифодаланади. Графиклардан кўриниб турибдики, кўриб ўтилган қувурлар кичик қаршилик ва юқори иссиқлик алмашинуви билан тавсифланади. Қаршиликлар бир хил бўлганда иссиқлик сиғими 1,55 марта ошади.

[42] ишда ҳам диффузор-конфузор туридаги қувурлар тадқиқот қилинган. Тажрибалар сув ва ҳаво оқимида олиб борилган. Тажриба натижалари  $Nu=f(Re)$  ва  $x=f(Re)$  графиклар шаклида тасвирланган. Умулаштирувчи боғлиқлик қуйидаги кўринишни олади:

$$x = 0,755 / Re^{0,25} \quad (1.29)$$

$$Nu = 7,77 \left( \frac{D - d_0 - 2d}{b + c} \right) Re^n Pr^{0,43} \left( \frac{Pr_{жк}}{Pr_c} \right)^{0,25} \quad (1.30)$$

бу ерда  $\frac{D - d_0 - 2d}{b + c} \leq 0,2$  бўлганда,  $n = 0,8 - 0,82 \frac{D - d_0 - 2d}{b + c}$ .

Ушбу қувурларни тайёрлаш жуда осон ва ишлаб чиқаришга кенг жорий этиш мумкин. Шунингдек ушбу конструкция мустаҳкамлик нуқтаи назаридан ҳам мақсадга мувофиқдир. Юзанинг бироз эгрилиги сўрилиш нуқтаи назаридан мақсадга мувофиқ. Ушбу сифатлар билан биргаликда юқори иссиқлик техник кўрсаткичларига эга бўлган бундай қувурлар узлукли бўртмали қувурлар олдида афзалдир.



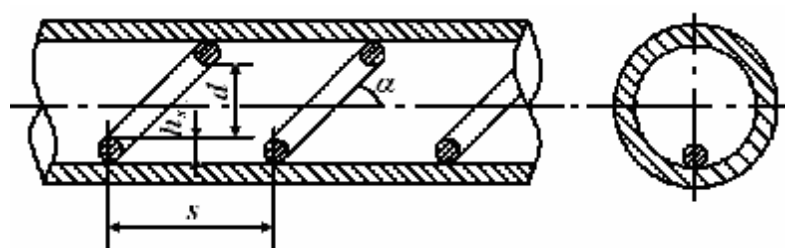
## 1.7. Спиралсимон пружина ёрдамида иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш.

Спиралсимон симли пружинкалар иссиқлик алмашинув мосламаларида кенг қўлланилади. Спиралсимон симли турбулизаторлар оқимнинг девор олди қисмини турбулизациялаб қолмасдан, балки ўқи атрофида бутун оқимни айланма ҳаракатга келтиради. Бу каби иссиқлик алмашинувини жадаллаштиргичлар қуйидаги асосий афзаллаиқлари билан тавсифланади:

- иссиқлик алмашинуви майдони ошади;
- қувур юзаси яқинидаги оқим ҳаракатланади, натижада тезлик ва ҳароратни максимал градиенти кузатилади;
- қовушқоқ ост қатлам бузилади;
- буралиш ва оқим бузилишининг биргаликдаги самарадорлиги иссиқлик алмашинуви қв гидравлик қаршилик орасидаги муносабатни яхшилайдди;
- тайёрлашда технологик томонлама соддалик.

Спиралсимон симли пружинкалар Н.В. Зозуля ва И.Н. Шкуратов [1], З. Нагаокий [2], В.М. Азарсков [3], А Клачак [4] ва бошқалар томонидан тажрибавий тадқиқот қилинган.

1.8-расмда спиралсимон симли пружинка тасвирланган.



1.8-расм. Қувур ичидаги спиралсимон пружинка.

Симли ўрнатмали қувурнинг асосий параметрлари қуйидагилар ҳисобланади: қувур диаметри  $D$ , сим диаметри  $d$ , симли ўрнатманинг қадами  $s$ , спиралнинг буралиш бурчаги  $j$ .

[5] ишда диаметри 25,2 мм ва узунлиги 1500 мм ( $l/d=59,5$ ) бўлган қувурда иссиқлик алмашинуви ва босим йўқотилиши ўрганилган. Симнинг

диаметри 2,0 дан 3,4 мм ( $d/D=0,079\dots 0,135$ ) гача, спиралнинг қадами 10 дан 66 мм гача ўзгаради. Спиралнинг буралиш бурчаги  $32^0$  дан  $76^0$  гача ташкил этади. Ишчи суюқлик сифатида Hindustan Petroleum Corp (Ҳиндистон) мойидан фойдаланилган. Тажрибалар  $Re_d=30\dots 700$  соҳада олиб борилган.

Тажриба натижалари  $Nu=f(Re)$ ,  $I_j=f(Re)$  графиклар шаклида келтирилган. тажриба натижаларининг умумлаштирилган натижалари қуйидаги тенглама бўйича ифодланади:

$$Nu_d = 1,65 \cdot \text{tg } j \cdot Re_{eq}^m \cdot Pr^{0,35} \left( \frac{m_f}{m_w} \right)^{0,14} \quad (1.31)$$

Спиралсимон пружинкали қувурда Нуссельт сонининг ортиши мой учун 1,5...4,0 ни ташкил этади, бу турбулент оқимга крагандан анча юқори.

[1] ишда трансформатор мойи оқимда спиралсимон симли пружинкалар тажрибавий тадқиқот қилинган. Тадқиқот  $Re=1800\dots 6300$  соҳада олиб борилган.

[5] ишда диаметри 8,48 мм ва узунлиги 1,22 м ( $l/d=144$ ) бўлган мис қувурда иссиқлик алмашинуви ва гидравлик қаршиликни тажрибавий тадқиқот натижалари келтирилган. Жами бўлиб, 16 та пружинали ўрнатмалар синаб кўрилган: симнинг диаметри 0,71 мм дан 2,03 мм гача, спирал қадами эса 2,82 дан 8,47 мм гача ўзгаради. Ишчи суюқлик сифатида SAE10 маркали енгил мотор мойидан фойдаланилади. Тажриба мойнинг ўртача ҳарароти  $101^0\text{C}$  дан  $106^0$  ( $Pr \approx 90$ ) гача ўзгаради.

Олинган натижалар шуни кўрсатадики, Рейнольдс сонининг тадқиқот қилинган соҳасида ( $Re_d=3 \cdot 10^3 \dots 8 \cdot 10^3$ ) қувур узунлиги бирлигида ўрамлар сонининг ортиши билан иссиқлик бериш ва гидравлик қаршилик аввал ортади сўнгра камаяди.

Иссиқлик бериш жадаллигининг энг яхши даражаси рейнольдс сони 1200 дан кам бўлганда амалга ошади (текис қувур билан солиштирилганда 2...3 марта юқори). Рейнольдс сонини ортиб бориши билан иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш даражаси камаяди ва  $Re > 6000$  бўлганда

тахминан 1,5 га тенг бўлган қийматга эга бўлади. Демак, пружинали ўрнатмалар Рейнольдс сонининг кичик қийматларида энг яхши самара беради.

А. Клачак [4] диаметри 6,8 мм ва узунлиги 240 мм ( $l/d=35$ ) бўлган мис қувурда сувнинг оқидамида иссиқлик алмашинувини тадқиқот қилган. Тажрибалар  $Re_d=1,7 \cdot 10^3 \dots 2 \cdot 10^4$  соҳада бажарилган (турбулент режим),  $Pr=2,5 \dots 9,0$ . Иссиқлик алмашинуви учун умумлаштирувчи тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$Nu_d = 1,04 Re_d^{0,54} (s/D)^{-0,29} (d/D)^{0,35} \quad (1.32)$$

(1.32) тенглама  $s/D=0,57 \dots 286$ ;  $d/D=0,1 \dots 0,22$  соҳада ўринли.

[2] ишда сувнинг оқидамида спиралсимон симли пружинкалар тажрибавий тадқиқот қилинган. Тадқиқот  $Re=4600 \div 23000$ ,  $l/d=0,26 \div 1,78$ ;  $h/d=0,0335 \div 0,15$  оралиқларда олиб борилган.

[6] ишда диаметри 25 мм ва узунлиги 1500 мм ( $l/d=60$ ) бўлган қувурда иссиқлик алмашинуви ва гидравлик қаршилик бўйича тажрибавий тадқиқотлар олиб борилган. Симнинг диаметри 2 ва 3 мм ( $d/D=0,08$  ва  $0,12$ ), спирал қадами эса 20 дан 132 мм гача ўзгаради. Спиралнинг буралиш бурчаги  $30^\circ \dots 75^\circ$  оралиғида. Турбулент режимда тажриба олиб борилган бўлиб, ишчи суюқлик сифатида 50% - ли глицерин эритмаси ва сувдан фойдаланилган ( $Re_d=3 \cdot 10^3 \dots 8 \cdot 10^5$ ).

Олинган натижаларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, турбулент оқимда иссиқлик бериш коэффициентини ортиши текис қувур билан солиштирилганда 1,3-1,5 ни ташкил этади, бу ламинар оқим режимига қараганда кам.

[3] ишда  $CaCl_2$  намақнинг оқиб ўтишида спиралсимон симли пружинка тажрибавий тадқиқот қилинган. Тадқиқотлар  $Re=1100 \div 4500$ ,  $l/d=1,63 \div 1,78$ ;  $h/d=0,0335 \div 0,15$  соҳаларда олиб борилган.

[7] ишда диаметри 13,81 мм ва узунлиги 605 мм ( $l/d=43,8$ ) бўлган қувурда иссиқлик алмашинуви ва гидравлик қаршилик тўлиқ тадқиқот

қилинган. Спиралсимон пружинкаларнинг 11 та варианты тадқиқот қилинган. Спиралсимон пружинкалар симнинг диаметри ва спирал қадами билан фарқланади:  $d=0,5\dots3$  мм,  $s=10\dots60$  мм,  $d/D=0,033\dots0,207$ , Рейнольдс сони  $4\cdot 10^3$  дан  $5\cdot 10^4$  гача ўзгаради.

Тадқиқот натижалари  $Nu=f(Re)$  и  $I=f(Re)$  график шаклида келтирилган.

[8] ишда диаметри 13,81 мм ва ўлчамсиз узунликдаги  $l/D=43,8$  қувурда иссиқлик алмашинуви ва гидравлик қаршилик тўлиқ тадқиқот қилинган. Рейнольдс сони 6000 дан 40000 гача ўзгаради. Тадқиқот қилинган спиралсимон пружинканинг асосий параметрлари жадвал шаклида келтирилган [8].

Иссиқлик алмашинуви бўйича тажриба натижалари қуйидаги формула бўйича умумлаштирилади

$$\frac{Nu}{Nu_0} = 1,85 + 2,5 \frac{2h}{d} - \frac{0,85 + 2,5(2h/d) t}{2,8 + 12,6(2h/d) d} \quad (1.33)$$

Тенглама  $0,0667 < 2h/d < 0,435$ ;  $0,75 < t/d < 4,4$ ;  $6\cdot 10^3 < Re < 4\cdot 10^4$  ораликларда ўринли.

Иссиқлик гидравлик самарадорлигини ҳисобий натижалари  $Nu=f(Re)$  и  $x=f(Re)$  график шаклида келтирилган.

Спиралсимон пружинкаларнинг энг яхши вариантини қўлланганда ва гидравлик қаршиликлар текис қувур билан солиштирилганда бир хил бўлганда иссиқлик сиғимини 40% га ошишига олиб келади.

[9] ишда спиралсимон пружинкали қувурда иссиқлик алмашинуви ва гидравлик қаршилик бўйича тадқиқот натижалари келтирилган, бунда Рейнольдс сони 4000 дан 100000 гача ўзгаради, ишчи муҳит сифатида сув ва глицериннинг 50% ли эритмасидан фойдаланилган. Тадқиқот қилинган пружиналарнинг асосий параметрлари жадвал шаклида келтирилган [9].

Шунингдек, [9] ишда спиралсимон пружинка ўрнатилган қувурда трансформатор мойи оқиб ўтишида иссиқлик алмашинуви жараёнини тадқиқот натижалари ёритилган. Рейнольдс сони  $30 < Re < 2000$ ,  $300 < Re < 675$

оралиқда ўзгаради. Каналнинг геометрик тавсифлари куйидаги соҳада ўзгаради:  $s/d=2,62 \div 0,83$ ;  $h_s/d=0,085 \div 0,14$ ;  $a_0=32 \div 61^0$ .

Спиралсимон пружинка ўрнатилган кувурда  $Nu$  сонини ҳисоблаш учун куйидаги тенглама таклфи этилган

$$\overline{Nu} = 1,65 \operatorname{tg} a (\operatorname{Re}_{De})^{0,25} (\operatorname{tga})^{-0,38} \operatorname{Pr}^{0,35} (m/m_{\text{н0}})^{0,14} \quad (1.34)$$

Спирал қадамнинг камайиши ва ўрнатманинг баландлигини ортиши билан жадаллаштириш самарадорлиги 150-400% ни ташкил этади.

[10] ишда қовушқоқ ньютон суюқликларининг ламинар режимда спиралсимон симли пружинка тадқиқот қилинган.

Ҳисобий амалиётда қўллаш учун куйидаги умумлаштирилган тенглама қўлланилади

$$\overline{Nu} = 0,23 \operatorname{Re}^{0,7} \operatorname{Pr}^{0,35} (d/D)^{0,7} (9-s/D)^{0,5} \quad (1.35)$$

Боғлиқликни қўлланилиш соҳаси:  $Re=80 \div 1200$ ;  $s/D=0,71 \div 4,3$ ;  $d/D=0,714 \div 0,171$ .

Тажрибавий ва ҳисобий четлашиш 12% дан ошмайди. Ўрнатмали кувурларда иссиқлик бериш коэффицентини геометрик параметрларга боғлиқ ҳолда 2-4,5 марта ортади. Иссиқлик алмашинуви юзаси эса текис кувур билан солиштирилганда 10-60% гача ортади. Тадқиқот натижалари  $\overline{Nu} = f(Re)$  график шаклида келтирилган.

