

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС

ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

ҚАРШИ МУҲАНДИСЛИК ИҚТИСОДИЁТ ИНСТИТУТИ

5520100 – "Иссиқлик энергетикаси"

бакалавр таълим йўналиши

БИТИРУВ МАЛАКАВИЙ ИШИ

Мавзу: Иссиқлик алмашинув қурилмаларида локал турбулизаторлар қўлланилганда иссиқлик алмашилиш жараёнини тадқиқот қилиш

Раҳбар:

(ИМЗО)

Ибрагимов У.Х.

Ишни бажарувчи:

(ИМЗО)

Чориева А.

"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

Кириш.....	3
1. Иссиқлик алмашинуви қурилмасида иссиқлик алмашиниш жараёнини жадаллаштириш.....	6
1.1. Иссиқлик ташувчини қувурга тангенциал узатиш.....	8
1.2. Шнекли бурагич ёрдамида исиқлик алмашинувини жадаллаштириш.....	14
1.3. Буралган лента ёрдамида исиқлик алмашинувини жадаллаштириш.....	17
1.4. Спиралсимон пружина ёрдамида исиқлик алмашинувини жадаллаштириш.....	22
1.5. Қувурнинг ички юзасини қовурғалаш ёрдамида исиқлик алмашинувини жадаллаштириш.....	28
1.6. Иссиқлик алмашинувини жадаллаштиришнинг турли усулларини самарадорлигини солиштириш.....	31
2. Иссиқлик алмашиниш жараёнини экспериментал тадқиқот қилиш..	34
2.1. Локал турбулизаторлар конструкциясининг тавсифи.....	34
2.2. Тажриба қурилмасининг тавсифи.....	35
2.3. Иссиқлик алмашинуви бўйича олинган тадқиқот натижалари.....	37
3. Меҳнат хавфсизлиги ва хавфсизлик техникаси.....	48
4. Иқтисодий қисм.....	54
Хулоса.....	58
Фойдаланилган адабиётлар.....	59

Кириш.

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 сиғими 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 сиғимини 1,5-2 марта камайишига олиб келади, шунингдек, каналларда туз қатламларини ҳосил бўлиш жадаллиги сезиларли даражада камаяди. Бунда ишлатишдага ҳаражатлар ва меҳнат сиғими 2-3 марта ортади. Жадаллаштиришнинг таклиф этилган усуллари ишлаб чиқаришда технологик

сода, 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 этириш, чегараланган қатламдан оқимни сўриб олиш ва ҳоказо.

Ўзбекистонда ишлаб чиқаришни модернизация қилиш, техник ва технологик қайта жиҳозлаш, ишлаб чиқариш самарадорлигини янада ошириш масалаларига эътибор ҳозирги кунда айниқса, жаҳон-молиявий иқтисодий инқирозининг салбий оқибатларидан сақланиш даврида долзарб масалага айланиб бормоқда. Ишлаб чиқаришни модернизация қилиш, техник ва технологик жиҳатдан қайта жиҳозлаш ўз-ўзидан мамлакатимизда маҳсулотлар ишлаб чиқарилиши жараёнида фойдаланиладиган барча турдаги ресурсларни оқилона ишлатишда асос бўлади.

Президентимиз Ислом каримовнинг 2011 йилда мамлакатимизни ижтимоий-иқтисодий ривожлантириш якунлари ва 2012 йилга мўлжалланган энг муҳим устивор йўналишларга бағишланган Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг мажлисидаги маърузасида қайд этилган муҳим устивор вазифалардан бири ишлаб чиқаришни модернизация қилиш, техник ва технологик қайта жиҳозлаш ва уларни жадал янгилашдан иборат экани

белгилаб берилди. Маърузада 2011 йилда жалб этиладиган барча инвестицияларнинг 36,4 фоиздан ортиғи саноатни модернизация қилиш ва техноогик янгилаш дастурларини амалга оширишга йўналтириш кўзда тутилаётгани ҳамда замонавий асбоб-ускуналар харид қилиш харажатлари умумий капитал қуйилмалар ҳажмининг камида 46 фоизини ташкил этаётгани қайд этилди. Шунингдек, Муборак нефтьни қайта ишлаш заводи ва “Шўртантнефть-газ” унитар корхонасида 400 минг тонна суюлтирилган газ ва газ конденсати ишлаб чиқарадиган қурилмаларни ўрнатиш ва бошқа шу каби муҳим лойиҳаларни амалга ошириш ҳам кўзда тутилди.

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 иссиқлик алмашинуви жараёнини тадқиқот қилиш ва натижалар олиш, ҳамда яратилган локал турбулизаторларнинг янги конструкцияларини иқтисодий асослаш битирув малакавий ишининг асосий мақсади ҳисобланади.

1. Иссиқлик алмашинуви қурилмасида иссиқлик алмашиниш жараёнини жадаллаштириш.

Иссиқликни бир иссиқлик ташувчидан бошқа иссиқлик ташувчига узатиш учун мўлжалланган мосламаларга – иссиқлик алмашинув қурилмаси деб аталади. Иссиқлик алмашинуви қурилмалари энергетикада, кимё саноатида, нефтни 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.

Қувурли иссиқлик алмашинуви қурилмаларида иссиқлик алмашинувини жадаллаштиришнинг кўп усуллари мавжуд.

Уларга қуйидагиларни киритиш мумкин:

- турбулизаторларни қўллаш;
- қувур ва қувурлараро бўшлиқда турли шаклдаги винтсимон ўрнатмалар (узатмалар, буралган лента ва симлар) ёрдамида оқимни бурама ҳаракатга келтириш;
- эгри чизиқли каналларни (спиралсимон, змеевикли) қўллаш;
- иссиқлик ташувчини қувурга тангенциал равишда узатиш;
- куракчали гирдоблантиргичлар (қувурнинг киришида ва қувур узунлиги бўйича даврий жойлаштириш);
- газ оқимига суюқлик томчиларини ёки қаттиқ заррачаларни, суюқлик оқимига эса газсимон пуфакчаларни аралаштириш;
- оқимга электростатик майдон таъсир эттириш;
- иссиқлик алмашинуви юзасини тебритиш;
- каналларда акустик резонансдан фойдаланиш;
- чегараланган қатламдан оқимни сўриб олиш;
- иссиқлик алмашинуви юзасида чуқурчалар ҳосил қилиш ва ҳоказо.

Бундан ташқари қурама усуллардан фойдаланилади. Масалан, оқимни бурама ҳаракатга келтириш усули билан турбулизаторларни биргаликда қўллаш, худди шу усули билан спиралсимон қовурғани биргаликда қўллаш ёки турбулизаторларни қовурғали юзалар билан биргаликда қўллаш ва ҳоказо.

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

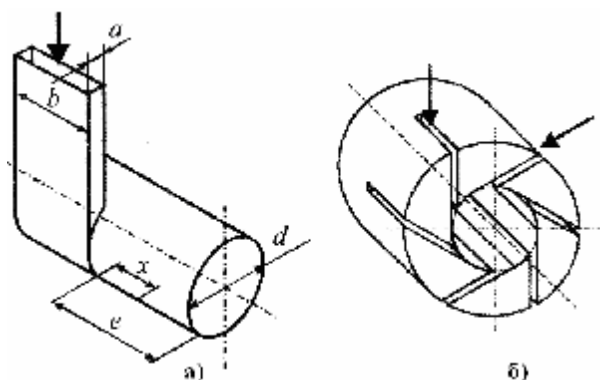
Иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш усулларини қўллаб ҳар қандай иссиқлик алмашинуви қурилмасини яратиш натижасида қуйидагиларга эришилади: металл сиғими камаяди, ташқи ўлчамлари кичраяди, юзалардаги ҳароратлар пасаяди, ишончлилиқ ортади, мосламанинг ишлаш давомийлиги ортади.

1.1. Иссиқлик ташувчини қувурга тангенциал узатиш.

Сууюқликни қувурга тангенциал узатиш, бир ёки бир нечта тешиқлар орқали амалга оширилади. Ушбу тешиқларнинг қўндаланг кесими думалоқ ёки тўғри бурчакли бўлиши мумкин, бунда қувурга узатилаётган сууюқлик қувурнинг қўндаланг кесими ва узунлиги бўйича турлича тарқалиши мумкин. Одатда ушбу усул ёрдамида оқимни бурама ҳаракатга келтириш қувур бошида амалга оширилади, бунинг натижасида тангенциал каналлар орқали сууюқликнинг тўлиқ қисми ёки бир қисми узатилиши мумкин [3, 4].

Тангенциал гирдоблантиргич – энг содда ва кўп тарқалган мослама (1.1, *a*-расм). Тангенциал гирдоблантиргичда узатувчи каналларнинг шакли, тўғри бурчакли, думалоқ ёки овалсимон бўлиши мумкин. Узатувчи каналларнинг сони биттадан тўрттагача ўзгариши мумкин, уларни сонини янада ортиши билан гирдоблантиргичдан кейинги тезликнинг азимутал нотенглик даражаси камаяди. Узатувчи каналнинг кенглиги *b* ва баландлиги

a , олиб кетувчи кичик қувурнинг диаметри d ва узунлиги l тангенциал гидоблантиргичнинг асосий геометрик параметрлари ҳисобланади [5].



1.1 – расм. Гидоблантиргичнинг турлари. а) тангенциал гидоблантиргич; б) тангенциал-ёриқли гидоблантиргич.

Қувурнинг кириш қисмида ўрнатилган тангенциал гидоблантиргични қувурда иссиқлик бериш коэффицентини А. Абқарян, А. Нау ва р. West (АҚШ) лар томонидан тўлиқ тадқиқот қилинган. Рейнольдснинг кичик сонлари учун ($Re_d \approx 10^4$) тажриба қуйидаги тенглама билан умумлаштирилади [1]:

$$Nu_d / Nu_\infty = (1 + \Phi)^{1,75} \quad (1.1)$$

Тажриба натижаси қувур узунлиги $l/d=18,0$ қиймат учун олинган. $Re_d=(2...5) \cdot 10^5$ соҳада ва $\Phi < 2,4$ бўлганда, $l/d=25,0$ қувур учун тажриба натижалари қуйидаги тенглама ёрдамида умумлаштирилади:

$$Nu_d / Nu_\infty = (1 + \Phi)^{1,7} \quad (1.2)$$

Иссиқлик ташувчини битта тешик орқали тангенциал узатишни тадқиқот қилиш учун кириш қисмининг конструктив параметрлари турлича қилиб олинган ва бунда узун қувурда ($l/d=39$) ҳавони совутишда иссиқлик бериш ўрганилган [6]. Тажрибалар $Re=3 \cdot 10^3 \dots 2 \cdot 10^4$ ва $\bar{F}_{ex}=0,5 \dots 1$, бўлганда ўтказилган, тажриба натижаларининг кўрсатишича \bar{F}_{ex} нинг камайиши билан иссиқлик алмашинувининг жадаллиги ошади.

Тангенциал гирдоблантиргич ёрдамида $Re=3 \cdot 10^3 \dots 10^4$ ораликда ўтказилган тажрибаларнинг энг яхши қийматлари $\overline{F}_{\infty}=0,5$ да олинган, уни қуйидаги ўхшашлик тенгламаси ёрдамида тавсифлаш мумкин:

$$Nu_f = 0,417 Re_f^{0,57} \quad (1.3)$$

Гирдоблантиргичда гидравлик йўқотилишлар турли хил сабабларга кўра фарқланади. Улардан асосийлари: киришдаги йўқотилишлар, тезлик профилларини қайта қуриш учун йўқотилишлар, ишқаланишга йўқотилишлар, кўндаланг кесимни кескин ўзгариши ва ҳоказо. Турли хил гирдоблантиргичларда босим йўқотилиши учун экспериментал боғлиқлар [7, 8] да келтирилган.

Тангенциал гирдоблантиргичларнинг турли хил конструктив параметрларида иссиқлик беришни тадқиқот қилиш бўйича аниқланган натижаларнинг таҳлили шуни кўрсатдики, куракчаларнинг кенглигини ортириш ва диаметрни кичрайиши иссиқлик бериш жадаллигини камайишига олиб келади. $Re < 5,5 \cdot 10^4$ бўлганда $N=8$ ли гирдоблантиргич $N=4$ ли гирдоблантиргичга нисбатан иссиқлик беришнинг юқори жадаллигини таъминлайди, $Re > 5,5 \cdot 10^4$ бўлганда эса тесқари.

Тангенциал-ёриқли гирдоблантиргич (1, б-расм) ичи бўш цилиндрлан иборат бўлиб, унинг ён юзида ёриқлар ҳосил қилинган. Гирдоблантиргичнинг буралиш даражасини ўзгартириш пазлар сонини ва оғиш бурчагини ўзгартириш билан амалга оширилади.

Тангенциал-ёриқли гирдоблантиргич ёрдамида бурама ҳаракат ҳосил қилинганда қувур юзасидан ҳаво оқимиға маҳаллий иссиқлик беришини Э.Волчков ва В.Тереховлар ўрганишган. Оқимни гирдоблантиргичдан чиқишда буралганлик бурчаги 74° олинган тажриба натижалари қуйидаги тенглама билан умумлаштирилган:

$$Nu_x = 0,0288 Re_x^{0,8} \cdot Pr^{0,4} (1 + tg^2 j^*)^{0,4} \quad (1.4)$$

Бу ерда: j^* - канал юзаси яқинида оқим буралганлик бурчагининг дастлабки қиймати.

Э. Волчков ва С. Спотарь қисман бурама ҳаракат ҳосил қилинувчи қувурда маҳаллий иссиқлик беришни ўрганишган. Ҳаво оқимида тажриба натижаларининг қуйидагича умумлаштириш мумкин:

$$Nu_x = 0,113 \cdot Re_x \cdot Pr_x^{0,4} \cdot \bar{x}^{-0,56} (1 + tg^2 j^*)^{0,4} \quad (1.5)$$

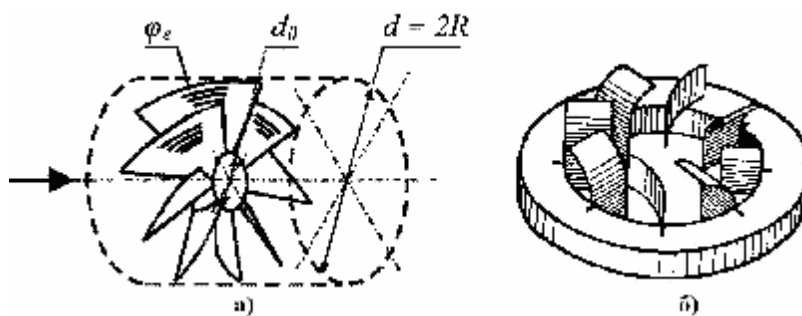
(1.5) тенглама $\bar{x} = 20 \dots 110$, $x/R = 0,125$ соҳада ўринлидир [5].

Алимов Р.З. томонидан $Re = 2 \cdot 10^4 \div 8 \cdot 10^4$ сонининг катта қийматларида иккита симметрик жойлашган канал орқали ҳаво тангенциал узатилувчи қувур орқали иссиқлик берилиши ўрганилган. $\bar{l}_{ex} = 13,3$ ёриқ орқали узатилади, \bar{F}_{ex} қиймати эса 0,765 га тенглашади. Ушбу шароитда иссиқлик бериш жадаллиги қуйидаги мезонли менглама билан ёзилади:

$$Nu_f = 0,044 Re_f^{0,86} \quad (1.6)$$

Бундай гирдоблантиргичларнинг камчилиги ҳосил қилинган буралишларнинг жадаллиги қувур узунлиги бўйича камаяди, шунинг учун узун қувурларда оқимни бурама ҳаракатга келтиришни амалга ошириш учун уларни кўп марта такрорлаш зарур.

Куракчали гирдоблантиргичлар – куракчали ўқий йўналтирувчи мосалма бўлиб, каналнинг радиуси бўйича жойлаштирилади. Куракчалар ташқи ҳалқага ва d_0 диаметрли марказий жисмга маҳкамланади, канал ўқиға нисбатан белгиланган бурчак остида жойлаштирилади. Куракчали гирдоблантиргичнинг куракчаси текис ёки эгри чизикли бўлиши мумкин [5].



1.2 – расм. Куракчали гирдоблантиргичлар. а) аксиал-куракчали гирдоблантиргич; б) профилланган куракчали гирдоблантиргич.

А. Сударев, В. Антоновск ва Л. Кузнецовлар узунлиги $l/d = 100$ бўлган қувурда аксиал-куракчали гирдоблантиргич ёрдамида бурама ҳаракатга

келтирувчи ҳаво орқали локал иссиқлик алмашинуви ўрганилган, бунда куракчанинг буралиш бурчаги ўзгармас ($n=0$) бўлган. Куракчанинг буралиш бурчаги j , 50 дан 78 градусгача ўзгаради, марказий жисмнинг ўлчамсиз диаметри \bar{d}_0 , 0,65...0,83 ни ташкил этади. Рейнольдс сонининг ўзгариш соҳаси 10^5 дан 10^7 гача бўлганда тажриба натижалари қуйидаги менглама ёрдамида умумлаштирилади

$$Nu_x = 0,026K(1 + tgj_e)^{0,77} Re_x^{0,8} \exp(0,42\bar{d}_0^3) \quad (1.7)$$

Бу ерда $K = (w_m / \bar{w}_x)^{0,8}$ - максимал ўқий тезликни қувур узунлиги бўйича ўзгаришини аниқловчи параметр.

Узунлиги $l/d=150$ бўлган қувурда локал иссиқлик бериш А. Халатов ва В. Летягин томонидан тўлиқ тадқиқот қилинган, бунда $tgj = tgj_c(R/r)^n$ даражали қонунга биноан лойиҳаланган аксиал-куракчали гирдоблантирич ёрдамида ҳаво бурама ҳаракатга келтирилади. Бурчак j , 15^0 дан 60^0 гача ўзгаради ва даража кўрсаткичлари -1 дан +3 гача ($\bar{r}_0 = 0,47$) ўзгаради ҳамда қуйидаги тенглама ҳосил қиланган

$$Nu_x = 0,0306 Re_x^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot e_j \cdot e_T \quad (1.8)$$

бу ерда $e_j = 1 + 0,49(\Phi - 0,19)^{0,61}$

(1.9)

Бу ерда e_j - оқимни буралувчанлик омили.

В. Щукин ва А. Ковальногов [10] сувнинг оқимида ва қисман бурама ҳаракатли оқим вақтида маҳаллий иссиқлик беришни тадқиқот қилишган. $Re_d=(1...9) \cdot 10^4$ соғада тажриба натижалари қуйидагича умумлаштирилади ($l/d=60$)

$$Nu_f = 0,024 Re_f^{0,8} Pr^{0,4} \cdot \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25} \cdot e \cdot e_x \quad (1.10)$$

Куракчали гирдоблантиригичли қувурларда иссиқлик беришни тадқиқот натижалари $j = 75^0$ ва $n=0$ бўлганда $K_f=f(Re_f)$ график шаклида келтирилган [2].

$n=0, j=15^0, 30^0, 45^0, 60^0, \text{ ва } 75^0$ бўлганда, $Re=10^4 \div 9 \cdot 10^4$ соҳада узун қувурлар учун иссиқлик беришнинг тадқиқот натижалари ($l/d=60$) қуйидаги мезонли тенглама билан умумлаштирилади

$$Nu_f = 0,021 Re_f^{0,8} Pr_f^{0,43} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25} (1 + 0,147 j^{-0,82}) \quad (1.11)$$

Ташқи диаметрда оқимнинг буралиши $j=45^0$ ва $n, -1; 0;$ ва 3 га тенг бўлганда, рейнольдснинг шу соҳасида узун қувурларда иссиқлик беришнинг тадқиқот натижалари қуйидаги мезонли тенглама билан умумлаштирилади

$$Nu_f = 0,0286 Re_f^{0,8} Pr_f^{0,43} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25} (1 + 0,044n) \quad (1.12)$$

Куракчали гирдобланттиргичли қувурларда иссиқлик бериш бўйича тажриба натижаларини умумлаштирилганлари $K_j=f(Re_f)$ ва $K_n=f(Re_f)$ боғлиқликли график шаклида келтирилган [4].

(1.11) ва (1.12) формулаларда тажриба нуқталарини боғлиқликлардан оғиши 6% дан ошмайди.

$n=0, j=15^0 \div 75^0$ ва $Re=10^4 \div 9 \cdot 10^4$ бўлганда тажриба натижалари қуйидаги формула бўйича умумлаштирилади

$$x = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} (1 - 0,13 j^{-0,65}) Re^{0,02j} \quad (1.13)$$

Узун қувурлар учун юза яқинида буралиш бурчаги 45^0 , $n, -1$ дан 3 гача ўзгарганда ва $Re=10^4 \div 9 \cdot 10^4$ соҳада тажриба натижаларини умумлатирувчи тенглама қуйидагича

$$x = \frac{0,2265}{Re^{0,19}} (1 - 0,02n) Re^{0,01n} \quad (1.14)$$

Куракчали гирдобланттиргичли қувурда гидравлик қаршилик бўйича тажриба натижаларининг умумлаштирилган натижалари $x/e_n=f(Re)$ ва $x/e_j=f(Re)$ график шаклида келтирилган.

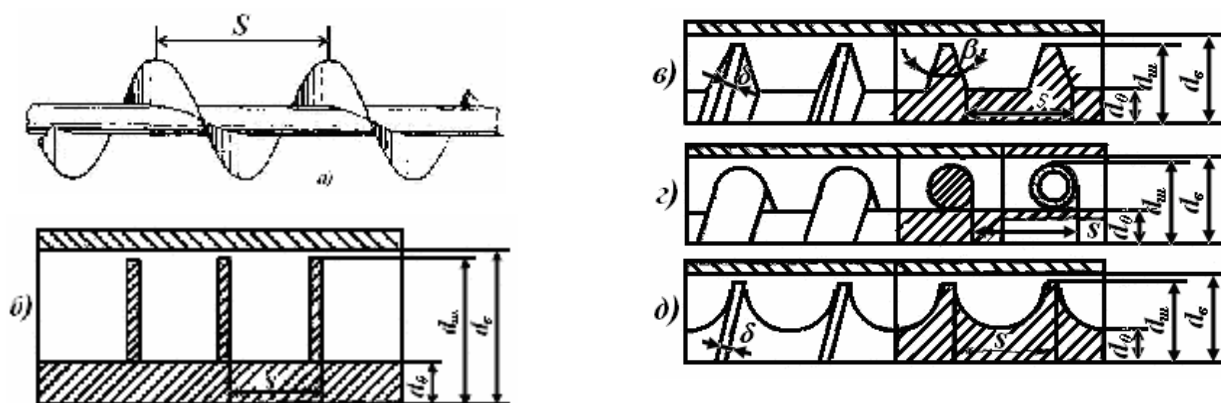
Тажриба натижаларининг (1.13) ва (1.14) боғлиқликлардан оғиши 8% дан ошмайди.