Гидравлик қаршилик коэффиенти қийматини ҳисоблаш учун куйидаги умумлаштирилган тенгламадан фойдаланилади

$$x = \frac{530}{\operatorname{Re}^{0,36}} \left( \frac{d}{D} \right)^{1,4} \exp \left[ - \left( \frac{s}{D} \right)^{0,65} \right] \quad (1.36)$$

Тажрибавий ва назарий четлашиш 14% дан ошмайди. Боғлиқликни қўлланилиш соҳаси:  $s/D=0,71 \div 4,3$ ;  $d/D=0,071 \div 0,17$ .

Тадқиқот натижалари  $x=f(Re)$  график шаклида келтирилган. Иссиқлик самарадорлик натижалари  $\overline{Nu} / \overline{Nu}_0 = f(Re)$  ва  $x/x_0 = f(Re)$  график шаклида келтирилган.

[11] ишда спиралсимон симли гирдоблантиргичда иссиқлик алмашинуви тажрибавий тадқиқот қилинган. Тажрибалар сувнинг оқимида  $Re_d=3\cdot 10^3\div 3\cdot 10^5$  оралиқда бажарилган. Иссиқлик алмашинуви учун умумлаштирилган тенглама қуйидаги кўринишда ифодаланади:

$$\overline{Nu} = 0,175 Re^{0,7} Pr^{1/3} (d/D)^{-0,35} \quad (1.37)$$

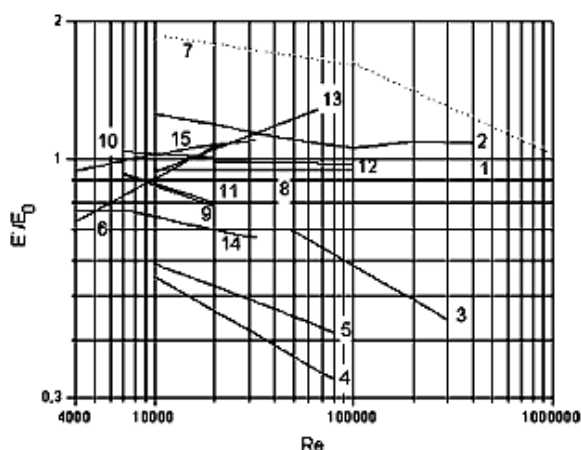
Бу турдаги турбулизаторларни кўндаланг чуқурчали турбулизаторлар билан солиштирганда спирал қадами кичик бўлганда кам яроқлидир шунингдек пружинканинг қувур билан иссиқлик контакти ишончли эмас, яъни пружина қувурнинг ички юзасига етарлича зич маҳкамланмайди, ушбу камчиликлар уларни нисбатан кичик қадамларда қўллаш самарадорлигини камайтиради.

### **1.8. Иссиқлик алмашинувини жадаллаштиришнинг турли усуллари самарадорлигини солиштириш.**

Ушбу бўлимда иссиқлик алмашинуви қурилмасининг каналларида иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш самарадорлигини баҳолаш усуллари таҳлили келтирилган. Ушбу мақсад учун энг самарали иссиқлик алмашинувини жадаллаштиргичларнинг конструкцияси ва жадаллаштириш механизмлари борасида қисқача адабиётлар шарҳи келтирилган. Янги илмий-техник маълумот келтирилган: қатор жадаллаштиргичларнинг самарадорлигини тизимлашган тавсифлари келтирилган. Иссиқлик алмашинуви қурилмасида иссиқлик алмашинувини жадаллаштиришдан фойдаланганда самарадорликни баҳолаш учун  $h = (Nu / Nu_0) / (x / x_0)$  коэффициентдан фойдаланиш тавсия этилади, уни иссиқлик алмашинуви жадаллашган ва оддий иссиқлик алмашинуви қурилмаси учун қуйидаги шаклда ҳам ёзиш мумкин  $h = E' / E'_0$  («0» индексни текис қувурли иссиқлик алмашинуви қурилмалари учун), ёки  $E' = Q / NDt$  коэффициентлар нисбати шаклида ҳам ифодалаш мумкин (Q–иссиқлик оқими, N–иссиқлик ташувчини ҳайдаш учун сарфланган қувват,  $\Delta t$ –ҳароратлар фарқи).

Иссиқлик гидравлик самарадорликнинг баҳоси турбулент (1.9-расм) ва ламинар (1.10-расм) режимлар учун алоҳида келтирилган.

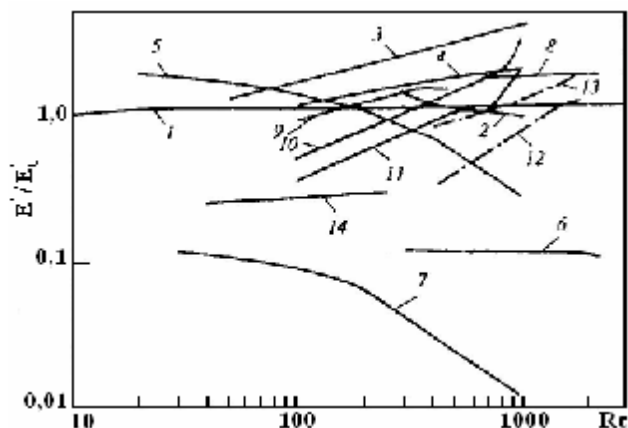
Турбулент режимда энг яхши самарадорлик кичик ҳалқали кўндаланг бўртиқли қувурда кузатилади (1.9-расмда 2 чизик). Рейнольдс сонининг  $Re=80-1000$  соҳасида максимал самарадорлик нисбатан катта баландликли ҳалқали кўндаланг бўртиқлар  $h/D \leq 0,1$  учун ҳам аҳамиятлидир (1.10-расмда 3 чизик). ушбу турдаги иссиқлик алмашинувини жадаллаштиргич бошқа турдаги жадаллаштиригичларга қараганда жуда ҳам кўп ўрганилган.



**1.9-расм.** Турбулент режимда иссиқлик алмашинувини жадаллаштиригичларнинг оптимал геометрик параметрларида самарадорликларини солиштириш: 1–текис қувур, 2–спиралсимон симли ўрнатма [Ю.Г.Назмеев ва бош.],  $h/D_K = 0,171$ ,  $t/D_K = 4,3$ ; 3–кўндаланг бўртмалар [Ю.Г.Назмеев ва бош.],  $d/D_K = 0,8$ ,  $t/D_K = 0,66$ ; 4–спиралсимон бўртмалар [Ю.Г.Назмеев ва бош.],  $d/D_K = 0,72$ ,  $t/D_K = 0,72$ ; 5–спиралсимон симли ўрнатма [Уттарвар ва бош.],  $h/D_K = 0,079$ ,  $\phi = 76^0$ ; 6–кўндаланг бўртмалар [В.В.Олимпиев],  $2h/D_K = 0,2 \div 0,24$ ,  $t/h = 25$ ; 7–диафрагмалар [В.П.Ельчинов ва бош.],  $d/D_K = 0,25$ ,  $t/D_K = 0,32$ ; 8–кўндаланг бўртмалар [Ю.В.Петровский ва бош.]; 9–спиралсимон симли ўрнатма [Н.В.Зозуля ва бош.],  $t/D_K = 6,5$ ; 10–кўндаланг бўртмалар [С.Г.Закиров ва бош.],  $h/D_K = 0,0625$ ,  $t/D_K = 0,0706$ ; 11–кўндаланг ариқчалар [С.Г.Закиров ва бош.],  $h/D_K = 0,0625$ ,  $t/D_K = 0,0706$ ; 12–сферик бўртмалар [И.А. Попов],  $h/D = 0,21$ ,  $h/H = 0,186$ ,

$H/D=1,12$ ; 13–сферик чуқурчалар [И.А. Попов],  $h/D=0,21$ ,  $h/H=0,3$ ,  $H/D=0,71$ ;  
14–спиралсимон симли ўрнатма [С.Ф.Баев].

Фақатгина оқимнинг турбулент режимида  $Re$  сонининг жуда кичик оралиғида кичик сферик бўртиқларнинг сифати кўндаланг бўртиқларга нисбатан анча яхши (1.15.1-расм, 13 чизик).



**1.10-расм.** Ламинар режимда иссиқлик алмашинувини жадаллаштиргичларнинг оптимал геометрик параметрларида самарадорликларини солиштириш: 1–теқис канал, 2–ҳалқали бўртмалар [Г.А. Дрейцер ва бошқалар]:  $t/h=50-100$ ;  $h/D_K=0,01-0,02$ ; 3–спиралли бўртмалар [Ю.Н. Боголюбов ва бош.; П.А. Савельев]:  $t/h=15$ ;  $h/D=0,04$ ; 4–қирқилмаган бўртиқли [Хан ва бош.]:  $t/h=10$ ;  $h/D_K=0,0625$ ;  $\varphi=45^\circ$ ; 5–қирқилган бўртиқли [Ханва бош.]:  $t/h=10$ ;  $h/D_K=0,0625$ ;  $\varphi=45^\circ$ ; 6–сферик бўртиқлар [А. Беркоун ва бош., П.Л. Кириллов ва бош.]:  $t/h=17$ ;  $h/D_K=0,047$ ,  $h/D=0,5$ ; 7-сферик бўртиқлар [П.Л. Кирилловва бош.; Тэйлор ва бош.]:  $t/h=16$ ;  $h/D=0,5$ ; 8–сферик бўртиқлар ва чуқурлар [А.К. Анисин]:  $h/D=0,25$ ,  $t/h=2,8$ ; 9–кичик сферик бўртиқлар [И.Л. Шрадер ва бош.]; 10–кичик сферик бўртиқлар [И.Л. Шрадер ва бош.]; 11–йирик сферик бўртиқлар [И.Л. Шрадер ва бош.]; 12–сферик бўртиқлар [Г.П. Нагога]:  $H/D_K=0,66$ ;  $h/D=0,13$ ;  $f=13\%$ ,  $h/D_K=0,025$ ; 13-сферик бўртиқлар [М.Я. Беленький]:  $t/h=1,1$ ;  $h/D=0,1$ ,  $h/D_K=0,225$ .

Ушбу пунктда келтирилган, турли хил иссиқлик алмашинувини жадаллаштиргичларнинг самарадорлигининг таҳлили шуни кўрсатадики жадаллашган каналларни саноатда қўллаш иссиқлик алмашинуви



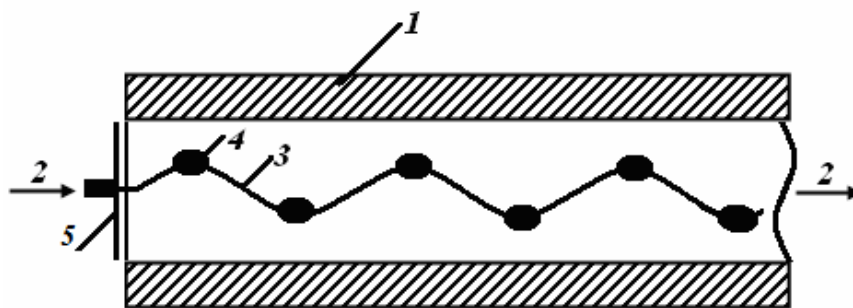
қурилмаларини иссиқлик унумдорлигини кўп марта ошишини кафолатлайди ёки текис қувурли сериявий вариантдаги иссиқлик алмашинуви қурилмалари билан солиштирилганда жадаллаштирилган иссиқлик алмашинуви қурилмаларининг металл сиғими камаяди. Демак, иссиқлик алмашинуви жадаллаштирилган қурилмани оддий қурилма билан солиштирилганда энергия тежамкорлиги ошади.

## 2. Гидродинамик жараёни экспериментал тадқиқот қилиш.

### 2.1. Локал турбулизаторлар конструкциясининг тавсифи.

“Иссиқлик энергетикаси” кафедрасида (ТошДТУ) локал турбулизаторларнинг замонавий конструкциялари ишлаб чиқилган.

Одатда локал турбулизаторлар оқимнинг тўлиқ қисмини эмас, балки керакли жойларни, масалан иссиқлик алмашинувини девор олди зоналаридаги оқимни турбулизациялайди. Ушбу ҳолда самарадор турбулизаторлардан бирининг конструкцияси қуйида келтирилган (2.1-расм).



2.1-расм. Локал турбулизаторли тажриба қувурининг схемаси.

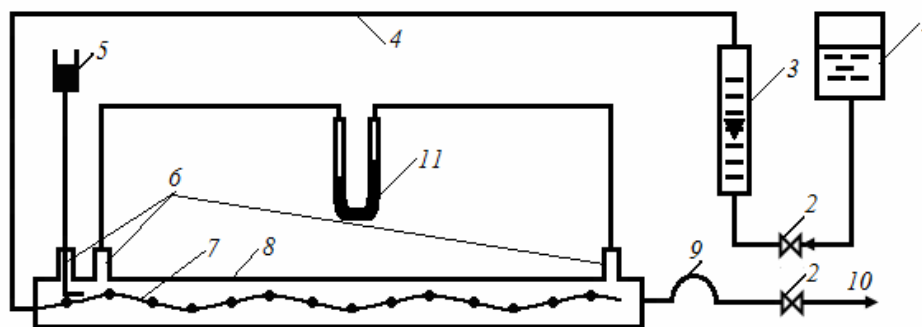
1–қувур девори; 2–сув ҳаракати йўналиши; 3–эластик зангламайдиган сим; 4–турли хил шаклдаги пустотеллар; 5–маҳкамловчи сим.