Олинган натижаларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, a коэффициентлар бир хил бўлганда $n > 0$ бўлган гирдоблантиргичлар $n = 0$ бўлган гирдоблантиргичларга нисбатан кичик гидравлик қаршиликка эга. Шунингдек, $j = 75^0$, $n = 0$ ва 45^0 , $n = 3$, $Re = idem$ бўлган гирдоблантиричли узун қувурлар учун иссиқлик алмашинувининг жадаллиги бир хил. $Re = 10^4 \div 9 \cdot 10^4$ бўлганда гидравлик қаршилик коэффициенти биринчи гирдоблантиргичда иккинчисига қараганда катта бўлади. $l/d = 60$ бўлганда 2,5-5% га, $l/d = 50$ бўлганда 8-12% га, $l/d = 30$ бўлганда 10-15% га катта бўлади.

Куракчали гирдоблантиргичларнинг асосий камчилиги чиқишдаги азимутал тезликнинг нотенглиги ҳисобланади.

1.2. Шнекли бурагич ёрдамида иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш.

Шнекли ўрнатмалар деформацияланган ленталардан тайёрланади, ленталар ўзак стерженга пайвандланади, шунингдек қуйма усули ёки механик ишлов бериш орқали тайёрланади. Винтсимон ўрнатма тайёрлаш учун зарур бўлган ленталар пластик металлдан (одатда рангли) тайёрланади. Шнеклар бир ёки кўп йўлли бўлиши мумкин. Шнекли ўрнатмаларнинг конструктив схемалари 1.3-расмда келтирилган.



1.3 – расм. Шнекли ўрнатмаларнинг конструктив схемалари.

а) шнек; б) ариқчали тўғри бурчакли шнек; в) трапециясимон ариқчали шнек; г) симни ёки қувурни ўраб ҳосил қилинган шнек; д) ярим думалоқ ариқчали шнек.

А. Халатов ва Ю.Осипенко $l/d=15$ қувурда маҳаллий иссиқлик алмашинувини ўрганишган, бунда ҳаво оқимини бурама ҳаракатга келтиришда чиқиш бурчаги 82^0 бўлган уч поғонали гирдоблантиргичдан фойдаланилган. Втулка $\bar{d}_o=0,5$ га тенг. $Re_d=(1...6)\cdot 10^4$ соҳада тажриба натижалари қуйидаги тенглама билан умумлаштирилади

$$Nu_x = 0,63\hat{O}_0^{0,58} [1 + 0,58\exp(-0,084\bar{x})] Re_d^{0,5} \quad (1.15)$$

Э. Нержнқй ва А. Сударев узунлиги $l/d=180$ бўган қувурда локал иссиқлик алмашинувини ўрганишган, бунда ҳавони бураама ҳаракатга келтиришда икки ва тўрт йўлли гирдоблантиргичдан фойдаланилган. $Re_d=8\cdot 10^4 \dots 10^7$ соҳада улар қуйидаги тенгламани олишган:

$$Nu_x = 0,0306 Re_x^{0,8} (1 + tg^2 j_o)^m \quad (1.16)$$

бу ерда $m=0,8\exp(-0,027\bar{x})$.

Шнекли гирдоблантиргич ёрдамида оқимни маҳаллий бурама ҳаракатга келтиришда қувурда иссиқлик бериш, конструкциялари ва уларнинг геометрик тавсифлари [11] келтирилган.

Шнекли гирдоблантиргичли қувурда Re сонин иссиқлик беришга таъсири $Nu_f=f(Re)$ график шаклида келтирилган.

Шнекли гирдоблантиргич ёрдамида оқимни бурама ҳаракатга келтиришда узун қувурларда ($l/d=60$) иссиқлик беришнинг тадқиқот натижалари $Re_f=10^4 \div 6\cdot 10^4$ соҳа учун қуйидаги мезонли тенглама орқали ифодаланади

$$Nu_f = 0,021 Re_f^{0,8} Pr_f^{0,43} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25} (1 + 0,092\bar{j}^{-1,73}) \quad (1.17)$$

бу ерда $\bar{j} = \phi/15$.

Шнекли гирдоблантиргичлар учун $j=45^0$ ва $d'/d = 1 \div 0,5$ бўлганда

$$Nu_f = 0,0328 Re_f^{0,8} Pr_f^{0,43} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25} \left[1 + 0,0355 \left(\frac{d'}{d} \right)^{-3,15} \right] \quad (1.18)$$

(1.17) ва (1.18) формулаларга мувофиқ, тажриба нуқталарини боғлиқликдан оғиши 8% дан ошмайди.

Шнекли ўрнатмалар ёрдамида ҳосил қилинган каналларнинг гидравлик қаршилиги ламинар режимда ўрганилган [12]. Ўрнатмаларнинг геометрик тавсифлари жадвал шаклида келтирилган [4]. Қирқилган шеклар қалинлиги 0,5 мм бўлган тўғри бурчакли қовурғадан иборат, ўралган шнеklar қовурға ролини бажаради, улар диаметри 2,9 мм бўлган симдан тайёрланади. Барча шнеklar бир йўлли бўлиб, оқимнинг буралиш бурчаги ва канал кўндаланг кесимининг радиал ўлчами 1 дан 17 гача ўзгаради, эгри чизиқли каналларнинг нисбий узунлиги $l/d_0=73...509$. тажрибалар сувда ва $Re=2\cdot 10^3...4\cdot 10^4$ соҳада ўтказилган ва ишқаланиш қаршилиги коэффицентининг ўртача қиймати олинган.

Каналда ўрнатилган 12 та шнекли ўрнатмалар ёрдамида олинган тажриба натижаларини умумлаштирилган формуласи қуйидагича:

$$x = c Re^{-0,42} \left(\frac{d_v}{D} \right)^{0,65} y^{0,3} \quad (1.19)$$

Бу ерда қирқма шнеklar учун $c=5,55$, ўрамли учун $c=4,90$.

Тадқиқот натижалари $x=f(Re)$ график шаклида келтирилган. Тажриба натижаларини умумлаштирувчи боғлиқликдан оғиши 10% дан ошмайди.

Шунингдек, шнекли гирдобантиргичлар ёрдамида қувурдаги гидравлик қаршилиқ ўрганилган [10]. Синалган гирдоблантиргичларнинг буралиш бурчаги $j=45^0, 60^0, 75^0$. диаметрларининг нисбати $d'/d, 1; 0,75$ ва $0,5$ ни ташкил этади. Шнекли гирдоблантиргичли қувурда гидравлик қаршилиқни тадқиқот қилиш $Re=6\cdot 10^3\div 6\cdot 10^4$ соҳада бажарилган. Тажриба натижаларини умумлаштирувчи тенглама қуйидаги кўринишда бўлади

$$x = \frac{0,3164}{Re_f^{0,25-0,03\bar{j}}} \left(1 + 4,7 \cdot 10^{-6} \bar{j}^{-8,4} \right) \quad (1.20)$$

бе ерда $\bar{j} = \varphi/15$.

$j=45^0$ бўлганда

$$x = \frac{0,3320}{Re_f^{0,19}} \left[0,24 + 0,76 \left(\frac{d'}{d} \right)^{-3,76} \right] \quad (1.21)$$

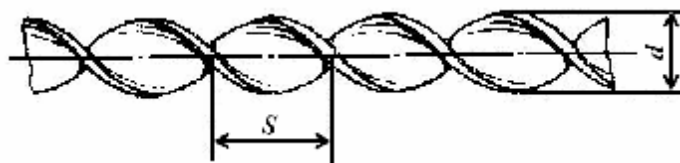
Тадқиқот натижалари $x=f(Re)$ график шаклида келтирилган.

Тажриба нуқталарининг (1.20) ва (1.21) боғлиқлардан оғиши 6% дан ошмайди.

Шнекли гирдоблантиргичларни камчилиги, замонавий энергетик иссиқлик алмашинуви қурилмаларини тайёрлаш учун кўп миқдорда листли материал зарур бўлади. $d=30 \times 2$ мм бўлган қувурлар учун металл сарфи ва иссиқлик алмашинув қурилмаларини массаси тахминан 15% га ортади. Шунингдек, Re сонининг ўсиши билан уларнинг самарадорлиги камаяди. Ифлосланган оқимлар учун шнекли гирдоблантиргичларни қўллаш қўшимча қийинчиликларни келтириб чиқаради.

1.3. Буралган лента ёрдамида иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш.

Лентали гирдоблантиргичлар қувурнинг бутун ҳажми бўйича микро уюрмалар ҳосил қилади, нафақат девор олди қатламида, балки улар ламинар оқим учун ҳам истиқболлидир. Агар лента қувур билан яхши металл контактга эга бўлса, лентали гирдоблантиргичлар ёрдамида оқимни уярма ҳаракатга келитириш ҳисобига иссиқлик алмашинувини жадаллаштиришдан ташқари, ички қовурғанинг кам самарадорлигини олиш мумкин. Винтсимон ўрнатмалар буралган ленталар шаклида ясалиши мумкин. Технологик тайёрлашлардан келиб чиқиб $\varphi \leq 45^\circ$ бўлганда ўрнатма буралган лента шаклида тайёрланиши мумкин. Винтсимон ўрнатмалар етарлича тирқиш билан ўрнатилиши ёки қувур билан ўрнатма контакти ўрнини пайвандлаб маҳкамлаш мумкин. Ушбу ҳолда иссиқлик алмашинуви қурилмасининг қувурини тозалаш осонлашади. Лентали гирдоблантиргичнинг муҳим геометрик тавсифи унинг қадами ҳисобланади, кадам бурлаган лента 180° га буралганда гирдоблантиргичнинг ўқий ўлчамига тенг бўлган катталиқ. Буралган лентанинг кўриниши 1.4-расмда келтирилган.



1.4 – расм. Буралган лента.

Лентали турбулизаторлар В.М. Азарский ва бошқалари [13], А. Клячак [14], Н.В. Зозуля ва И.Я. Шкуратов [15], С.В. Хун ва А.Е. Берглес [15], шунингдек, М.Х. Ибрагимов ва бошқалар [17] томонидан кенг тадқиқот қилинган. Уларни тажарибани ўтказиш шароитлари жадвал шаклида келтирилган [18].

В. Мигай ва Л. Голубев $l/d=80$ ва $s/d=4,7$ бўлганда буралган лента ёрдамида ҳаво оқими гидроблантирилганда маҳаллий иссиқлик алмашинуви ўрганилган. $Re_d=7,1 \cdot 10^3 \dots 4 \cdot 10^4$ соҳада олинган натижалар қуйидаги тенглама ёрдамида ифодаланади

$$Nu_d / Nu_\infty = 1 + 1,7 \cdot \text{tg} j_w^0 \cdot \exp(-0,046 \cdot \bar{x}) \quad (1.22)$$

бу ерда j_w^0 - қувурдаги буралган лентанинг буралиш бурчаги.

В. Мигай узунлиги $l/d=110$ бўлган қувурда ҳавонинг оқимида маҳаллий иссиқлик алмашинуви тадқиқот қилган. $r_0/R > 0,75$ учун тажриба маълумотлари қуйидаги тенглама билан умумлаштирилган

$$Nu_d / Nu_\infty = 1 + \text{tg} j_0 \cdot \exp(-0,035 \cdot \bar{x}) \quad (1.23)$$

$r_0/R < 0,75$ ҳолат учун умумлаштирилган тенглама

$$Nu_d / Nu_\infty = 1 + 0,867(2 + r_0/R) \text{tg} j_0 \cdot \exp(-0,035 \cdot \bar{x}) \quad (1.24)$$

(1.23) ва (1.24) тенгламаларда: $\bar{x} = x/d$

Буралган лентали винтсимон каналди конвектив иссиқлик алмашинуви тезлиги ва оқимнинг “уюрмавий” аралашшининг йиғиндисидан аниқланади. В.К. Мигай Рейнольдс ўхшашлигидан фойдаланиб оқим ва қувур девори орасидаги иссиқлик алмашинувини ҳисоблаш учун қуйидаги тенгламани аниқлаган [19]

$$Nu = \frac{85 \left(1 + \frac{1,75}{Pr+8}\right) Pr^{0,023} \cdot Re^{0,8} \cdot Pr \left[1 + 4p^2 \left(\frac{R_0}{H}\right)^2\right]^{0,4}}{\sqrt{I} \cdot \frac{H}{d_{eq}} + \frac{1 + 2,14 Re^{-0,1} \left[1 + 4p^2 \left(\frac{R_0}{H}\right)^2\right]^{-0,05} (Pr^{2/3} - 1)}{1 + \frac{4d_y}{7,5H \cdot Re \cdot I} (5050 \cdot Pr^{0,69} + 0,00006 Pr^3)}} \quad (1.25)$$

Тадқиқот натижалари $Nu_f=f(Re_f, s/d)$ график шаклида келтирилган.

В. Щукин оқимнинг ламинар ва турбулент режимида иссиқлик алмашинуви бўйича тажрибалар бажарган, тажриба натижалари қуйида келтирилган:

- жуфт уюрмали ламинар оқимда:

$$Nu = 0,3 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,43} (D/d)^{0,135} \quad (1.26)$$

(1.26) тенглама $Re^*=150 \dots 8 \cdot 10^3$; $s/d=2,5 \dots 11$ соҳада ўринли.

- жуфт уюрмали турбулент оқимда:

Ҳаво:

$$Nu = 0,079 \cdot Re^{0,74} \cdot Pr^{0,43} (T_f/T_w)^{0,575} \cdot (D/d)^{0,11} \quad (1.27)$$

Тенглама s/D , 1,8 дан 13 гача; Re^* , $Re_{cr}^{(2)}$ дан $5,9 \cdot 10^4$ гача соҳада ўринли.

Сув, суюқ металл:

$$Nu = 0,079 \cdot Re^{0,74} \cdot Pr^{0,4} \left(\frac{D}{d}\right)^{0,11} \cdot \left(\frac{m_f}{m_w}\right)^{0,25} \quad (1.28)$$

С.В. Хун ва А.Е. Берглесларнинг тажрибалари асосида лентали гидобланттиргичлар ўрнатилган қувурда иссиқлик беришни ҳисоблаш учун мезонли боғлиқлик олинган

$$Nu = 5,172 \left[1 + 5,484 \cdot 10^{-3} Pr^{0,7} [Re/(l/d)]^{1,25}\right]^{0,5} \quad (1.29)$$

(1.29) тенглама муаллифларни сувда ва этиленгликолда ўтказилган барча тажрибаларни умумлаштиради. (1.29) тенглама бўйича олинган тажриба натижаларининг ўртача квадратик оғиши $\pm 16,4\%$.

Буралган лента ёрдамида иссиқлик беришни тажрибавий тадқиқот натижалари Кох [21] ва В.К. Ермолин [22] ишларида келтирилган.

Кохнинг тажрибасида лентали гидобланттиргич ўрнатилган қувурда ҳаво қиздирилади. Бунда $s/d=2,5\div 11$, ишчи қисм узунлиги $20d$, ишчи қисм олдидаги қувур – $50d$. Тажриба натижалари $Nu_m=f(Re_m, s/d)$ график шаклида келтирилган.

В.К. Ермолиннинг тажрибасида умумий узунлиги $39d$ ва гидобланттиргичнинг узунлиги $19d$ бўлган қувурда ҳавони совутиш ўрганилган. Лентали гидобланттиргичлар $s/d=3,16\div 9,5$ га эга. Тажриба натижалари $Nu_f=f(Re_f, s/d)$ график шаклида келтирилган.

М.Х. Ибрагимов, Е.В. Номофилов ва В.И. Субботин [17] ишларида $s/d=2,1\div 9,9$ ва $Re_f=10^4\div 4\cdot 10^4$ соҳаларда сув ва суюқ металлларни гидобланттирилган оқимларни қиздиришда исиклик бериш тадқиқот қилинган. Гидобланттиргичли қувур узунлиги $57d$. Сув учун тажриба натижаларини умумлаштирилган формуласи

$$Nu_f = 0,021 Re_f^{0,8} Pr_f^{0,43} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25} \left(1 + \frac{5,65 \cdot 10^4 d}{Re_f^{1,2} s} \right) \quad (1.30)$$

$$Nu = 0,0234 Re^{0,8} Pr^{0,43} [1 + 121040 / (Re^{1,2} l / d)] \quad (1.31)$$

(1.31) тенглама $Re=18000\div 90000$ оралиқда ўринли.

Симоур [23] $s/d=1,79\div 13$ учун ҳавони қиздиришда исиклик бериш тадқиқот қилинган. Тажриба қисмининг узунлиги $28,5d$. Тажриба натижалари $Nu_f/Nu_{f0}=f(Re_f, s/d)$ график шаклида келтирилган.

В. Мигай [19] ва В. Щукин [4] буралган лентали қувурда гидравлик қаршиликни аниқлаш учун ламинар тенглама олишган:

- жуфт уюрмали ламинар оқим [4]:

$$I_j = \frac{6,34}{Re^{0,47}} \left(\frac{D}{d} \right)^{0,26} + \frac{25,6}{Re} \quad (1.32)$$

(1.32) тенглама $s/D=2,5\div 11$; $De=50\div 8\cdot 10^3$ соҳада ўринли.

- жуфт уюрмали турбулент оқим [8]:

$$s/d = 1,8\div 2,5; I_j = 4,72 Re^{-0,35} (D/d)^{0,74};$$

(1.33)

$$s/d = 2,6 \dots 13: I_j = 0,705 Re^{-0,35} (D/d)^{0,09} + 0,009 (D/d)^{0,65}. \quad (1.34)$$

[13] ишда тажрибалар $0 \leq s/D \leq 8,24$ оралиқда бажарилган. Улар ҳаво учун $\overline{Nu} = f(Re)$ боғлиқликни олишган. Исиқлик бериш бўйича умумлаштирилган қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\overline{Nu} = Re Pr \left\{ I \left[5 Pr + d \ln \left(\frac{30/d - 1 + 1/Pr}{5/d - 1 + 1/Pr} \right) + d \ln (Re \sqrt{x/2} / 60) \right] \right\}^{-1} \quad (1.35)$$

Крейт ва Марголис [26] $s/d = 2,58 \div 7,3$ бўлганда тажриба ўтказишган. Улар сув ва ҳаво учун $\overline{x} = f(Re)$ боғлиқликни олишган.

М.Х. Ибрагимов, Е.В. Номофилов ва В.И. Субботинлар [17] $s/d = 2,1 \div 9,9$ бўлганда сув ва суюқ металл буралган оқимда гидравлик қаршилиқни ўрганишган. Муаллифлар шундай хулосага келишди, оқим буралганда фақатгина $s/d < 3,3$ бўлганда гидравлик қаршилиқ ортади, аммо ушбу хулоса бошқа тадқиқотлар натижалари билан мос келмайди. $Re = 10^4 \div 4 \cdot 10^4$ бўлганда тажриба тадқиқотларининг натижалари қуйидаги формула билан умумлаштирилган

$$\overline{x} = 1 + 14,35 \left(\frac{d}{s} \right)^4 \quad (1.36)$$

Гэмбил ва Бандиларнинг [27] ишларида сув ва этиленгликолли буралган оқимда $s/d = 2,26 \div \infty$ бўлганда гидравлик қаршилиқ ўрганилган. $Re = 2,5 \cdot 10^3 \div 9,5 \cdot 10^4$ бўлганда тажриба натижалари қуйидаги формула бўйича умумлаштирилади

$$x - x_0 = \frac{0,21}{(s/d)^{1,31}} \left(\frac{Re}{2000} \right)^n \quad (1.37)$$

Симоур [11] ишида $s/d = 1,79 \div 13$ бўлганда ҳаволи буралган оқимда олиб борилган тадқиқот иши келтирилган. Тадқиқот натижалари $\overline{x} = f(Re, s/d)$ график шаклида келтирилган.

Лентали гирдоблантиргич ўрнатилган қувурда гидравлик қаршиликни тадқиқот натижалари $x\left(\frac{D}{d}\right)^n = f\left[\operatorname{Re}\left(\frac{d}{D}\right)^2\right]$ боғлиқлик шаклида қайта ишланган.

$s/d=13\div 2,65$ учун турбулент режимда тажриба натижаларини умумлаштириб қуйидаги формулани олиш мумкин

$$x = \frac{0,705}{\operatorname{Re}^{0,28}}\left(\frac{d}{D}\right)^{0,09} + 0,009\left(\frac{d}{D}\right)^{0,65} \quad (1.38)$$

[23] ишда бурама лента ($s/d=2,65$) ўрнатилган қувур орқали оқиб ўтаётган ҳаво оқимининг гидравлик қаршилиги тадқиқот қилинган. Тажриба натижалари 5% гача аниқликда қуйидаги тенглама билан умумлаштирилади

$$\lg \frac{x}{x_x} = 0,875 \operatorname{Re}^{-0,066} \lg \frac{x}{l} \quad (1.39)$$

Ушбу формуладан кўриниб турибдики, $Re=10^4$ бўлганда ўрнатма узунлиги $x=0,5l$ гача камайганда гидравлик қаршилиқ 25% га камайишига олиб келади.

[29] ишда қовушқоқ суюқликлар учун “қувур ичида қувур” туридаги иссиқлик алмашинуви қурилмасининг конструкцияси келтирилган, унда лентали гирдоблантиргич ўрнатилган. Иссиқлик алмашинуви қурилмасининг ташқи қувури кўндаланг кесими майдони ўзгарувчан қилиб тайёрланган, у муҳит ҳаракат йўналиши бўйлаб, қисқаради. Винтсимон қовурға ташқи қувур кўндаланг кесими қисқариш йўналишидаги қадамга тесқари пропорционал равишда ортиб боради.

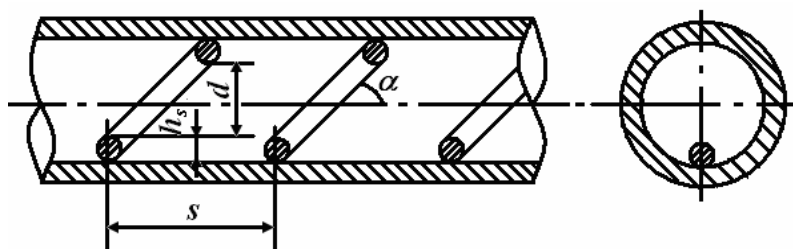
1.4. Спиралсимон пружина ёрдамида иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш.