Тажриба қурилмасининг асосий элементи бўлиб, эркин шаклли ингичга эластик зангламайдиган сим 3 ҳисобланади, (2.1-расм), турбулизаторлар турли хил геометрик шаклда 4 бўлиб, полимер пустотеллардан тайёрланган ва белгиланган ораликда симни букилган жойлари маҳкамланган. Симнинг 3 бир учини охири қувурнинг кириш қисми 1 га маҳкамловчи сим 5 ёрдамида маҳкамланади, иккинчи охириги қисми бўш қолдирилади. Симнинг диаметри 0,2...0,8 мм ни ташкил этади. Сув оқими 2 полимерли пустотел элементи 4 нинг нотекис юзаларини ювиб ўтади ва симли керакли масофага чўзади, сўнгра сим 3 нинг эластиклик кучи сув оқимининг 2 зарбали кучига тенглашади, кейин полимерли пустотел 4 тезда дастлабки ҳолатига қайтади. Полимерли пустотел элементининг ҳаракат частотаси қуйидагиларга боғлиқ: сим 3 нинг эластиклигига, полимерли пустотел элементи 4 нинг массасига ва ташқи шаклига боғлиқ. Қувурларда ўрнатилган турбулизаторлар сув

оқимини турбулизациялайди, айниқса иссиқлик алмашинувини девор олди зонасида оқимни турбулизациялайди, бу эса қатламларни ҳосил бўлишига қаршилиқ кўрсатади, иссиқлик алмашинуви жадаллашади, ишончлиқ ва дастлабки сувни қиздирувчиларни тўхтовсиз эксплуатация қилиш муддати ортади. Турбулизаторларнинг конструкцияси содда, қулай ва кам ҳаражатли. Амалда сув насосларини захирада туриши шарт эмас.

## 2.2. Тажриба қурилмасининг тавсифи.

“Иссиқлик энергетикаси” кафедрасида (ТошДТУ) қувурчали иссиқлик алмашинуви қурилмаларининг қувурларида гидродинамик жараёнларни ўрганиш учун тажриба қурилмалари яратилган. Тажриба қурилмасининг принципиал схемаси 2.2-расмда келтирилган.



2.2-расм. Тажриба қурилмасининг принципиал схемаси.

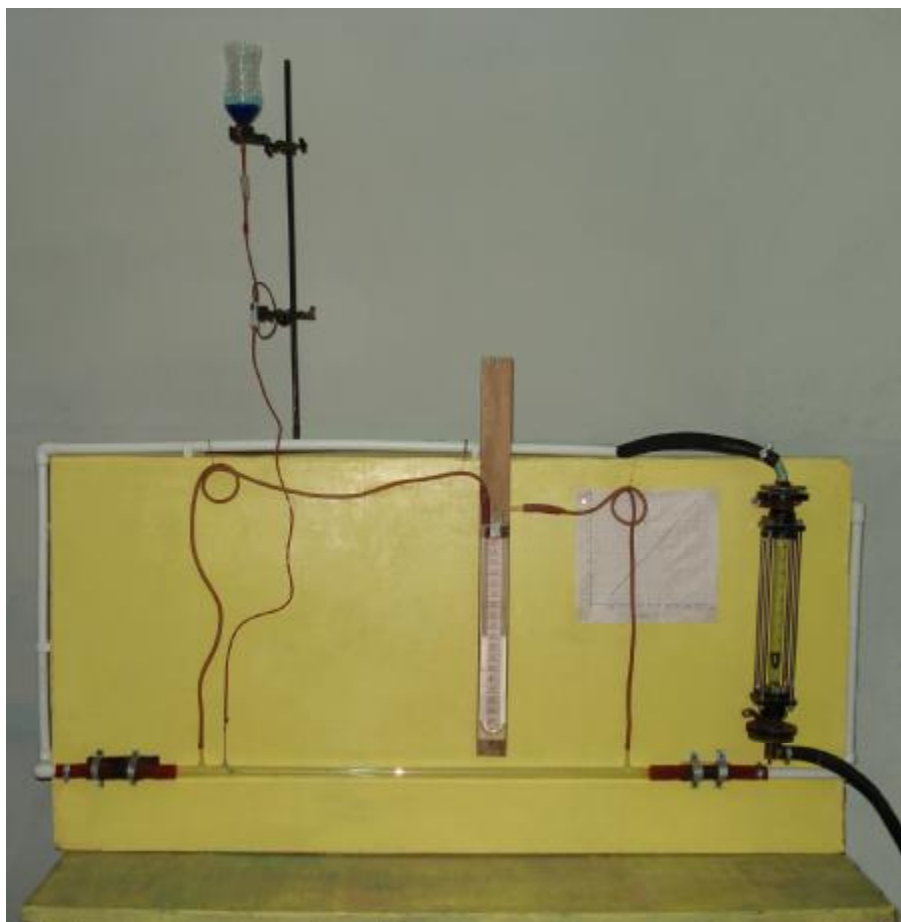
1–идиш; 2–вентил; 3–ротаметр; 4–бириктирувчи шланглар; 5–ранг тўлдирилган кичик идиш; 6–штуцерлар; 7–локал турбулизаторлар; 8 – шишадан тайёрланган ишчи қувур; 9 –гидравлик зарвор; 10 –сувнинг қурилмадан чиқиши; 11–U–симон манометр.

Тажриба қурилмаси қуйидаги тартибда ишлайди: сув идиш 1 дан узуташ қузури орқали қурилмага келтирилади. Сув сарфини ростлаш учун вентил 2 ўрнатилган. Сувнинг сарфи эса тарировкаланган ротаметр 3 кўрсаткичи орқали аниқланади.

Локал турбулизаторларнинг 7 ҳолатини ва суюқлик оқим режимини кўз билан кузатиш учун қурилманинг асосий қисми шиша қувур 8 дан тайёрланган. Қувур 8 га ранг тўлдирилган идиш 5 дан рангни қўшиб туриш

учун ва қувурда босимлар фарқини ўлчаш учун штуцерлар ўрнатилган. Босимларнинг йўқотилиги U-симон манометр 11 ёрдамида ўлчанади. Суюқлик оқимини шиша қувурнинг бутун кесими бўйича таъминлаш учун қурилманинг чиқиш қисмида гидравлик затвор 9 ўрнатилган. Тажриба тадқиқотлари саккиз турдаги локал турбулизаторлар учун олиб борилган.

Тажриба қурилмасининг умумий кўриниши 2.3-расмда келтирилган.



### 2.3. Гидродинамик жараён буйича олинган тадқиқот натижалари.

Гидродинамик тадқиқотларни ўтказиш учун қуйидаги маълумотлар берилган:

-тажриба қурилмасини ички диаметри -  $d=20$  мм.

-тажриба қурилмасини кесими

$$S_{\text{ёоооёёаӑ}} = \frac{pd_{\text{ёӑ}}^2 n}{4m} = \frac{3,14 \cdot (0,02)^2}{4} = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

-сувнинг ўртача ҳарорати,  $t_{cp} = 23^{\circ}\text{C}$ .

- $t_{cp} = 23^{\circ}\text{C}$  бўлганда сувнинг иссиқлик физик хусусиятлари:  $\lambda=0,6$  Вт/(м·с),  $\nu=1,006 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с,  $\rho=988,1$  кг/м<sup>3</sup>.

Тадқиқот тажриба қурилмасида тўққиз турдаги турбулизаторлар ёрдамида олиб борилган. Олинган тажриба натижалари жадвал кўринишида ва  $x=f(Re)$  график шаклида келтирилган. Гидравлик қаршилик коэффициентини ҳисоблаш учун қуйидаги формулалардан фойдаланилган:

-сувнинг тезлиги:

$$w = \frac{G}{S} \quad (2.1)$$

бу ерда  $G$ —сув сарфи, кг/сек;  $S$ —қувурнинг кўндаланг кесими, м<sup>2</sup>.

-Рейнольдс сони:

$$Re = \frac{wd}{\nu} \quad (2.2)$$

бу ерда  $w$ —сувнинг тезлиги, м/сек;  $d$ —қувурнинг ички диаметри, м;  $\nu$ —сувнинг белгиланган ҳароратдаги кинематик қовушқоқлиги, м<sup>2</sup>/сек.

-гидравлик қаршилик коэффициенти:

$$x = 2g \frac{\Delta h}{w^2} \cdot \frac{d}{l} \quad (2.3)$$

бу ерда  $\Delta h$ —босим йўқотилиши, Па;  $l$ —қувур узунлиги, м;  $g$ —эркин тушиш тезланиши, м<sup>2</sup>/сек.

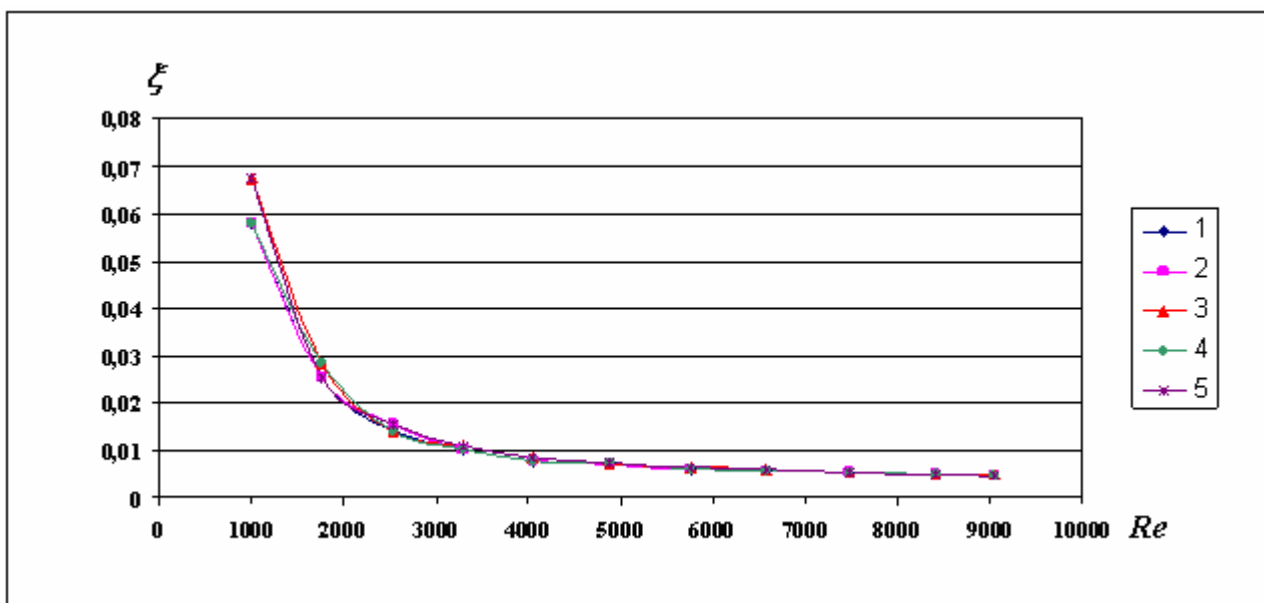
Гидравлик қаршилик коэффициентларини солиштириш учун текис қувур ҳам тадқиқот қилинган.

Қуйида тажриба тадқиқотларининг натижалари келтирилган.

### Текис қувур

№	$Re$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	Ўртача қиймат
1	1013,03	0,057771094	0,057771094	0,067399609	0,05777109	0,06739961	0,061623
2	1772,8	0,025152041	0,025152041	0,028296046	0,02829605	0,02515204	0,02641
3	2532,58	0,013865063	0,015405625	0,013865063	0,01386506	0,01540563	0,014481
4	3292,35	0,01002733	0,01002733	0,010938905	0,01002733	0,01093891	0,010392
5	4052,12	0,007823169	0,007823169	0,008424951	0,00782317	0,00842495	0,008064
6	4875,21	0,007483252	0,007067516	0,007067516	0,00748325	0,00748325	0,007317
7	5761,61	0,005953146	0,005953146	0,006250803	0,00595315	0,0062508	0,006072
8	6584,7	0,005697347	0,005697347	0,00592524	0,00569735	0,00592524	0,005789
9	7471,1	0,005133733	0,005133733	0,005310758	0,00513373	0,00531076	0,005205
10	8420,81	0,004737781	0,004877127	0,004877127	0,00487713	0,00473778	0,004821
11	9053,96	0,004821556	0,004701017	0,004821556	0,00470102	0,00470102	0,004749