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 яхшилади;
- тайёрлашда технологик томонлама соддалик.

Спиралсимон симли пружинкалар Н.В. Зозуля ва И.Н. Шкуратов [30], З. Нагаокий [31], В.М. Азарсков [32], А. Клачак [33] ва бошқалар томонидан тажрибавий тадқиқот қилинган.

1.5-расмда спиралсимон симли пружинка тасвирланган.



1.5-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 .

[34] 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° дан 76° 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:

$$Nu_d = 1,65 \cdot tgj \operatorname{Re}_{eq}^m \operatorname{Pr}^{0,35} \left(\frac{m_f}{m_w} \right)^{0,14} \quad (1.40)$$

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

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

[34] 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 энгил мотор мойидан фойдаланилади. Тажриба мойнинг ўртача ҳарароти 101°C дан 106° ($Pr \approx 90$) 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 [33] диаметри 6,8 мм ва узунлиги 240 мм ($l/d=35$) бўлган мис қувурда сувнинг оқимида 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 куйидаги кўринишни олади:

$$Nu_d = 1,04 Re_d^{0,54} (s/D)^{-0,29} (d/D)^{0,35} \quad (1.41)$$

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

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

[35] 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 $30^0\dots 75^0$ 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 коэффицентини ортиши текис қувур билан солиштирилганда 1,3-1,5 ни ташкил этади, бу ламинар оқим режимига караганда кам.

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

[36] 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: $d=0,5\dots 3$ мм, $s=10\dots 60$ мм, $d/D=0,033\dots 0,207$, 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.

[37] 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 [37].

Иссиқлик алмашинуви бўйича тажриба натижалари қуйидаги формула бўйича умумлаштирилади

$$\frac{Nu}{Nu_0} = 1,85 + 2,5 \frac{2h}{d} - \frac{0,85 + 2,5(2h/d) t}{2,8 + 12,6(2h/d) d} \quad (1.42)$$

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 вариантыни қўлланганда ва гидравлик қаршиликлар текис қувур билан солиштирилганда бир хил бўлганда иссиқлик сиғимини 40% га ошишига олиб келади.

[38] 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 [38].

Шунингдек, [38] ишда спиралсимон пружинка ўрнатилган қувурда трансформатор мойи оқиб ўтишида иссиқлик алмашинуви жараёнини тадқиқот натижалари ёритилган. Рейнольдс сони $30 < Re < 2000$, $300 < Re < 675$ ораликда ўзгаради. Каналнинг геометрик тавсифлари қуйидаги 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 қувурда Nu сонини ҳисоблаш учун қуйидаги тенглама таклфи этилган

$$\overline{Nu} = 1,65 t g a (Re_{De})^{0,25 (t g a)^{-0,38}} Pr^{0,35} (m/m_{ho})^{0,14} \quad (1.43)$$

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

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

Ҳисобий амалиётда қўллаш учун қуйидаги умумлаштирилган тенглама қўлланилади

$$\overline{Nu} = 0,23 Re^{0,7} Pr^{0,35} (d/D)^{0,7} (9 - s/D)^{0,5} \quad (1.44)$$

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 қувурларда иссиқлик бериш коэффицентини геометрик параметрларга боғлиқ ҳолда 2-4,5 марта ортади. Иссиқлик алмашинуви юзаси эса текис қувур билан солиштирилганда 10-60% гача ортади. Тадқиқот натижалари $\overline{Nu} = f(Re)$ график шаклида келтирилган.

Гидравлик қаршилик коэффиценти қийматини ҳисоблаш учун қуйидаги умумлаштирилган тенгламадан фойдаланилади

$$x = \frac{530}{Re^{0,36}} \left(\frac{d}{D} \right)^{1,4} \exp \left[- \left(\frac{s}{D} \right)^{0,65} \right] \quad (1.45)$$

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.

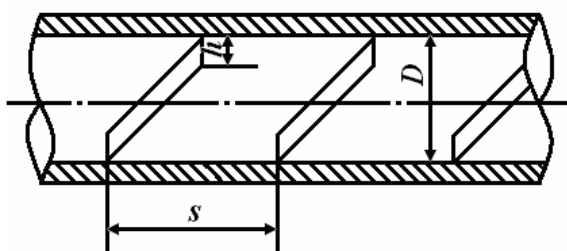
[40] ишда спиралсимон симли гирдоблантиргичда иссиқлик алмашинуви тажрибавий тадқиқот қилинган. Тажрибалар сувнинг оқимида $Re_d=3 \cdot 10^3 \div 3 \cdot 10^5$ оралиқда бажарилган. Иссиқлик алмашинуви учун умумлаштирилган тенглама қуйидаги кўринишда ифодаланади:

$$\overline{Nu} = 0,175 Re^{0,7} Pr^{1/3} (d/D)^{-0,35} \quad (1.46)$$

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.

1.5. Қувурнинг ички юзасини қовурғалаш ёрдамида иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш.

Турли хил шаклдаги спиралсимон қовурғалар бир ва икки фазали иссиқлик ташувчили иссиқлик алмашинуви қурилмаларида кенг қўлланилади. Пластинанинг кенглиги қувур диаметрига нисбатан бир неча марта кичик қилиб тайёрланади. Ушбу турдаги гидобланттиргичлар қўлланилганда иссиқлик алмашинувини жадаллаштириш нуқтаи назаридан яхши самарадор бўлиб, оқимни бурилиши ва бузилиши биргаликда содир бўлади. Пластинали спиралсимон гидобланттиргич 1.6-расмда келтирилган.



1.6-расм. Спиралсимон гидобланттиргич.

Техникада буралиш бурчаги кичик бўлган ҳолат энг кенг тарқалган ҳисобланади ($j=20...30^\circ$). Спиралсимон қовурғаланган қувурда иссиқлик алмашинуви ва гидравлик қаршилик [19] ишда тўлиқ тадқиқот қилинган. Қувур диаметри 20 мм, узунлиги 900 мм, қовурғалашнинг нисбий қадами s/d , 1,0 дан 10,0 ($h/d=0,2$) гача ўзгаради, h/d қиймат 125 дан 0,3 гача ўзгаради. Тажрибалар $Re_d=6 \cdot 10^3 \dots 5 \cdot 10^4$ соҳада ҳавонинг оқиб ўтишида олиб борилган.

Иссиқлик алмашинуви бўйича тажриба натижалари қуйидаги боғлиқлик билан умумлаштирилади:

$$\frac{Nu}{0,03Re^{0,75}} = 2,2 + 2,33 \frac{2h}{d} - \frac{1,2 + 2,3 \frac{2h}{d}}{7,6 + 5 \frac{2h}{d}} \cdot \frac{s}{d} \quad (1.47)$$

Формула $0,25 < 2h/d < 0,435$; $0,75 < s/d < 7$; $6 \cdot 10^3 < Re < 5 \cdot 10^4$ соҳада ўринли.

Иссиқлик алмашинуви ва гидравлик қаршилик бўйича тадқиқот натижалари $Nu=f(Re)$ и $x=f(Re)$ график шаклида келтирилган.

Ҳисоблашларнинг кўрсатишича, текис қувур билан бир хил бўлганда қаршиликни енгишга сарфланган қувват 40% га ортади.

Турли геометрик шаклдаги спиралсимон қовурғаларнинг назарий таҳлил умумий қаршилик коэффициентини аниқлаш имконини беради [38, 39]:

$$x = [0,3164Re_y^{-0,25} + I_v] \cos^2 b + x_s \sin^2 b \quad (1.48)$$

Буралишнинг кичик бурчаклари учун ($b=10...20^0$), (1.48) тенгламадаги иккинчи қўшилувчи жуда кичик ($\sin^2 b \approx 0$). Буралишнинг катта бурчакларида ($b=70...80^0$), (1.48) тенгламадаги биринчи қўшилувчи қуйидаги кўринишда бўлади:

$$x = 0,115 \left\{ (d/s)^{1,5} \lg s_2/h \right\}^2 / \lg(D/h)^2 \quad (1.49)$$

Сувнинг оқиб ўтишида олиган назарий ва тажрибавий маълумотларни солиштириш натижалари график шаклида келтирилган [4].

Учбурчак қовурғали қувурда $b=19^0...26^0$ бўлганда тўғри бурчакли қовурғалаш билан солиштирилганда гидравлик йўқотилиш 8...13% га ортади.

[40] ишда диаметри 20 мм ва узунлиги 800 мм бўлган ички спиралсимон қовурғали қувурда турбулент оқимда иссиқлик алмашинуви ва гидравлик қаршилик бўйича тадқиқотлар олиб борилган. Рейнольдс сони 2000 дан 50000 гача ўзгаради.

Спиралсимон қовурғанинг баландлигини ортиб бориши билан иссиқлик алмашинуви ва гидравлик қаршилик ортиб боради, энг яхши натижа $h/D=0,25$ бўлганда олинади. Ушбу ҳолда иссиқлик алмашинувини жадаллашиши 1,4...1,5 марта ошади.

Ички спиралсимон қовурғалашда иссиқлик гидравлик самарадорлик хисобларининг натижалари график шаклида келтирилган [40].

[19, 41] ишларда сув оқимида 17 та қовурғаланган қувурда иссиқлик алмашинувининг тавсифлари тажрибавий ифодаланган [41]. Гидравлик қаршилиқ коэффициентлари бўйича олинган натижалар $I/4=f(Re)$ график шаклида келтирилган.

Тўғри қовурғали қувурлар учун (тажриба маълумотлари 10% аниқлақда) умумлаштирилган тенглама қуйидаги кўринишда

$$I/4 = 0,406(b/d_y)Re^{-0,39} \quad (1.50)$$

Формула $5000 < Re < 75000$ ва $0,21 < b/d_y < 0,49$ соҳада ўринли.

Спиралсимон қовурғалар учун $\pm 12,3\%$ аниқлақдаги формула ўринлидир:

$$I/4 = 0,614Re^{-0,39}(s/d_y)^{-0,2} \quad (1.51)$$

Шунингдек, [19, 41] ишларда тўғри ва спиралсимон қовурғали қувур учун иссиқлик алмашинуви тадқиқот қилинган ва умумлаштирилган тенглама олинган.

Тўғри қовурғали қувур учун иссиқлик алмашинуви $\pm 10\%$ аниқлақдаги формуладан аниқланади

$$Nu = 0,212Re^{0,6}(b/d_y)^{0,34}Pr^{1/3}(m/m_w)^{0,14} \quad (1.52)$$

(1.52) формула $0,21 < b/d_y < 0,44$; $5 \cdot 10^4 < Re < 10^5$ соҳада ўринли.

Спиралсимон қовурға учун қуйидаги тенглама ўринли:

$$Nu = 0,369Re^{0,63}Pr^{1/3}(m/m_w)^{0,14}(s/d_y)^{-0,27}(b/d_y)^{0,34} \quad (1.53)$$

(1.53) формула $0,12 < b/d_y < 0,52$; $79,2 < s/d_y < 92$; $5 \cdot 10^4 < Re < 10^5$ соҳада ўринли.