### Текис қувурда гидравлик қаршиликни тадқиқот натижалари

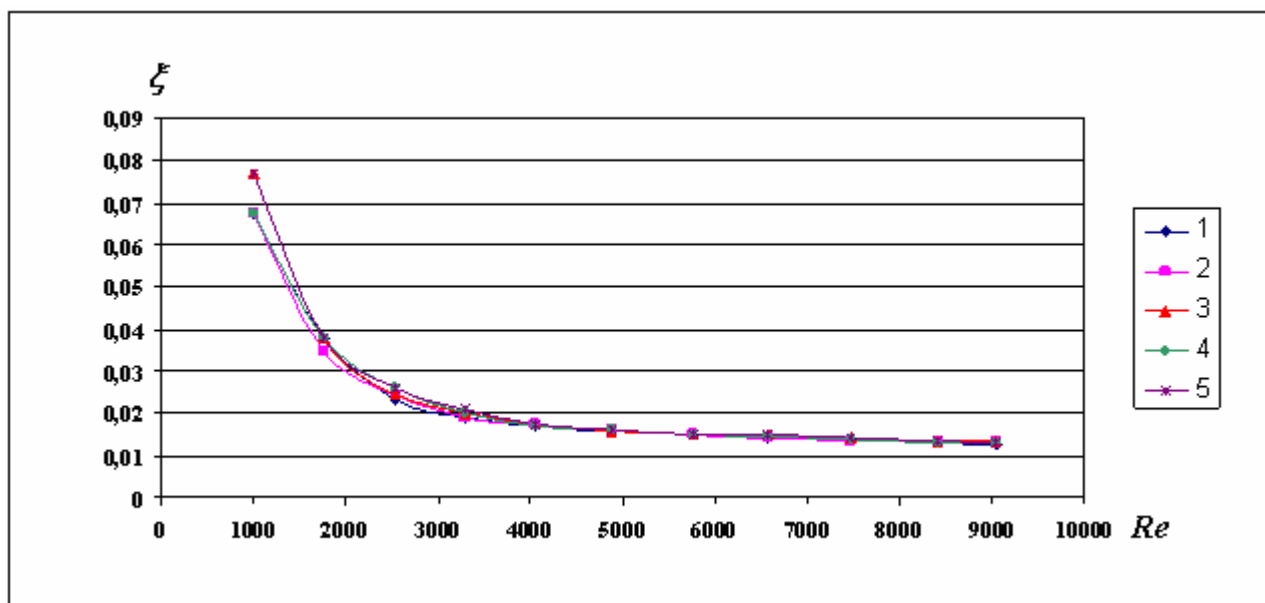


## Таблетка шаклидаги турбулизатор

Турбулизатор қадами 80 мм

№	Re	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	Ўртача қиймат
1	1013,03	0,067399609	0,067399609	0,077028125	0,06739961	0,07702813	0,071251
2	1772,8	0,037728061	0,034584056	0,037728061	0,03772806	0,03772806	0,037099
3	2532,58	0,023108438	0,024649	0,024649	0,02618956	0,02618956	0,024957
4	3292,35	0,019143084	0,019143084	0,02005466	0,02005466	0,02096624	0,019872
5	4052,12	0,016849902	0,017451685	0,017451685	0,0168499	0,01745168	0,017211
6	4875,21	0,015797976	0,016213712	0,015797976	0,01621371	0,01621371	0,016047
7	5761,61	0,015180522	0,015180522	0,015180522	0,01488286	0,01518052	0,015121
8	6584,7	0,014357313	0,014357313	0,014813101	0,01458521	0,0148131	0,014585
9	7471,1	0,013807972	0,013276896	0,014162022	0,01380797	0,01433905	0,013879
10	8420,81	0,01309857	0,013237916	0,013237916	0,01309857	0,01323792	0,013182
11	9053,96	0,012536046	0,013379818	0,013379818	0,0130182	0,0130182	0,013066

**Локал турбулизаторлар қўлланилганда гидравлик қаршиликни  
тадқиқот натижалари**

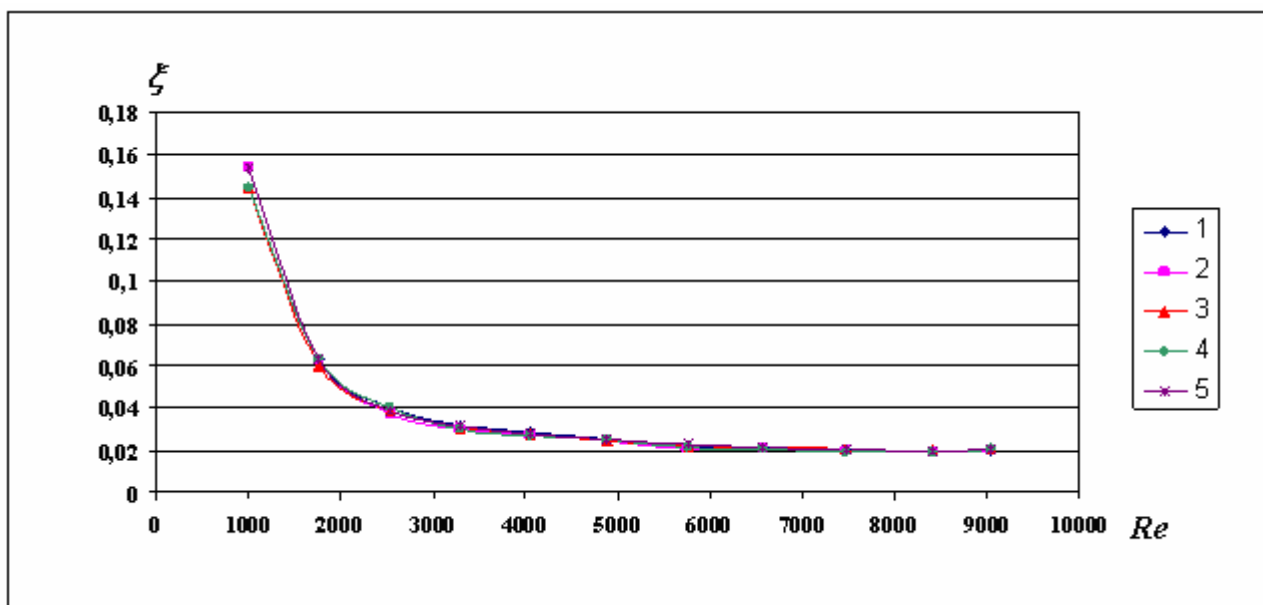


## Таблетка шаклидаги турбулизатор

Турбулизатор қадами 100 мм

№	$Re$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	Ўртача қиймат
1	1013,03	0,15405625	0,15405625	0,144427734	0,14442773	0,15405625	0,150205
2	1772,8	0,062880102	0,062880102	0,059736097	0,0628801	0,0628801	0,062251
3	2532,58	0,040054625	0,0369735	0,038514063	0,04005463	0,03851406	0,038822
4	3292,35	0,031905141	0,03008199	0,030993565	0,03008199	0,03190514	0,030994
5	4052,12	0,028283765	0,0270802	0,027681982	0,0270802	0,02768198	0,027562
6	4875,21	0,024944173	0,024528436	0,0241127	0,02494417	0,02494417	0,024695
7	5761,61	0,021431325	0,020240696	0,022026639	0,02143132	0,02262195	0,02155
8	6584,7	0,020966235	0,020738341	0,020966235	0,02051045	0,02096624	0,020829
9	7471,1	0,020534932	0,019826831	0,020180882	0,01911873	0,02018088	0,019968
10	8420,81	0,019508508	0,019229815	0,019508508	0,01909047	0,01950851	0,019369
11	9053,96	0,020009458	0,01976838	0,020250535	0,02025054	0,02049161	0,020154

**Локал турбулизаторлар қўлланилганда гидравлик қаршиликни тадқиқот натижалари**



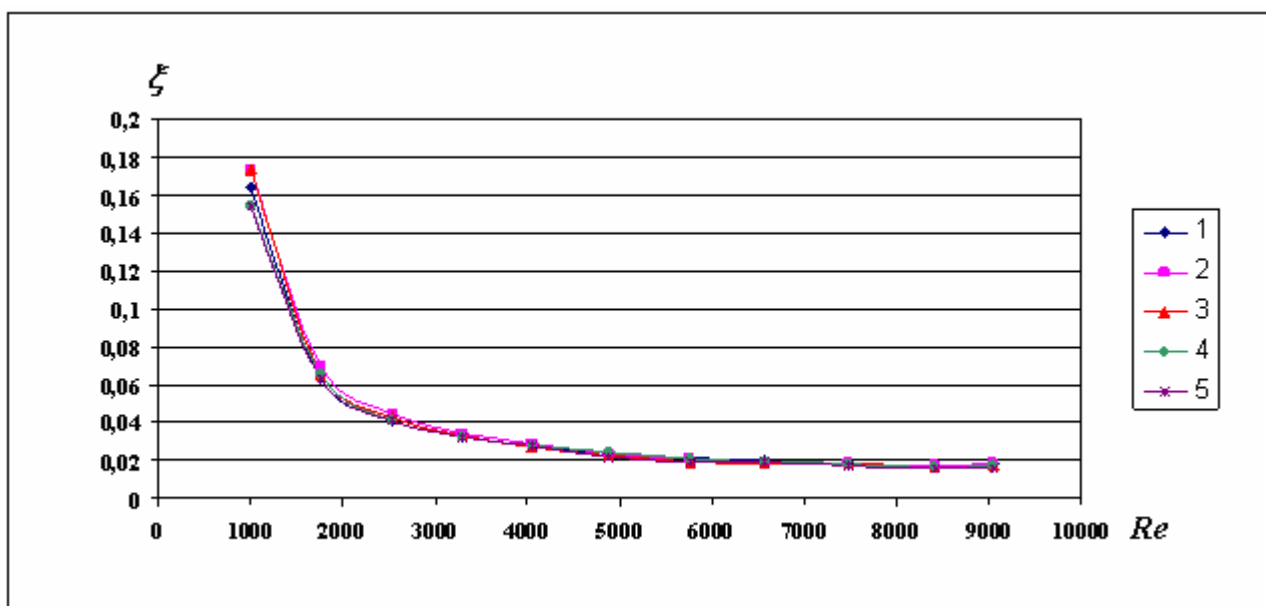


## Таблетка шаклидаги турбулизатор

Турбулизатор қадами 140 мм

№	$Re$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	Ўртача қиймат
1	1013,03	0,163684766	0,173313281	0,173313281	0,15405625	0,15405625	0,150205
2	1772,8	0,062880102	0,069168112	0,066024107	0,06602411	0,0628801	0,062251
3	2532,58	0,041595188	0,044676313	0,04313575	0,04159519	0,04159519	0,038822
4	3292,35	0,032816716	0,034639867	0,033728291	0,03281672	0,03281672	0,030994
5	4052,12	0,0270802	0,028885547	0,0270802	0,02768198	0,02768198	0,027562
6	4875,21	0,024944173	0,0241127	0,022449755	0,02494417	0,02161828	0,024695
7	5761,61	0,02083601	0,021133667	0,019645381	0,02143132	0,01964538	0,02155
8	6584,7	0,02005466	0,019598872	0,018687297	0,01914308	0,01914308	0,020829
9	7471,1	0,01876468	0,01876468	0,018056579	0,01841063	0,01770253	0,019968
10	8420,81	0,01783635	0,01783635	0,017000271	0,01700027	0,0158855	0,019369
11	9053,96	0,018321913	0,018562991	0,017839757	0,01711652	0,01591114	0,020154

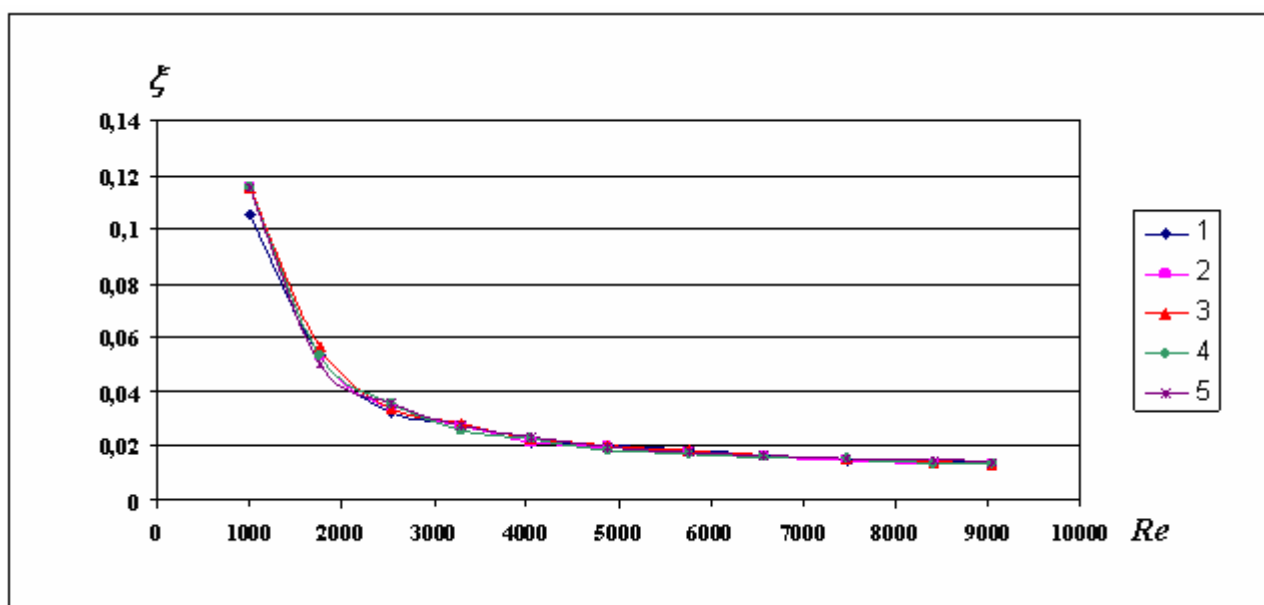
### Локал турбулизаторлар қўлланилганда гидравлик қаршиликни тадқиқот натижалари



**Лентали турбулизатор**  
Турбулизатор қаами 60 мм

№	Re	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	Ўртача қиймат
1	1013,03	0,105913672	0,115542188	0,115542188	0,11554219	0,11554219	0,113616
2	1772,8	0,053448087	0,053448087	0,056592092	0,05344809	0,05030408	0,053448
3	2532,58	0,032351813	0,033892375	0,033892375	0,03543294	0,03543294	0,0342
4	3292,35	0,027347263	0,027347263	0,028258839	0,02552411	0,02734726	0,027165
5	4052,12	0,02166416	0,02166416	0,022867725	0,02286772	0,02346951	0,022507
6	4875,21	0,020371074	0,019955338	0,020371074	0,01870813	0,01995534	0,019872
7	5761,61	0,018157095	0,01756178	0,018157095	0,01726412	0,01756178	0,01774
8	6584,7	0,016864146	0,01595257	0,016408358	0,01595257	0,01640836	0,016317
9	7471,1	0,014870124	0,014870124	0,015047149	0,01504715	0,01504715	0,014976
10	8420,81	0,014213342	0,013377263	0,014213342	0,01351661	0,01449203	0,013963
11	9053,96	0,013500357	0,013620896	0,013741435	0,01374143	0,01386197	0,013693

**Локал турбулизаторлар қўлланилганда гидравлик қаршиликни  
тадқиқот натижалари**

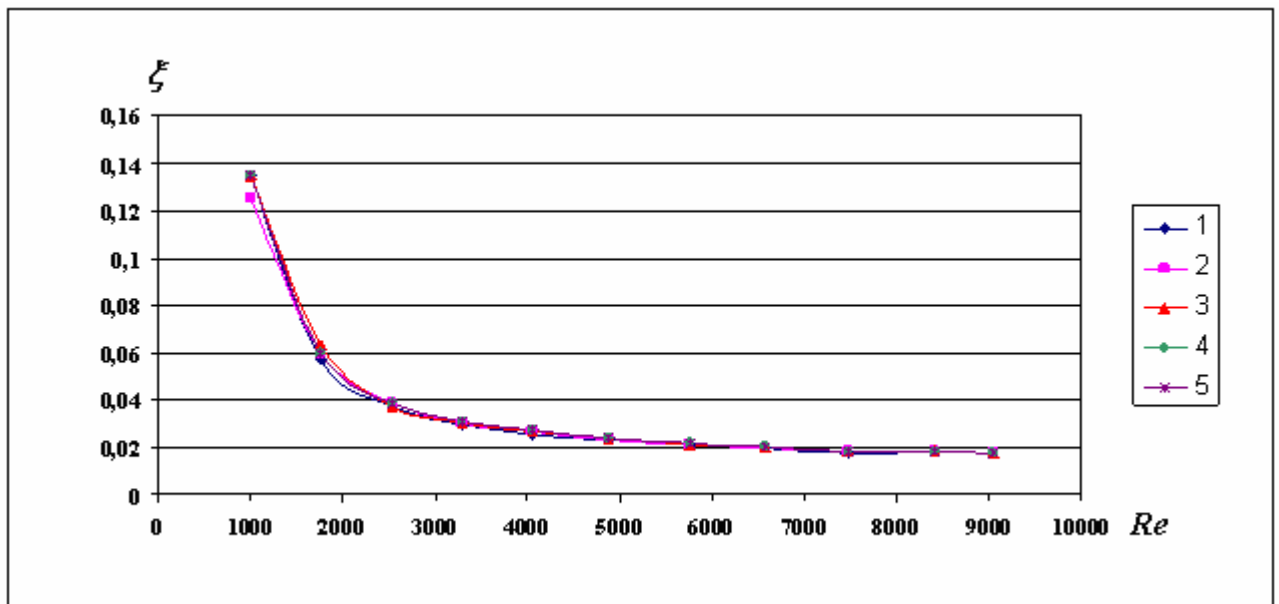


## Параллеленид туридаги турбулизатор

Турбулизатор қадами 80 мм

№	Re	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	Ўртача қиймат
1	1013,03	0,134799219	0,125170703	0,134799219	0,13479922	0,13479922	0,132874
2	1772,8	0,056592092	0,059736097	0,062880102	0,0597361	0,0597361	0,059736
3	2532,58	0,0369735	0,038514063	0,0369735	0,03851406	0,03851406	0,037898
4	3292,35	0,029170414	0,03008199	0,03008199	0,03099357	0,03099357	0,030264
5	4052,12	0,025274854	0,026478418	0,026478418	0,0270802	0,0270802	0,026478
6	4875,21	0,023281228	0,023281228	0,023696964	0,0241127	0,0241127	0,023697
7	5761,61	0,02083601	0,02083601	0,021133667	0,02143132	0,02143132	0,021134
8	6584,7	0,019598872	0,019826766	0,02005466	0,02005466	0,02005466	0,019918
9	7471,1	0,017702528	0,018056579	0,018056579	0,01841063	0,01841063	0,018127
10	8420,81	0,018115043	0,018115043	0,01825439	0,01825439	0,01839374	0,018227
11	9053,96	0,017357602	0,017357602	0,01759868	0,01747814	0,01759868	0,017478

### Локал турбулизаторлар қўлланилганда гидравлик қаршиликни тадқиқот натижалари

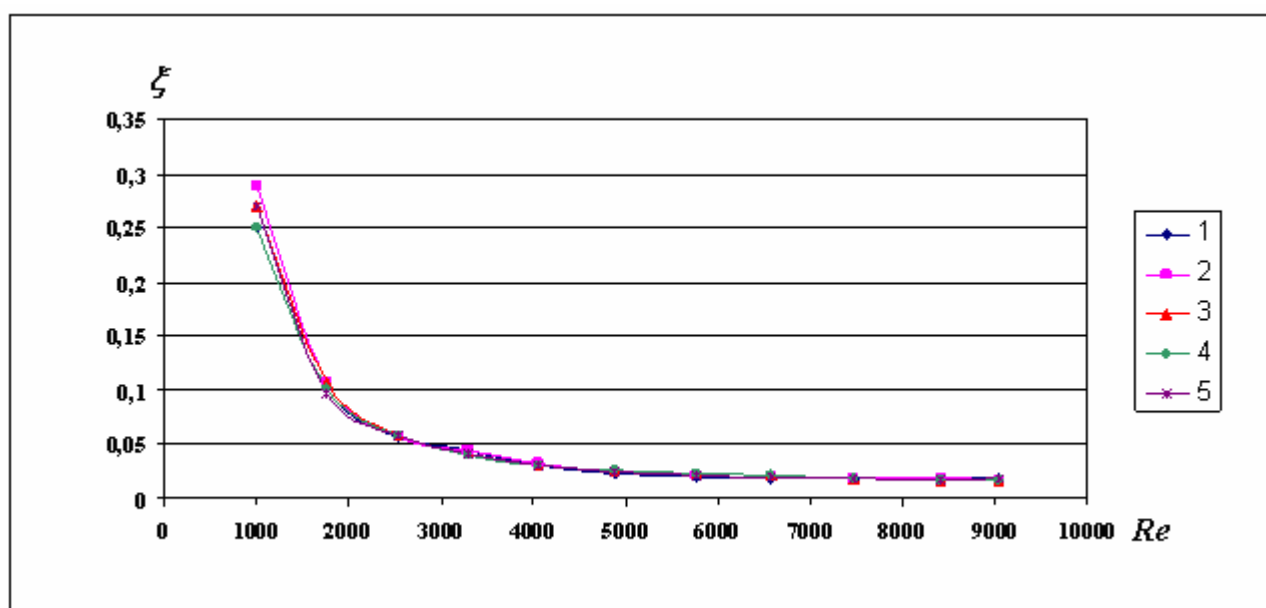


## Кесик пирамида туридаги турбулизатор

Турбулизатор қадами 80 мм

<i>№</i>	<i>Re</i>	<i>x<sub>1</sub></i>	<i>x<sub>2</sub></i>	<i>x<sub>3</sub></i>	<i>x<sub>4</sub></i>	<i>x<sub>5</sub></i>	<i>Ўртача қиймат</i>
1	1013,03	0,250341406	0,288855469	0,269598438	0,25034141	0,26959844	0,265747
2	1772,8	0,100608163	0,106896173	0,106896173	0,10060816	0,09746416	0,102495
3	2532,58	0,057000813	0,057000813	0,058541375	0,05854138	0,05854138	0,057925
4	3292,35	0,043755621	0,043755621	0,04193247	0,04010932	0,04193247	0,042297
5	4052,12	0,030089111	0,03249624	0,031292676	0,03129268	0,03008911	0,031052
6	4875,21	0,023696964	0,0241127	0,026607118	0,02577565	0,02494417	0,025027
7	5761,61	0,020240696	0,021431325	0,022621954	0,02262195	0,02143132	0,021669
8	6584,7	0,019143084	0,019598872	0,020966235	0,02096624	0,02005466	0,020146
9	7471,1	0,017702528	0,018410629	0,01876468	0,01876468	0,01876468	0,018481
10	8420,81	0,018115043	0,01783635	0,017000271	0,01727896	0,01755766	0,017558
11	9053,96	0,017839757	0,01759868	0,016634368	0,0173576	0,01783976	0,017454

### Локал турбулизаторлар қўлланилганда гидравлик қаршиликни тадқиқот натижалари

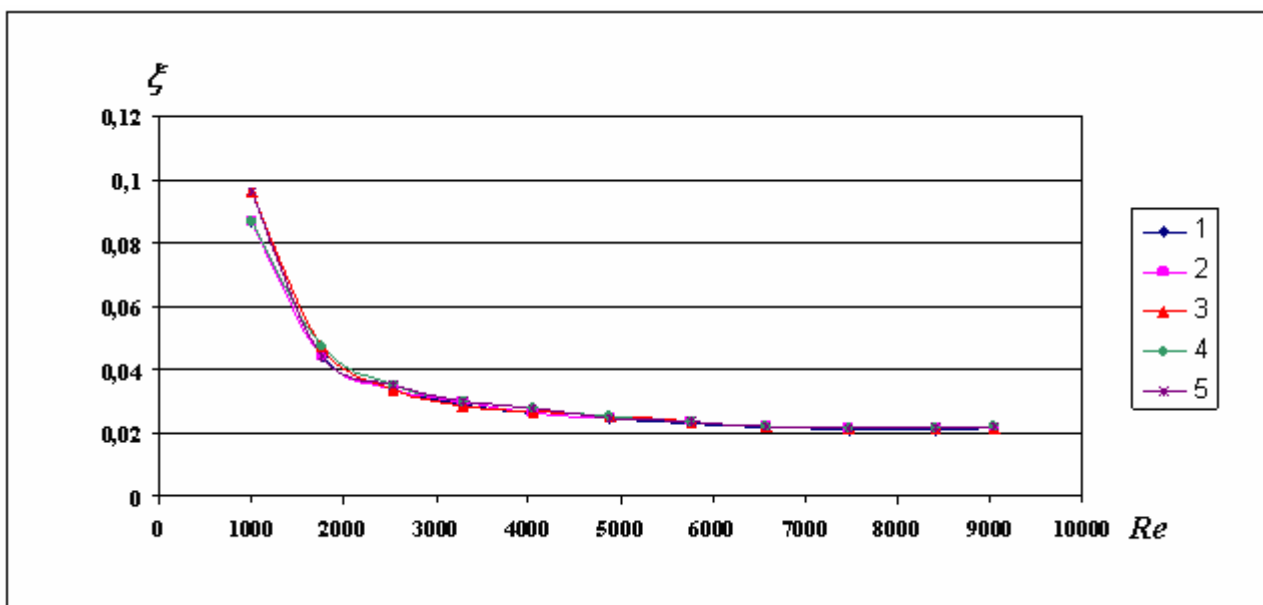


## Аралаш турдаши турбулизатор

Турбулизатор қадами 145 мм

№	Re	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	Ўртача қиймат
1	1013,03	0,086656641	0,086656641	0,096285156	0,08665664	0,09628516	0,090508
2	1772,8	0,044016071	0,044016071	0,047160077	0,04716008	0,04401607	0,045274
3	2532,58	0,033892375	0,033892375	0,033892375	0,03543294	0,03543294	0,034509
4	3292,35	0,029170414	0,03008199	0,028258839	0,03008199	0,03008199	0,029535
5	4052,12	0,026478418	0,026478418	0,0270802	0,02768198	0,02768198	0,02708
6	4875,21	0,024528436	0,024528436	0,025359909	0,02535991	0,02494417	0,024944
7	5761,61	0,022919611	0,023514926	0,023514926	0,02381258	0,02381258	0,023515
8	6584,7	0,021877811	0,022105705	0,022105705	0,0223336	0,0223336	0,022151
9	7471,1	0,021243034	0,021597084	0,021774109	0,02159708	0,02177411	0,021597
10	8420,81	0,021180666	0,021320012	0,021320012	0,02145936	0,02145936	0,021348
11	9053,96	0,021576463	0,021697002	0,021697002	0,02193808	0,02193808	0,021769

### Локал турбулизаторлар қўлланилганда гидравлик қаршиликни тадқиқот натижалари

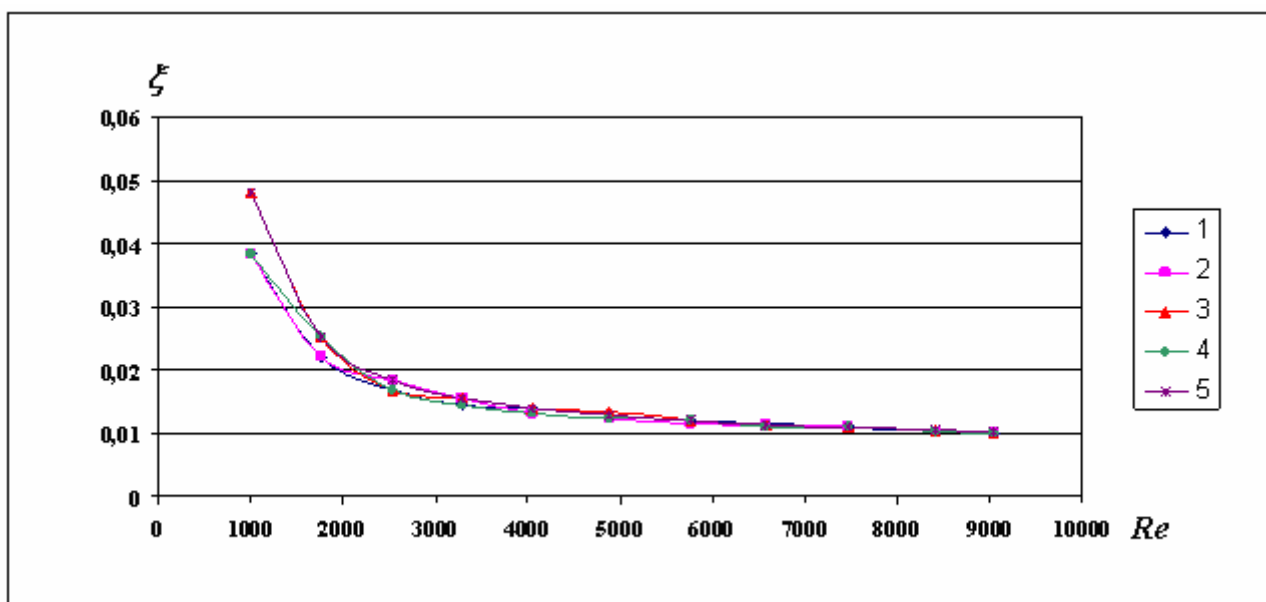


## Конус туридаги турбулизатор

Турбулизатор қадами 80 мм

№	Re	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	Ўртача қиймат
1	1013,03	0,038514063	0,038514063	0,048142578	0,03851406	0,04814258	0,042365
2	1772,8	0,022008036	0,022008036	0,025152041	0,02515204	0,02515204	0,023894
3	2532,58	0,016946188	0,01848675	0,016946188	0,01694619	0,01848675	0,017562
4	3292,35	0,014585207	0,015496783	0,015496783	0,01458521	0,01549678	0,015132
5	4052,12	0,013840991	0,013239209	0,013840991	0,01323921	0,01384099	0,0136
6	4875,21	0,012887823	0,012472086	0,013303559	0,01247209	0,01288782	0,012805
7	5761,61	0,012203949	0,011608634	0,012203949	0,01220395	0,01220395	0,012085
8	6584,7	0,011622587	0,011394693	0,011394693	0,0111668	0,01139469	0,011395
9	7471,1	0,011152593	0,010975567	0,010975567	0,01115259	0,01115259	0,011082
10	8420,81	0,010172294	0,01031164	0,010450986	0,01031164	0,01045099	0,01034
11	9053,96	0,010125268	0,010125268	0,010245807	0,01012527	0,01024581	0,010173