[42] ишда Ньютон суюқликлари ламинар оқимда ҳаракатланганда ички спиралсимон қовурға кўриб чиқилган. Тадқиқотлар $s/D=0,032 \div 0,22$ оралиқда олинган. Иссиқлик самарадорлик ҳисоби натижаари $(Nu/Nu_0)/(x/x_0)=f(Re)$ график шаклида келтирилган.

Ички қовурғали қувурда ламинар оқим бўйича тажриба натижалари Уоткинсон ва бошқалар [43], шунингдек Манер ва Бергласларнинг [44] ишларида ёритилган. Ишқаланиш қаршилиги коэффиценти бўйича (иккита солиштирилаётган қувурлар учун) ва Нуссельт сони бўйича (битта қувур учун) олинган натижалар ўзаро қониқарлидир.

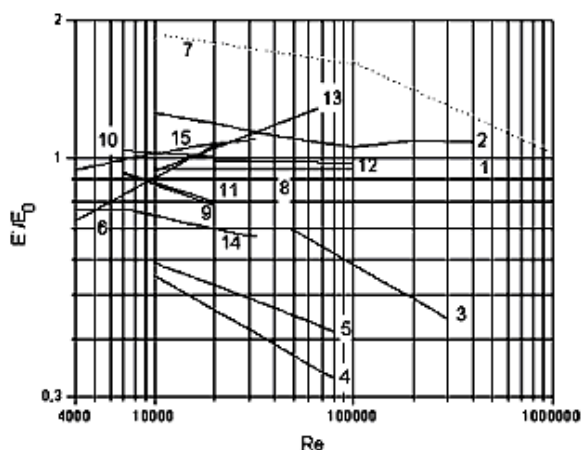
1.6. Иссиқлик алмашинувини жадаллаштиришнинг турли усуллари самарадорлигини солиштириш.

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 $h = (Nu / Nu_0) / (x / x_0)$ коэффицентдан 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 $E' = Q / NDt$ коэффицентлар нисбати шаклида ҳам ифодалаш мумкин (Q–иссиқлик оқими, N–иссиқлик ташувчини ҳайдаш учун сарфланган қувват, Δt –ҳароратлар фарқи).

Иссиқлик гидравлик самарадорликнинг баҳоси турбулент (1.7-расм) ва ламинар (1.8-расм) режимлар учун алоҳида келтирилган.

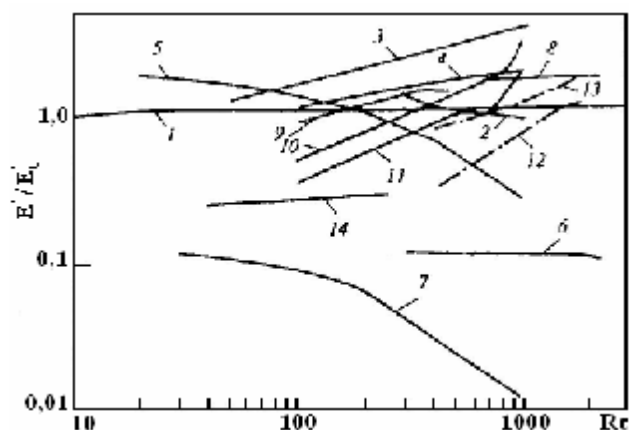
Турбулент режимда энг яхши самарадорлик кичик ҳалқали кўндаланг бўртиқли қувурда кузатилади (1.7-расмда 2 чизик). Рейнольдс сонининг $Re=80-1000$ соҳасида максимал самарадорлик нисбатан катта баландликли ҳалқали кўндаланг бўртиқлар $h/D \leq 0,1$ учун ҳам аҳамиятлидир (1.8-расмда 3

чизик). ушбу турдаги иссиқлик алмашинувини жадаллаштиргич бошқа турдаги жадаллаштиригичларга караганда жуда ҳам кўп ўрганилган.



1.7-расм. Турбулент режимда иссиқлик алмашинувини жадаллаштиргичларнинг 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.], $h/D_K = 0,079$, $\varphi = 76^\circ$; 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 режимда Re сонининг жуда кичик оралиғида кичик сферик бўртиқларнинг сифати кўндаланг бўртиқларга нисбатан анча яхши (11-расм, 13 чизик).



1.8-расм. Ламинар режимда иссиқлик алмашинувини жадаллаштиргичларнинг оптимал геометрик параметрларида самарадорликларини солиштириш: 1–текис 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 сифими камаяди. Демак, иссиқлик алмашинуви

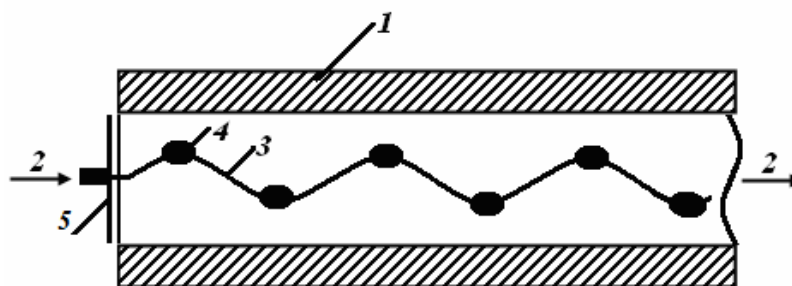
жадаллаштирилган қурилмани оддий қурилма билан солиштирилганда энергия тежамкорлиги ошади.

2. Иссиқлик алмашиниш жараёнини экспериментал тадқиқот қилиш.

2.1. Локал турбулизаторлар конструкциясининг тавсифи.

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

Лодатда локал турбулизаторлар оқимнинг тўлиқ қисмини эмас, балки керакли жойларни, масалан иссиқлик алмашинувини девор олди зоналаридаги оқимни турбулизациялайди. Ушбу ҳолда самарадор турбулизаторлардан бирининг конструкцияси куйида 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 охири 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.

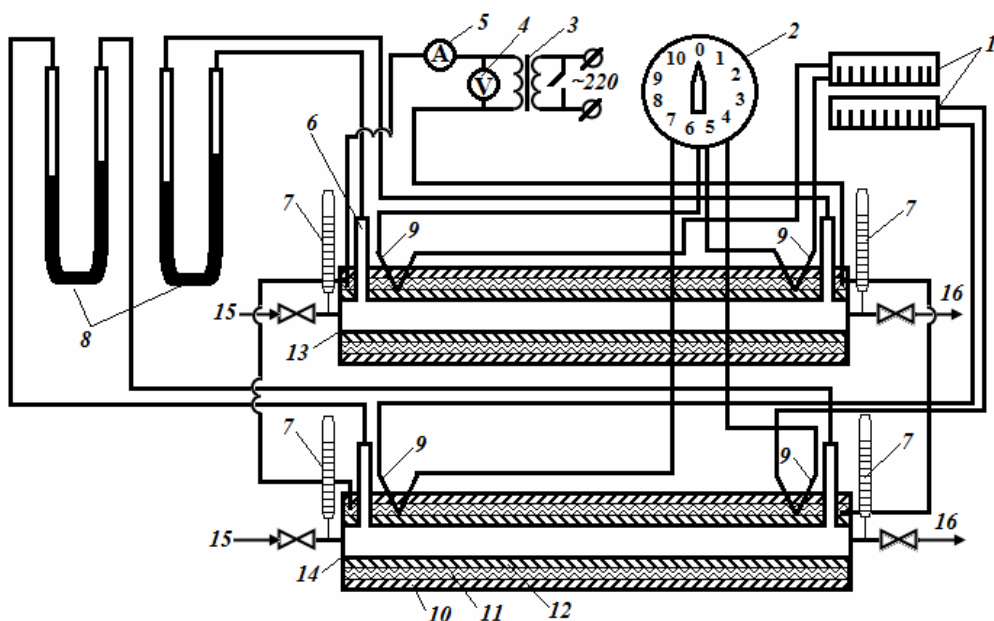
Полимерли пустотел элементининг ҳаракат частотаси қуйидагиларга боғлиқ: сим 3 нинг эластиклигига, полимерли пустотел элементи 4 нинг массасига ва ташқи шаклларига боғлиқ. Қувурларда ўрнатилган турбулизаторлар сув оқимини турбулизациялайди, айниқса иссиқлик алмашинувини девор олди зонасида оқимни турбулизациялайди, бу эса қатламларни ҳосил бўлишига қаршилик кўрсатади, иссиқлик алмашинуви жадаллашади, ишончлилик 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.

Қувурларда локал турбулизаторлар қўлланилганда иссиқлик алмашинуви жараёнларини тадқиқот қилиш учун тажриба қурилмаси яратилган. Тажриба қурилмасини принципиал схемаси 2.2-расмда ва умумий кўриниши 2.3-расмда келтирилган.

Ушбу расмда цилиндрик қувурда иссиқлик алмашинувини ўрганиш учун тажриба қурилмасининг схемаси тасвирланган.

Қурилмаси тажриба қувури 13 (локал турбулизатор ўрнатилган қувур) ва 14 (оддий текис қувур) лардан иборат. Қувурларда босим йўқолишини аниқлаш учун кичик штуцерлар 6 ўрнатилган бўлиб, улар эгилувчан шланг ёрдамида манометрлар 8 билан уланади. Сув вентил 15 орқали киритилади, унинг сарфи эса бевосита вентил 16 ёрдамида ротаметр 17 нинг кўрсаткичи бўйича ростланади. Қувурга иссиқлик бериш нихромдан тайёрланган спирал ёрдамида амалга оширилади. Иссиқлик узатилишини аниқлаш ва ростлаш учун электр юкламаси ростловчи трансформатор 3 ёрдамида амалга оширилади, ток ва кучланиш қиймати бевосита амперметр 5 ва вольтметр 4 ёрдамида аниқланади. Сувнинг қувурга киришдаги ва чиқишдаги ҳарорати эталон термометрлар 7 ёрдамида ўлчанади. Қувур қиздириш юзасининг киришидаги ва чиқишидаги ҳароратлари логометрлар 1 ёрдамида ўлчанади.



2.2-расм. Қувурда иссиқлик алмашинувини тадқиқот қилиш учун яратилган тажриба қурилмасининг принципиал схемаси.

1–логометр; 2–терможуфтни алмашлаб улагич; 3–лаборатория авторансформатори (ЛАТР); 4–вольтметр; 5–амперметр; 6–штуцерлар; 7–термометрлар; 8– манометрлар; 9–терможуфтлар; 10–асбестли иссиқлик изоляцион материал; 11–иссиқлик ажратувчи элемент (электр қиздиргич); 12–қувур девори; 13–турбулизаторли цилиндрик қувур; 14–турбулизатор ўрнатилмаган текис цилиндрик қувур; 15, 16–сувнинг кириши ва чиқиши.



2.3-расм. Тажриба қурилмасининг умумий кўриниши.

2.3. Иссиқлик алмашинуви бўйича олинган тадқиқот натижалари.

Иссиқлик алмашинуви бўйича тадқиқотларни бажариш учун қуйидаги маълумотлар берилган:

-тажриба қувурининг диаметри, $d=20$ мм;

-тажриба қувурининг кесими

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

бу ерда n —қувурлар сони, $n=1$, m —йўллар сони, $m=1$.

-сувнинг ўртача ҳарорати, $t_{\text{ўр}}=50^{\circ}\text{C}$.