### Локал турбулизаторлар қўлланилганда гидравлик қаршиликни тадқиқот натижалари

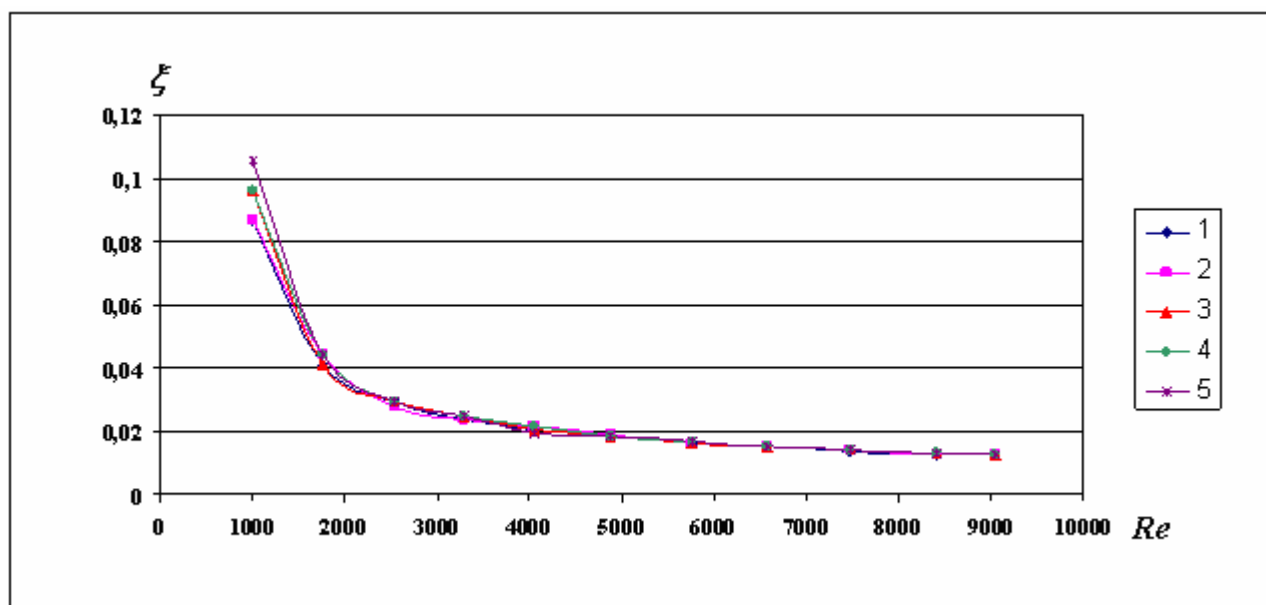


## Овал туридаги турбулизатор

Турбулизатор қадами 80 мм

<i>№</i>	<i>Re</i>	<i>x<sub>1</sub></i>	<i>x<sub>2</sub></i>	<i>x<sub>3</sub></i>	<i>x<sub>4</sub></i>	<i>x<sub>5</sub></i>	<i>Ўртача қиймат</i>
1	1013,03	0,086656641	0,086656641	0,096285156	0,09628516	0,10591367	0,094359
2	1772,8	0,040872066	0,044016071	0,040872066	0,04401607	0,04401607	0,042758
3	2532,58	0,029270688	0,027730125	0,029270688	0,02927069	0,02927069	0,028963
4	3292,35	0,023700962	0,023700962	0,024612537	0,02461254	0,02461254	0,024248
5	4052,12	0,020460596	0,02166416	0,020460596	0,02166416	0,01925703	0,020701
6	4875,21	0,019123866	0,019123866	0,018292393	0,01829239	0,01829239	0,018625
7	5761,61	0,016073494	0,016371151	0,016371151	0,01666881	0,01666881	0,016431
8	6584,7	0,015040995	0,015040995	0,015268889	0,01504099	0,01526889	0,015132
9	7471,1	0,013807972	0,014162022	0,013984997	0,01416202	0,01416202	0,014056
10	8420,81	0,012819877	0,012819877	0,012959223	0,01309857	0,01295922	0,012931
11	9053,96	0,012536046	0,012656585	0,012536046	0,01253605	0,01265658	0,012584

### Локал турбулизаторлар қўлланилганда гидравлик қаршиликни тадқиқот натижалари



### **3. Мехнат муҳофазаси ва хавфсизлик техникаси.**

Иссиқлик ва масса алмашинуви қурилмаларини эксплуатацияда қилишда хавфсизлик техникаси. Цехда ишлайдиган барча ходимлар ушбу цехнинг хавфсизлик характери билан таништирилиши, иш жойи бўйича инструкция ва хавфсизлик техникасини билиши керак. Инструктж (кўрсатма) режа бўйича ҳар 3 ойда бир марта ўтказилиши керак ва унинг натижалари қайд қилиб борилиши керак.

Цехда тозалликни, ўтиш йўлакларидида бемалолликни ва ҳимоялаш воситаларини соз ҳолатда сақлаш лозим. Бундан ташқари биринчи ёрдам кўрсатиш учун воситалар ва дори-дармонлар бўлиши керак. Иш жойида захарли моддалар билан ишлаганда иш жойида ушбу материалларни ювиб ташлаш учун сув крани бўлиши керак. Захарли моддаларни узатиладиган узатиш қувурининг фланецли бирикмаларида ҳимояловчи филофлар бўлиши зарур, чунки фланецли бирикмаларнинг емирилиши натижасида хизмат кўрсатувчи ходимнинг танасига ёки кийимига ушбу захарли моддаларнинг томчилари тегиши мумкин.

Ишлаб чиқариш хоналарининг кўринадиган жойига хавфсизлик техникаси ва жиҳозлар билан ишлаш бўйича йўриқнома осиглиқ туриши зарур.

Зарарли материаллар мавжуд бўлган цехларда ишчи ходим фақатгина махсус кийимлар ва махсус ҳимоя воситалари (кўлқоп, кўзойнак, газга қарши кийиладиган ниқоб, резина этик ва калиш ва ҳоказо) билан кириши керак.

Мосламаларда ва узатиш қувурларида босим ва ҳароратни эксплуатация қилиш бўйича йўриқнома ва мослама ҳамда узатиш қувурларининг паспортида кўрсатилган босим ва ҳарорат қийматларидан ошиб кетиши категорик тақиқланади. Мосламалар ва узатиш қувурлари албатта герметик ва соз бўлиши керак. Ҳаракатланувчи механизмлар атрофида албатта тўсиқлар бўлиши шарт. Ҳаракатланувчи механизмларни



мойлаш ва сальникларни мосламага тиқиш ишларини йўлда бажариш тақиқланади.

Электр юритгичларни резина қўлқоплар, резина оёқ кийимлар ёрдамида ишга туширилади. Маҳаллий ёритгичлар ва кўчма лампалар кучланиши 36 В дан юқори бўлмаган электр тармоғига уланади.

Асосий эътиборни кимёвий моддаларни сақлашдаги хавфсизликка қаратиш лозим. Ушбу моддаларни сақлашни ташкил этиш учун уни қаттиқ назоратга олиш зарур, улар алангаланиш ва учқундан ёниш, очиқ ёниш, сув билан реакцияга киришиб кетиш қобилиятига эга. Бундай моддаларга қуйидагиларни киритиш мумкин: портловчи; портловчи аралашмалар қобилиятига эга бўлган; ўз-ўзидан ёнувчи ва ўз-ўзидан алангаланувчи; енгил алангаланувчи, заҳарловчи ва зарарловчи моддалар, шунингдек сиқилган ва суюлтирилган газлар ва ҳоказо.

Аммиакни заҳарлилиги ва портлашга хавфлилиги учун улар сув аммиакли совутиш қурилмаларини хавфсизлик техникасида муҳим рол ўйнайди. Аммиак заҳарлилиги бўйича хлорга яқин, аммо кучли яллиғлашга ва жонсиз қилиб қуйиш хусусияти билан фарқланади. Ишлаб чиқариш хоналарида аммиакнинг санитар меъёрларининг чегараси 0,07 мг/л дан ошмаслиги керак. Аммиакни портлашга хавфсизлик концентрацияси 16 дан 28,8% гача ташкил этади.

Саноат корхоналарида босим остида ишловчи мосламалар, идишлар кенг қўлланилади. Ушбу қурилмаларни эксплуатация қилишда асосий хавфсизлик идишларда газлар ва буғларни адиабатик кенгайиши натижасида идишларни ишдаш чиқиши ҳисобланади. Физик портлаш руй берганда сиқилган муҳитнинг энергияси кичик вақт оралиғида бузилган идиш бўлакчаларининг кинетик энергиясига ва зарбали тўлқинга айланади.

Идишларнинг портлаши ичида иссиқ муҳитлар бўлган идишлар учун, шунингдек идиш парчаларининг катта массаси анчагина узоқ масофага учади

ва биноларни, технологик жиҳозларни ва сиғимларни бузлишига сабаб бўлади.

Босим остида ишловчи идишларнинг портлашининг ва аварияга учрашининг асосий сабабларини санаб чиқамиз:

-идишнинг конструкциясирухсат этилган максимал босим ва ҳароратга бардош бера олмаслиги;

-босимни белгиланган қийматдан ортиб кетиши;

-механик мустаҳкамликни йўқолиши (металлнинг ички нуқсонлари ва коррозияга учраши натижасида);

-барқарор иш режимини амалга оширилмаганлиги, хизмат кўрсатувчи ходим малакасини етмаслиги ва техник кўрикларни ўтказилмасли.

Бундай мосламалар ва идишларни хавфсиз эксплуатация қилиш учун талаб ХҚ 03-576-03 “Босим остида ишловчи идишларни хавфсиз эксплуатация қилиш ва қуриш қоидалари” да келтирилган.

Қоидаларда ушбу мосламалар ва идишларни лойиҳалаш, қуриш, тайёрлаш, реконструкция қилиш, созлаш, таъмирлаш, техник кўриқдан ўтказиш ва эксплуатация қилишга талаблар ҳам келтирилган, улардан кенг тарқалганлари:

-ҳарорати  $115^{\circ}\text{C}$  бўлган сув босими ёки ҳарорати босим  $0,07$  МПа бўлганда қайнаш ҳароратидан ошувчи бошқа суюқликларнинг босими остида ишловчи идишлар;

-босими  $0,07$  МПа дан юқори бўлган буғ ёки газларнинг босими остида идишлар;

-босими  $0,07$  МПа дан юқори бўлган сиқилган, суюлтирилган ва эритилган газларни ташиш ва сақлаш учун мўлжалланган баллонлар;

-ҳарорати  $50^{\circ}\text{C}$  гача бўлган ва буғларининг босими  $0,07$  МПа дан ошадиган сиқилган ва суюлтирилган газларни ташиш ва сақлаш учун цистерналар ва бочкалар;

-барокамера (ичидаги босимни ўзгартириб туришга имкон берадиган герметик камера).

Таъмирлаш ишларида хавфсизлик техникаси. Идишлар ва мосламалар ичидаги таъмирлаш ишлари таъмирлаш ишларини амалга оширувчи шахсга фақатгина цех ёки смена бошлиғи томонидан ёзма равишда берилади.

Рухсатномада жиҳозларни таъмирлашга тайёрлиги ва таъмирлаш ишларини амалга ошириш чора-тадбирлари кўрилганлиги кўрсатилади.

Таъмирлашни бошлашдан олдин, таъмирлашни амалга ошириш учун жавобгар шахс ишлаб чиқариш ишларини ҳажми, миқдори ва ишни олиб бориш шароитлари билан танишиб чиқади, асосий эътибор мосламаларни таъмирлашга тайёрлигига қаратилади (тозалаш ва ювиш ишларни бажарилганлиги, электр кучланиши ва узатиш симлари узилганлиги ва ҳоказо).

Қопқоқларни ўрнатиш ва уларни ечиб олиш жуда пухталиқ билан амалга оширилади. Қопқоқларни тайёрлаш учун материалларни нотўғри танлаш, уларнинг қалинлигини нотўғри ҳисоблаш ёки уларни нотўғри ўрнатиш ҳалокатга, портлашга, ёнғинга ва бахтсиз ҳолатларга олиб келади. Буғ узатиш қувурлари ва иссиқ сув узатиш қувурлари учун фланецли қопқоқларни конструкцияларини, ўлчамларини ва материалларини ГОСТ 6973-59 га мувофиқ бажариш лозим. Қопқоқларни ўрнатилиш жойи мос шакл бўйича махсус журналга қайд этилади. Қопқоқларни ўрнатиш ва уларни олиб ташлаш ишларини бажариш бўйича барча ишлар цез бошлиғи ёки унинг ўринбосари раҳбарлиги ва кузатуви остида амалга оширилади.

Заҳарли, қайноқ ва портлашга хавфли суюқликлар ва газлар билан ишлайдиган реакцион қурилмаларни таъмирга тайёрлашга асосий эътиборни қаратиш лозим. Омборхоналарда ва мослама юзаларидаги ёриқларининг ҳаммаси кўздан кечирилиши, зарарли муҳитларнинг қолдиқларидан тозаланиши ва нейтралланиши зарур.

Иссиқликдан фойдаланувчи мосламаларни таъмирлаш бўйича ишлар улар тўхтагандан сўнг ёки 30<sup>0</sup>С ҳароратгача сунъий совутилгандан кейин бошлаш зарур. Мослама ичида очиқ олов (пайвандлаш, кавшарлаш ва ҳоказо) билан таъмирлаш ишларини амалга ошириш бош муҳандис ёки корхонанинг ёнғин муҳофазасининг ёзма рухсати билан амалга оширилади.

Мослама ичида таъмирлаш ишлари тарбида икки ёки ундан ортиқ ишчи бўлган жамоа томонидан амалга оширилади, улардан бири ишда кузатувчи сифатида иштирок этади ва мослама ташқарисида туради ҳамда барча ишловчиларга зарур ёрдамларни кўрсатади. Кимёвий зарарли моддаларда ишлаган мосламаларни ичида соғлиги ёмон бўлган ишчиларни ишлаши рухсат этилмайди.

Таъмирловчи ишчилар таъмирлаш ишларини амалга ошириш бўйича ва хавфсизлик чора-тадбирлари бўйича йўриқномани олган бўлишлари шарт; улар махсус кийимлар ва оёқ кийимлари, шунингдек ҳимоя воситалари (кўзойнак, ниқоблар, фильтрловчи ёки ҳавони актив ўтказувчи газниқоблар, арқонли сақловчи камарлар ва ҳоказо) билан таъминланиши керак.

Баландлиги 3 м дан юқори жойларда ишлаганда ва оёқ остига тахтани маҳкамлаш мумкин бўлмаган жойларда ишчи арқонли сақлаш камарини тақиши шарт. Асбоб-ускуналар, маҳкамловчи материаллар ва бошқа майда материаллар олиб юрилади ва баланддаги яшик ва сумкаларда сақланади.

Таъмирлаш ишларини бажариш вақтида оғир деталлари кўтаришда ва ушлаб туришда эҳтиёткорлик чораларини кўриш талаб этилади.

Иш жойида ёки қурилманинг ўзида кераксиз деталларни сақлаш тақиқланади.

Тўсиқларда тешиқлар тешиш, уларга такелаж (юкни кўтарадиган ёки бир жойдан иккинчи жойга кўчирадиган механизмлар мосламаси) қурилмаларини маҳкамлаш ва тўсиқларни деталлар ва мосламалар билан юклаш қурилишдаги техник ходим кўрсатмаси бўйича рухсат этилади.

Мосламаларнинг ичида таъмирлаш ишларини олиб боришда кучланиши 12 В гача бўлган электр ёритгичлари ва электр асбоб-ускуналаридан фойдаланишга рухсат этилади, бунда резина қўлқоплар ва резина гиламчалардан фойдаланилади. Қуйидаги ҳолларда электр асбоб-ускуналар билан ишлаш тақиқланади: асбоб-ускуна корпуси кучланиш остида жойлашган бўлса; тузатиб бўлмайдиган ёки усти очик шнурлар мавжуд бўлганда; ерга уловчи сим бўлмаганда ва ҳоказо.

Тўсиқларда, узатиш қувурларида, муфта қопламаси, подшипниклар, шунингдек конструкциялар ва тўсиқлар, махсус тўсиқларга эга бўлмаган ва ўтиш мўлжалланмаган жойларда тўхтаб туриш тақиқланади.

#### 4. Иқтисодий қисм.

Иқтисодий ҳисобни бажаришда локал турбулизатор қўлланилган қоплама қувурли иссиқлик алмашинуви қурилмаси ва стандарт қоплама қувурли иссиқлик алмашинуви қурилмасини алоҳида ҳисобларини амалга оширамиз.

Ҳисоблаш қуйидаги дастлабки маълумотлар берилган:

1. Қурилма тури – қоплама қувурли иссиқлик алмашинуви қурилмаси.

2. Қурилманинг унумдорлиги.

А. Қиздирувчи муҳит бўйича:

- а) таркиби – сув;
- б) бошланғич ҳарорати –  $80^{\circ}\text{C}$ ;
- в) охириги ҳарорати –  $20^{\circ}\text{C}$ ;
- г) босими – 1 атм.

Б. Совитувчи муҳит бўйича:

- а) таркиби – сув;
- б) бошланғич ҳарорати –  $10^{\circ}\text{C}$ ;
- в) охириги ҳарорати –  $50^{\circ}\text{C}$ ;
- г) босими – 1 атм.

3. Қўшимча маълумотлар:

- а) совитувчи муҳитнинг сарфи – 4 кг/сек;
- б) қувур материали – латун;
- в) қиздирувчи муҳит қувурлар ичидан ҳаракатланади;
- г) қизиётган муҳит қувурлараро бўшлиқда ҳаракатланади;
- д) қувурнинг ички диаметри – 0,016 м;
- е) қувурнинг ташқи диаметри – 0,02 м.
- ж) қувур материалининг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти –

112,3 Вт/(м· $^{\circ}\text{C}$ ).

- з) иссиқлик ташувчиларнинг ҳаракат схемаси-тескари оқимли.

№	Nomlanishi	Belgilinishi va o'lchov birligi	Hisoblash formulasi	Вариант	
				Стандарт	Локал турбулиза- торли
1	Issiq suvning o'rtacha harorati	$Dt_1, ^\circ S$	$\Delta t_1 = 0,5(t_1' + t_1'')$	50	50
2	Sovuq suvning o'rtacha harorati	$Dt_2, ^\circ S$	$\Delta t_2 = 0,5(t_2' + t_2'')$	30	30
3	Umumiy issiqlik miqdori	$Q, Vt$	$Q = G_2 \cdot c_2 (t_2' - t_2'')$	667840	667840
4	Issiq suvning sarfi	$G_1, kg/sek$	$G_1 = \frac{Q}{c_1 (t_1'' - t_1')}$	2,778	2,778
5	Issiq suvning harakat rejimi	$Re_1$	Qabul qilinadi	20000	20000
6	Sovuq suvning harakat rejimi	$Re_2$	Qabul qilinadi	15000	15000
7	Quvur devorining haroratlari	$t_{d1}, t_{d2}$	$t_d' = t_{d1} = t_{d2}$	40,5	40,5
8	Ushbu haroatda Prandtl sonlari	$Pr_1, Pr_2$	$Pr_1 = Pr_2$	4,3	4,3
9	Issiq suv uchun Nu soni	$Nu_1$	$Nu_1 = 0,021 Re_1^{0,8} Pr_{s1}^{0,43} \left( \frac{Pr_{s1}}{Pr_{d1}} \right)^{0,25}$ $Nu_1 = 0,045 Re^{0,81} Pr^{0,43}$	108,5	257,8
10	Sovuq suv uchun Nu soni	$Nu_2$	$Nu_2 = 0,19 Re_2^{0,6} Pr_{s2}^{0,33} \left( \frac{Pr_{s2}}{Pr_{d2}} \right)^{0,25}$	152,49	152,49
11	Issiq suv uchun issiqlik berish koeffitsiyenti	$a_1, \frac{Vt}{m^2 \cdot ^\circ S}$	$a_1 = \frac{Nu_1 \cdot I_1}{d_1}$	4394	10442
12	Sovuq suv uchun issiqlik berish koeffitsiyenti	$a_2, \frac{Vt}{m^2 \cdot ^\circ S}$	$a_2 = \frac{Nu_2 \cdot I_2}{d_2}$	4712	4712

<b>13</b>	Issiqlik uzatish koeffisienti	$k, \text{Wt}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{S})$	$k = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{d_d}{l_d} + \frac{1}{a_2}}$	<b>1618</b>	<b>2057</b>
<b>14</b>	Haroratning o'rtacha logarifmik garqi	$\Delta t_{o'rt}, ^\circ\text{S}$	$\Delta t_{o'rt} = \frac{\Delta t_{kat} - \Delta t_{kich}}{\ln \frac{\Delta t_{kat}}{\Delta t_{kich}}}$	<b>18,2</b>	<b>18,2</b>
<b>15</b>	Issiqlik almashinuv yuzasining maydoni.	$F, \text{m}^2$	$F = \frac{Q}{k\Delta t_{o'rt}}$	<b>27,6</b>	<b>17.8</b>
Aniqlangan yuza bo'yicha bir yo'lli standart IAQ sini tanlaymiz					
<b>16.</b>	Issiqlik almashinuvi yuzasi	$F, \text{m}^2$	I.1. ilovadan olinadi.	<b>34</b>	<b>22</b>
	Qoplama diametri	$D, \text{mm}$		<b>0,4</b>	<b>0,325</b>
	Quvur diametri	$d, \text{mm}$		<b>0,02</b>	<b>0.02</b>
	Yo'llar soni	$z$		<b>1</b>	<b>1</b>
	Quvur uzunligi	$L, \text{m}$		<b>3</b>	<b>3</b>
	Quvurlarning umumiy soni	$n$		<b>181</b>	<b>100</b>
	IAQ sidagi segmentli to'siqlar soni	$k=$		<b>10</b>	<b>14</b>
	IAQ sining massasi	$m=$		<b>1130</b>	<b>735</b>
<b>17.</b>	Issiqlik almashinuvi yuzasining zahirasi	$\Delta_F, \%$	$\Delta_F = \frac{ F - F' }{F} \cdot 100\%$	<b>19</b>	<b>19</b>

Демак, иссиқлик алмашинуви қурилмаларининг қувурларида локал турбулизаторлар қўлланилганда иссиқлик алмашинуви қурилмаларининг



самарадорлигини ортганлиги кўриш мумкин ва ҳисоблаш натижаларидан қуйидагиларни хулоса қилиш мумкин:

1. Иссиқлик миқдорини таъминлаш учун зарур бўлган иссиқлик алмашинуви юзаси стандарт иссиқлик алмашинуви юзасиникидан 12 м<sup>2</sup> га кичик, бу иссиқлик алмашинуви қурилмаларининг ихчамлашишини таъминлайди.

2. Иссиқлик алмашинуви қурилмаси қопламасининг диаметрини кичрайиши ва қувурлари сонини камайиши қурилманинг ташқи ўлчамларини кичрайишини таъминлайди.

3. Иссиқлик алмашинуви қурилмасининг массасини камайиши иссиқлик алмашинуви қурилмасини енгиллашишига ва уларни эксплуатация қилиш жараёнида кам қийинчилик туғдиради, шунингдек ушбу ҳолда қурилмаларни ишлаб чиқариш 395 кг қиммат металлни тежаб қолиш мумкин.

#### I.1 – ilova.

### Qoplama quvurli issiqlik almashinuvi qurilmalari va sovutgichlarning parametrlari

(ГОСТ 15118-79, ГОСТ 15120-79 va ГОСТ 15122-79)

Qoplama diametri, D, mm	d, quvur diametri, mm	Yo'llar soni	Quvurlarning umumiy soni	Quvur uzunligi bo'yicha issiqlik almashinuv yuzasi, m <sup>2</sup>							Quvurlararo bo'shliq oqimining eng tor ko'ndalang kesim yuzasi, m <sup>2</sup>	Quvur bitta yo'lning ko'ndalang kesim yuzasi, m <sup>2</sup>
				1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	9,0		
159	20x2	1	19	1,0	2,0	2,5	3,5	-	-	-	0,005	0,004
	25x2	1	13	1,0	1,5	2,0	3,0	-	-	-	0,008	0,005
273	20x2	1	61	4,0	6,0	7,5	11,5	-	-	-	0,01	0,012
	25x2	1	37	3,0	4,5	6,0	9,0	-	-	-	0,011	0,013
325	20x2	1	100	-	9,5	12,5	<b>22,0</b>	25,0	-	-	0,01	0,02
		2	90	-	8,5	11,0	17,0	22,5	-	-	0,016	0,009
	25x2	1	62	-	7,5	10,0	14,5	19,5	-	-	0,029	0,021

		2	56	-	6,5	9,0	13,0	17,5	-	-	0,015	0,01
400	20x2	1	181	-	-	23,0	<b>34,0</b>	46,0	68,0	-	0,025	0,036
		2	166	-	-	21,0	31,0	42,0	63,0	-	0,03	0,017
	25x2	1	111	-	-	17,0	26,0	35,0	52,0	-	0,031	0,038
		2	100	-	-	16,0	24,0	31,0	47,0	-	0,025	0,017
600	20x2	1	389	-	-	49	73	98	147	-	0,066	0,078
		2	370	-	-	47	70	93	139	-	0,048	0,037
		4	334	-	-	42	63	84	126	-	0,048	0,016
		6	316	-	-	40	60	79	119	-	0,048	0,009
	25x2	1	257	-	-	40	31	81	121	-	0,053	0,089
		2	240	-	-	38	57	75	113	-	0,045	0,042
		4	206	-	-	32	49	65	97	-	0,045	0,018
		6	196	-	-	31	46	61	91	91	0,045	0,011
800	20x2	1	717	-	-	90	135	180	270	405	0,091	0,144
		2	690	-	-	87	130	173	260	390	0,07	0,069
		4	638	-	-	80	120	160	240	361	0,07	0,03
		6	618	-	-	78	116	155	233	349	0,07	0,02
	25x2	1	465	-	-	73	109	146	219	329	0,079	0,161
		2	442	-	-	69	104	139	208	312	0,07	0,077
		4	404	-	-	63	95	127	190	285	0,07	0,03
		6	384	-	-	60	90	121	181	271	0,07	0,022
1000	20x2	1	1173	-	-		221	295	442	663	0,156	0,236
		2	1138	-	-		214	286	429	643	0,146	0,114
		4	1072	-	-		202	269	404	606	0,146	0,051
		6	1044	-	-		197	262	393	590	0,146	0,034
	25x2	1	747	-	-		176	235	352	528	0,143	0,259
		2	718	-	-		169	226	338	507	0,13	0,124
		4	666	-	-		157	209	314	471	0,13	0,055
		6	642	-	-		151	202	302	454	0,13	0,036

## **Битирув малакавий иши бўйича хулоса.**

Битирув малакавий талаблар асосида бажарилди ва қуйидаги хулосалар қилинди.