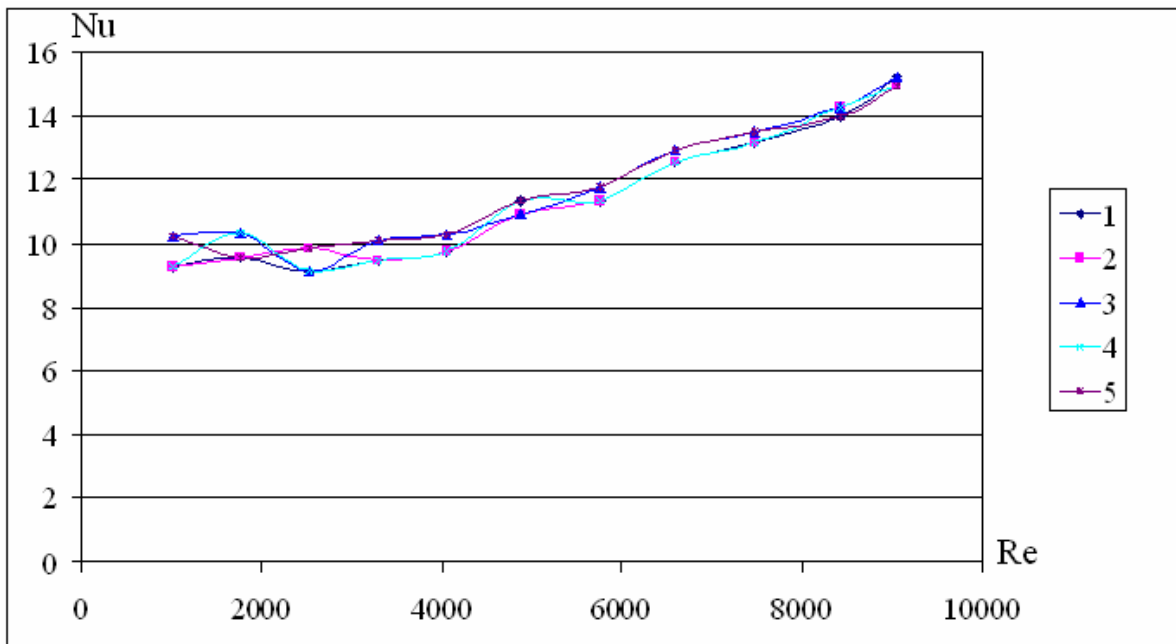
- $t_{\text{ўр}}=50^{\circ}\text{C}$ бўлганда сувнинг иссиқлик физик хусусиятлари: $\lambda=0,65$ Вт/(м·с), $\nu=0,556 \cdot 10^{-6}$ м²/с, $\text{Pr}=3,54$, $\rho=988,1$ кг/м³.

Тадқиқот тажриба қурилмасида ўн та турдаги турбулизаторлар ёрдамида олиб борилган. Олинган тажриба натижалари жадвал кўринишида ва $Nu=f(Re)$ график шаклида келтирилган.

Текис қувур

<i>№</i>	<i>Re</i>	<i>Nu₁</i>	<i>Nu₂</i>	<i>Nu₃</i>	<i>Nu₄</i>	<i>Nu₅</i>
1	1013,03	9,29054	9,29054	10,2124	9,29054	10,2124
2	1772,8	9,57154	9,57154	10,3395	10,3395	9,57154
3	2532,58	9,14692	9,83576	9,14692	9,14692	9,83577
4	3292,35	9,47172	9,47172	10,0745	9,47172	10,0745
5	4052,12	9,75117	9,75117	10,2892	9,75117	10,2892
6	4875,21	11,3584	10,8932	10,8932	11,3584	11,3584
7	5761,61	11,3412	11,3412	11,7596	11,3412	11,7596
8	6584,7	12,544	12,544	12,9162	12,544	12,9162
9	7471,1	13,1629	13,1629	13,5029	13,1629	13,5029
10	8420,81	13,963	14,2729	14,2729	14,2729	13,9629
11	9053,96	15,2135	14,9244	15,2135	14,9244	14,9244

Текис қувурда иссиқлик алмашинувини тадқиқот натижалари

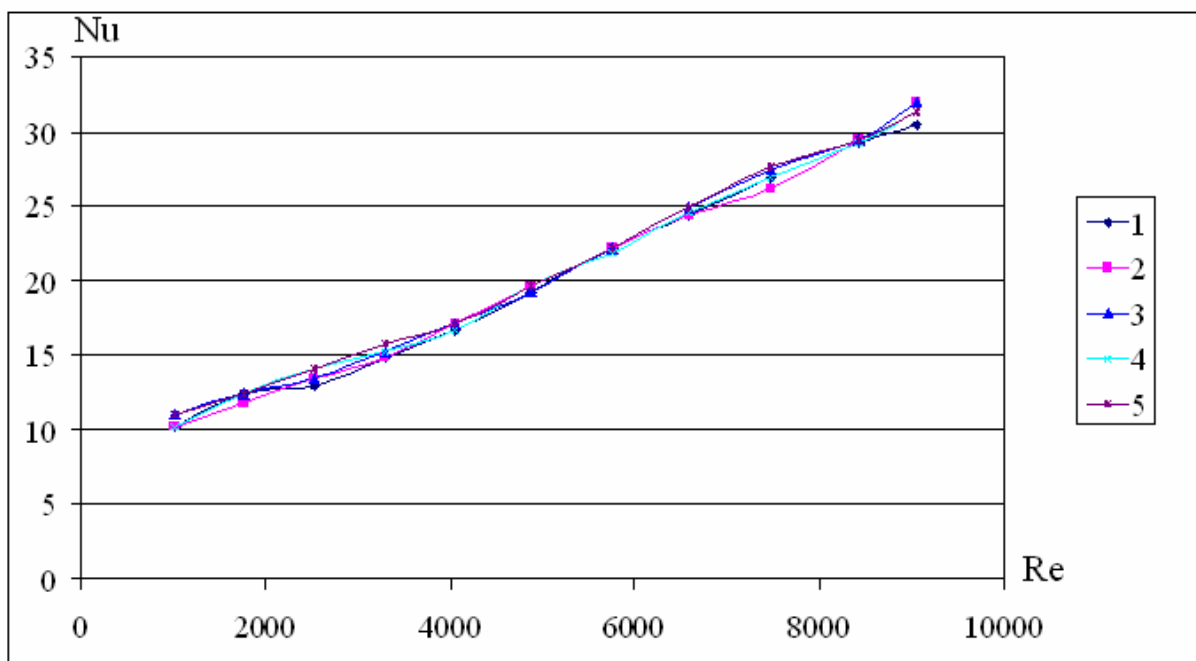


Таблетка шаклидаги турбулизатор

Турбулизатор қадами 80 мм

<i>N</i>	<i>Re</i>	<i>Nu</i> ₁	<i>Nu</i> ₂	<i>Nu</i> ₃	<i>Nu</i> ₄	<i>Nu</i> ₅
1	1013,03	10,2124	10,2124	11,0755	10,2124	11,0755
2	1772,8	12,4463	11,7727	12,4463	12,4463	12,4463
3	2532,58	12,9291	13,4928	13,4928	14,0419	14,0419
4	3292,35	14,8209	14,8209	15,2917	15,2917	15,7538
5	4052,12	16,7311	17,1351	17,1351	16,7311	17,1351
6	4875,21	19,263	19,6082	19,263	19,6082	19,6082
7	5761,61	22,1514	22,1514	22,1514	21,8518	22,1514
8	6584,7	24,3624	24,3624	24,8929	24,6285	24,8929
9	7471,1	26,9064	26,1843	27,3818	26,9064	27,6177
10	8420,81	29,2366	29,4525	29,4525	29,2366	29,4525
11	9053,96	30,4878	31,9024	31,9024	31,3005	31,3005

Локал турбулизаторлар қўлланилганда иссиқлик алмашинувининг тадқиқот натижалари

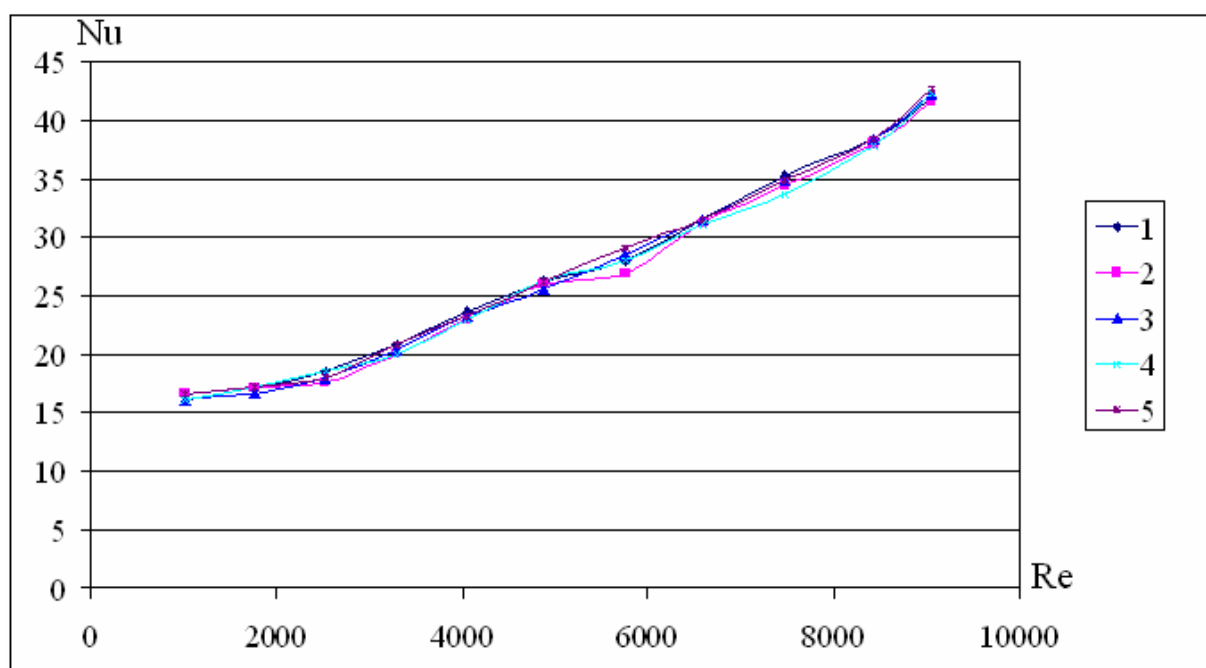


Таблетка шаклидаги турбулизатор

Турбулизатор қадами 100 мм

<i>N</i> _o	<i>Re</i>	<i>Nu</i> ₁	<i>Nu</i> ₂	<i>Nu</i> ₃	<i>Nu</i> ₄	<i>Nu</i> ₅
1	1013,03	16,687	16,687	16,0739	16,0739	16,687
2	1772,8	17,1286	17,1286	16,5971	17,1286	17,1286
3	2532,58	18,4701	17,5529	18,0156	18,4701	18,0156
4	3292,35	20,7577	19,9819	20,3723	19,9819	20,7577
5	4052,12	23,6265	22,9648	23,2972	22,9648	23,2972
6	4875,21	26,1783	25,8898	25,5993	26,1783	26,1783
7	5761,61	27,976	26,9267	28,4915	27,976	29,0013
8	6584,7	31,5075	31,2781	31,5075	31,0476	31,5075
9	7471,1	35,2553	34,4353	34,8468	33,6032	34,8468
10	8420,81	38,3928	38,0229	38,3928	37,8371	38,3928
11	9053,96	41,9886	41,6483	42,3272	42,3272	42,6642