Битирув малакавий ишини мавзуси бўйича ҳозирги кунга қадар олиб борилган изланишлар, амалга оширилган тадқиқот ишлари ва уларни илмий-асосланганлиги ва олинган тадқиқот натижалари битирув малакавий ишининг биринчи қисмида тўлиқ таҳлил қилинди. Шунингдек ушбу қисмда турбулизаторларнинг замонавий конструкцияларининг тузилиши, улар орқали иссиқлик алмашинуви ва гидродинамикаси бўйича олинган эмпирик боғлиқлар келтирилди.

Битирув малакавий ишинининг иккинчи қисмида асосан яратилган янги конструкциядаги локал турбулизаторларнинг конструкция ва ишлаш принципи, локал турбулизаторли иссиқлик алмашинуви қурилмасида олиб борилган гидродинамик тадқиқот натижалари, тажриба қурилмасини тузилиши, принципаал схемаси ва ишлаш тартиблари тўлиқ ёритилган. Шунингдек гидродинамика бўйича олинган тадқиқот натижалари жадвал кўринишида ва график шаклида келтирилган.

Битирув малакавий ишида меҳнат хавфсизлиги ва хавфсизлик техникаси бўйича йўриқнома ва иқтисодий қисмда локал турбулизаторларнинг янги конструкцияси иқтисодий асосланди.

Битирув малакавий ишининг сўнггида битирув ишини бажаришда фойдаланилган адабиётлар руйхати ва интернет сайтлари келтирилган.

Битирув малакавий иши бўйича хулоса қилинди.

### **Фойдаланилган адабиётлар.**

1. Каримов И.А. Жаҳон молиявий – иқтисодий инқироzi, уни Ўзбекистон шароитида баргараф этиш йўллари ва чоралари – Т.: Ўзбекистон, 2009. – 48 б.
2. Бекмуролов А.Ш. ва бошқалар. Буюк ва муқаддасан, мустақил Ватан. Т. Ўқитувчи, 2011. -200 б.
3. Каримов И.А. “Ўзбекистон ХХI аср бўсағасида: хавфсизликка таҳдид, барқарорлик шартлари ва тараққиёт кафолатлари”. – Т.: “Ўзбекистон ”, 1997. -110 б.
4. Мига́й В.К. Повышение эффективности современных теплообменников. Л.: Энергия, 1980.
5. Кузма-Кичта Ю.А. Методы интенсификации теплообмена. М.: МЭИ, 2001.
6. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А. Интенсификация теплообмена в каналах. М.: Машиностроение, 1990.
7. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Копп И.З., Мякочин А.С. Эффективные поверхности теплообмена. М.: Энергоатомиздат, 1998.
8. Щукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. М.: Машиностроение, 1970.
9. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. М.: Наука, 1982.
10. Субботин В.И., Ибрагимов М.Х., Ушаков П.А. и др. Гидродинамика и теплообмен в атомных энергетических установках. М.: Атомиздат, 1975.
11. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1969.
12. Nikuradze D.Y. Untersuchungen über die Strömungen des Wassers in konvergenten und divergenten Röhren // VDI / Verlag. G.H.V.H. Derlin, №7, Heft 289, 1929.
13. Yaglom A.V., Kader B.A. Heat and mass transfer between a rough wall and turbulent flow at high Reynolds and Peclet numbers // J. Fluid Mechanics. 1974. Vol. 62. Part 3. p. 601.

14. Nunner W. VDI – Forschungsheft 455, 1956, Band 22.
15. Koch R. Druckverlust und Wärmeübergang bei verwirbelter Strömung. VDI – Forschungsheft 469, Band 24, 1958.
16. Букин В.Г. Интенсификация теплоотдачи хладаносителей в аппаратах холодильных машин. – Холодильная техника, 1980, №6, с.20-23.
17. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. Интенсификация теплообмена в каналах. –М.: Машиностроение, 1972. -220 с.
18. Гоголин А.А., Данилова Г.Н., Азарсков В.М., Медникова Н.М. Интенсификация теплообмена в испарителях холодильных машин. –М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. -224 с.
19. Данилов Ю.И., Дзюбенко Б.В., Дрейцер Г.А., Ашмантас Л.А. Теплообмен и гидродинамика в каналах сложной формы. – М.: Машиностроение, 1986. - 200 с.
20. А.с. СССР. Кожухотрубный теплообменник. Б.В. Дзюбенко, Ю.В. Вилемас // Открытия. Изобретения. 1980, №33.
21. Вилемас Ю.В., Шимонис В.М., Адомайтис И.Э. Интенсификация теплообмена в газоохлаждаемых каналах. – Вильнюс: Москлас, 1989. -258 с.
22. Иевлев В.М., Данилов Ю.И., Дзюбенко Б.В. Теплообмен и гидродинамика закрученных потоков в каналах сложной формы. В кн.: Тепломассообмен – VI, Минск: Изд. ИТМО АН БССР, 1980. Т.1. ч.1, с.88-99.
23. Парамонов Н.В., Романков П.Г., Носков А.А. Исследование интенсификации теплообмена в профильных трубах. – тепло- и массообмен между потоками и поверхностями. – Тематический сборник научных трудов МАИ, Москва, 1980, с. 62-65.
24. Дзюбенко Б.В., Дрейцер Г.А. Исследование теплообмена и гидравлического сопротивления в теплообменном аппарате с закруткой потока. – Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1980, №5, с.163-171.
25. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Копп И.З., Мякочин А.С. Эффективные поверхности теплообмена / М.:Энергоатомиздат, 1998.

26. Интенсификация теплообмена: Успеха теплопередачи. 2. / Вилемас Ю.В., Воронин Г.И., Дзюбенко Б.В. и др. Под ред. Проф. Жукаускас А.А. и проф. Калинин Э.К. Вильнюс: Москлас, 1988, 188 с.
27. Назмеев Ю.Г., Лавыгин В.М. Теплообменные аппараты ТЭС. Учеб. Пособие для ВУЗов. –М.: Энергоатомиздат, 1998. -288 с.
28. Dreytser G.A., Gomon V.L., Krayev V.M., Zakirov S.G. Studies of fouling channels with turbulence promoters // Proceeding of the 3<sup>rd</sup> European Thermal Sciences Conference, Heidelberg, Germany, 10-13 September, 2000.
29. Закиров С.Г., Дрейцер Г.А., Агзамов Ш.К. Интенсификация теплообмена при конденсации пара на поверхности вертикальных труб с турбулизаторами // Инженерно – физический журнал. -1984. –Т. 47, №2. с. 184-189.
30. Закиров С.Г., Каримов К.Ф., Сатаров Т. Применение двухмерной шероховатости для увеличения теплоотдачи вязкой жидкости // Труды II Российской Национальной конференции по теплообмену. Интенсификация теплообмена. –М.: МЭИ, 1998, -Т.8. с.114-117.
31. Кидд И. Теплоотдача к газовому потоку и падение давления в спирально-волнистых трубах. – В кн.: Труды АСМЕ. Теплопередача, 1970, №3.
32. Назмеев Ю.Г. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в дискретно-шероховатых каналах. –М.: Энергоатомиздат, 1998. – 376 с.
33. Назмеев Ю.Г., Канаина И.А. Интенсификация теплообмена при течении вязкой жидкости в трубах с винтовой накаткой. Теплоэнергетика, 1993, №11, с. 59-62.
34. Халатов А.А., Борисов И.И., Щевцов С.В. Тепломассообмен и теплогидравлическая эффективность вихревых и закрученных потоков. Киев. 2005, -500 с.
35. Жукаускас А.А. Проблемы интенсификации конвективного теплопереноса // Тепломассообмен – VII. Проблемные доклады VII Всесоюзной конференции по тепломассообмену. Ч.1. Минск.: ИТМО, 1985. с.16-42.

36. Дрейцер Г.А., Гомон В.И., Аронов И.З. Сравнительное исследование величины отложений в трубах с кольцевыми турбулизаторами и в гладких трубах кожухотрубчатых аппаратов // Промышленная теплотехника. 1981. Т.3, №6. с.36-42.
37. Калилин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. Интенсификация теплообмена в каналах. М.: Машиностроение, 1990.
38. Бузник В.М. Интенсификация теплообмена в судовых установках. Л.: Судостроение, 1969.
39. Мигай В.К. Повышение эффективности современных теплообменников. Л.: Энергия, 1980.
40. Чижевская Е.М., Бродов Ю.М. Теплоотдача при течении однофазного теплоносителя в профильных витых трубах // Изв. Вузов. Сер. Энергетика. 1984. №5. с.79-82.
41. Петухов Б.С. Современное состояние и перспективы развития теории теплообмена // Тепломассообмен VII. Проблемные доклады VII Всесоюзной конференции по тепломассообмену. Ч.1. Минск.: ИТМО, 1985. с. 3-15.
42. Боголюбов Е.Н., Лившиц М.Н., Григорьев Г.В. Результаты исследования и промышленного внедрения винтообразного профилированных труб // Теплоэнергетика. 1981, №8. с. 48-50.
43. Уэбб, Скотт. Параметрический анализ рабочих характеристик теплообменных труб с внутренним оребрением // Теплопередача. 1980, №1. с. 40-48.
44. Хан, Парк, Лей. Интенсификация теплообмена в канале с турбулизаторами // Энергетические машины и установки. 1985, №3. с. 33-46.
45. Коваленко Л.М., Глушков А.Ф. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи. М.: Атомиздат, 1986.
46. Бажан Г.И., Канавец Г.Е., Селиверстов В.М. Справочник по теплообменным аппаратам. М.: Машиностроение, 1989.

47. Рябчиков А.Ю., Бродов Ю.М. Эффективность применения профильных витых труб в теплообменных аппаратах турбоустановок // Энергомашиностроение, 1983, №3. с. 70-74.
48. Бродов Ю.М. Эффективность применения профильных витых труб в теплообменных аппарата турбоустановок // Теплоэнергетика, 1982, №12. с. 58-62.
49. Бродов Ю.М. Исследование жесткости профильных витых труб // Энергомашиностроение. 1981, №3. с.67-70.
50. Gee D.I., Webb R.L. Forced Convection Heat Transfer in Helically Rib-Roughened Tubes // Int. J. Heat Mass Transfer. 1980. Vol. 23, №6. p. 1127-1136.
51. Боголюбов Ю.Н., Бродов Ю.М., Бугляев В.Т. Обобщение данных по гидравлическому сопротивлению в винтообразно-профилированных трубах // Изв. Вузов. Сер. Энергетика. 1980. №4. с.71-73.
52. Интенсификация теплообмена: Успехи теплопередачи / Под ред. А.А. Жукаускаса, Э.К. Калинина. Вильнюс: Москлас, 1988.
53. Зозуля Н.В., Шкуратов И.Я. Теплоотдача в трубах с проволочными турбулизаторами. – В сб.: Теплообмен в энергетических установках. Киев: Наукова думка, 1967, с.36-38.
54. Nagaoka Z., Watanabe A. Maximum rate of heat transfer with minimum loss of energy. Proc. Intern. Congr. Rerig., 1937, v.3, №16, p. 221-245.
55. Азарсков В.М., Иванов О.П., Чопко Н.Ф., Ситник А.А. Применение турбулизирующих вставок для интенсификации теплоотдачи движущего внутри труб рассола / В сб. трудов научной конференции «Холодильная техника». Л., 1970, с.163-167.
56. Klaczak A. Heat Transfer in Tubes with Spiral and Helical Turbulators. // ASME. – Journ. Heat Transfer. – Series C. 1973. -№4. –P. 134-136.
57. Chou J. experimental Investigation of the Augmentation of Forced Convection Heat Transfer in a Circular Tube Using Spiral Spring Inserts. // ASME. – Journ. Heat Transfer. – Series C. 1988. -№1. –P. 13-21.



58. Sethumadhavan S. & Raja Rao M. augmentation of Laminar Flow Heat Transfer in Fluid Friction in Helical – Wire – Coil – Inserted Tubes. // Intern. Journ. Heat and Mass Transfer. – 1983. –Vol. 26. -№ 12. –P. 1833-1845.
59. Новожилов И.Ф., Мигай В.К. Интенсификация конвективного теплообмена внутри труб путем применения искусственной шероховатости. // Теплоэнергетика. 1964, №9, с. 61-63.
60. Мигай В.К. Повышение эффективности современных теплообменников. Л.: Энергоиздат, 1980. -143 с.
61. Назмеев Ю.Г. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в дискретно-шероховатых каналах. М.: Энергоатомиздат, 1998. -376 с.
62. Kumar P., Tudd R.Z. Heat Transfer with coiled wire Turbulence Promoters. // Can. I. Chem. Eng. 1970. Vol. 48, №4. P. 378-384.
63. Yu S., Kitoh O. A General Formulation for the Decay of Swirling Motion Along a Straight Pipe // International Communications in Heat and Mass Transfer. -1994. –Vol. 15. -№5. – P. 719-728.
64. [www.dissertant.com](http://www.dissertant.com)
65. [www.03-ts.ru](http://www.03-ts.ru)
66. [www.twirpx.com](http://www.twirpx.com)
67. [www.ecosys-narod.ru](http://www.ecosys-narod.ru)