Локал турбулизаторлар қўлланилганда иссиқлик алмашинувининг тадқиқот натижалари

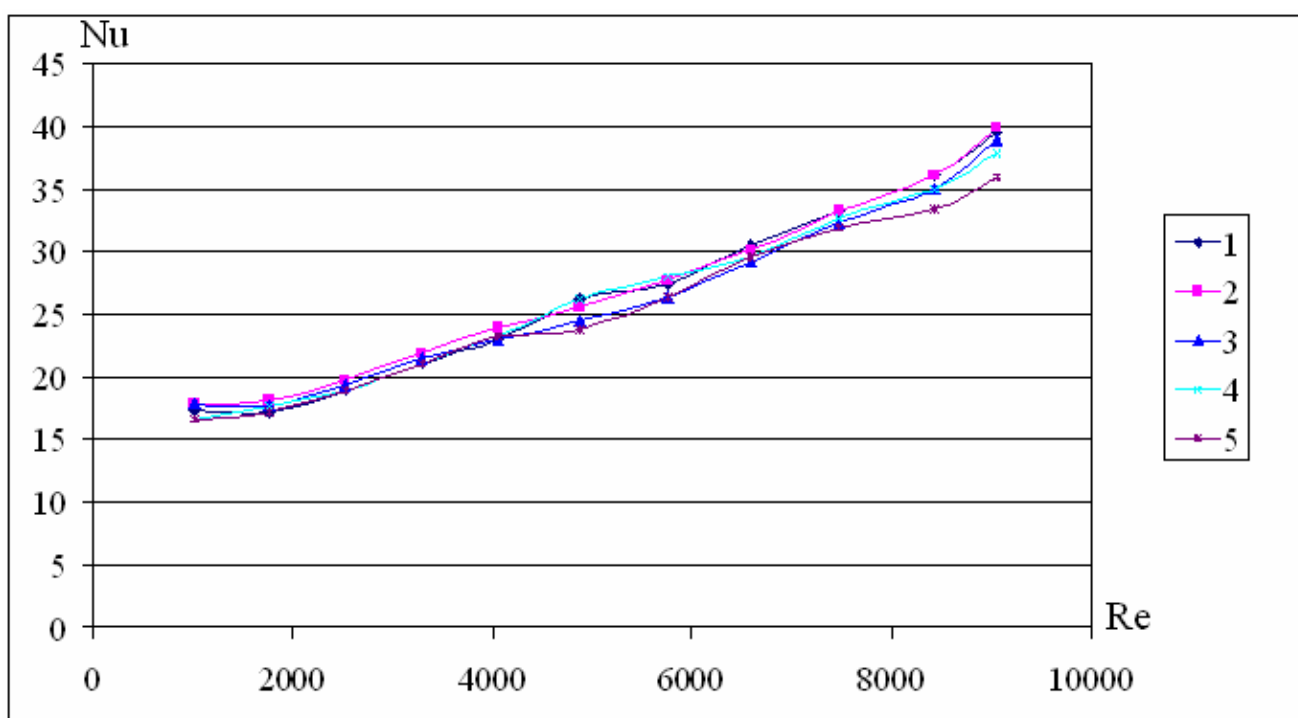


Таблетка шаклидаги турбулизатор

Турбулизатор қадами 140 мм

<i>N</i> ₀	<i>Re</i>	<i>Nu</i> ₁	<i>Nu</i> ₂	<i>Nu</i> ₃	<i>Nu</i> ₄	<i>Nu</i> ₅
1	1013,03	17,282	17,8605	17,8605	16,687	16,687
2	1772,8	17,1286	18,1563	17,6481	17,6481	17,1286
3	2532,58	18,917	19,7892	19,3566	18,917	18,917
4	3292,35	21,1384	21,8862	21,5145	21,1384	21,1384
5	4052,12	22,9648	23,9528	22,9648	23,2972	23,2972
6	4875,21	26,1783	25,5993	24,4153	26,1783	23,8095
7	5761,61	27,4545	27,716	26,3925	27,976	26,3925
8	6584,7	30,5834	30,1149	29,1641	29,6418	29,6418
9	7471,1	33,1825	33,1825	32,331	32,7584	31,9002
10	8420,81	36,1393	36,1393	34,9803	34,9803	33,3984
11	9053,96	39,5693	39,9204	38,8616	37,7851	35,9493

**Локал турбулизаторлар қўлланилганда иссиқлик алмашинувининг
тадқиқот натижалари**

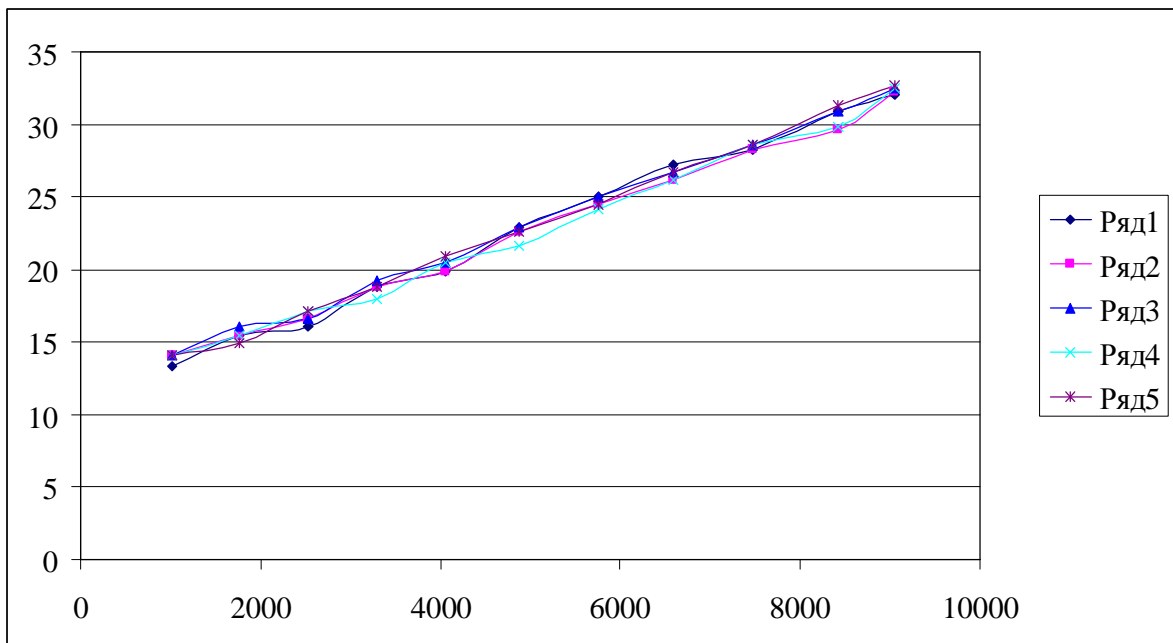


Лентали турбулизатор

Турбулизатор қаами 60 мм

№	Re	Nu ₁	Nu ₂	Nu ₃	Nu ₄	Nu ₅
1	1013,03	13,4004	14,107	14,107	14,107	14,107
2	1772,8	15,4943	15,4943	16,0527	15,4943	14,9209
3	2532,58	16,1114	16,6014	16,6014	17,0817	17,0817
4	3292,35	18,779	18,779	19,1855	17,9483	18,779
5	4052,12	19,8177	19,8177	20,5434	20,5434	20,9002
6	4875,21	22,8824	22,5682	22,8824	21,6089	22,5682
7	5761,61	25,0271	24,4682	25,0271	24,1858	24,4682
8	6584,7	27,2038	26,1915	26,7005	26,1915	26,7005
9	7471,1	28,3187	28,3187	28,5501	28,5501	28,5501
10	8420,81	30,9397	29,6675	30,9397	29,8817	31,3572
11	9053,96	32,1016	32,3002	32,498	32,498	32,6951

Локал турбулизаторлар қўлланилганда иссиқлик алмашинувининг тадқиқот натижалари

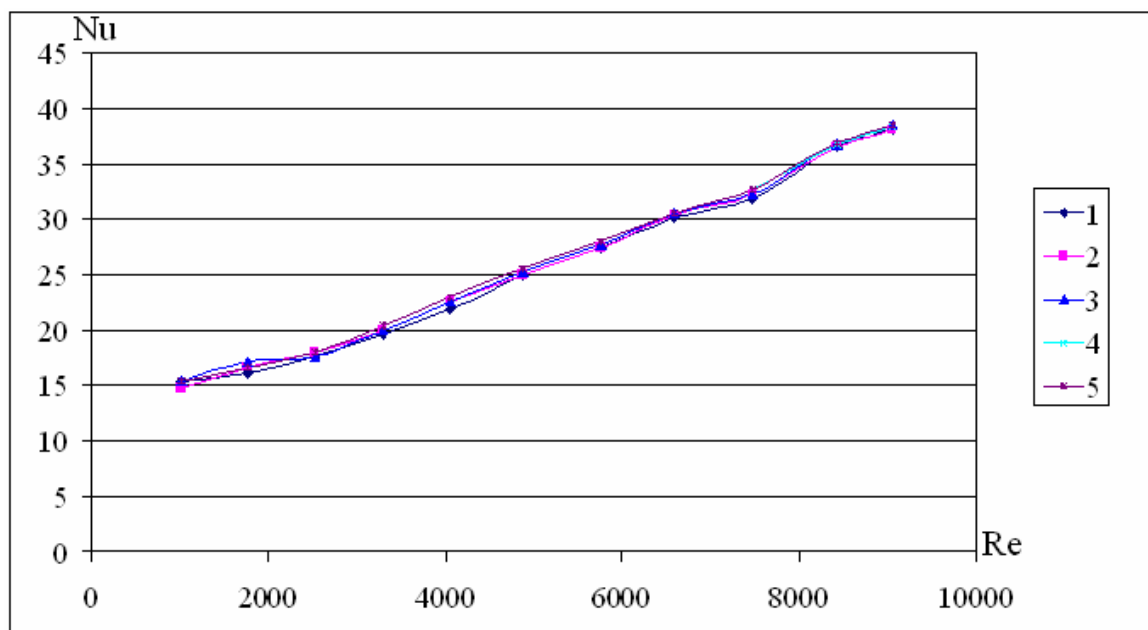


Параллеленид туридаги турбулизатор

Турбулизатор қадами 80 мм

<i>№</i>	<i>Re</i>	<i>Nu₁</i>	<i>Nu₂</i>	<i>Nu₃</i>	<i>Nu₄</i>	<i>Nu₅</i>
1	1013,03	15,441	14,7862	15,441	15,441	15,441
2	1772,8	16,0527	16,5971	17,1286	16,5971	16,5971
3	2532,58	17,5529	18,0156	17,5529	18,0156	18,0156
4	3292,35	19,5864	19,9819	19,9819	20,3723	20,3723
5	4052,12	21,9481	22,6292	22,6292	22,9648	22,9648
6	4875,21	25,0117	25,0117	25,3066	25,5993	25,5993
7	5761,61	27,4545	27,4545	27,716	27,976	27,976
8	6584,7	30,1149	30,3497	30,5834	30,5834	30,5834
9	7471,1	31,9002	32,331	32,331	32,7584	32,7584
10	8420,81	36,5207	36,5207	36,7105	36,7105	36,8997
11	9053,96	38,1459	38,1459	38,5047	38,3256	38,5047

**Локал турбулизаторлар қўлланилганда иссиқлик алмашинувининг
тадқиқот натижалари**

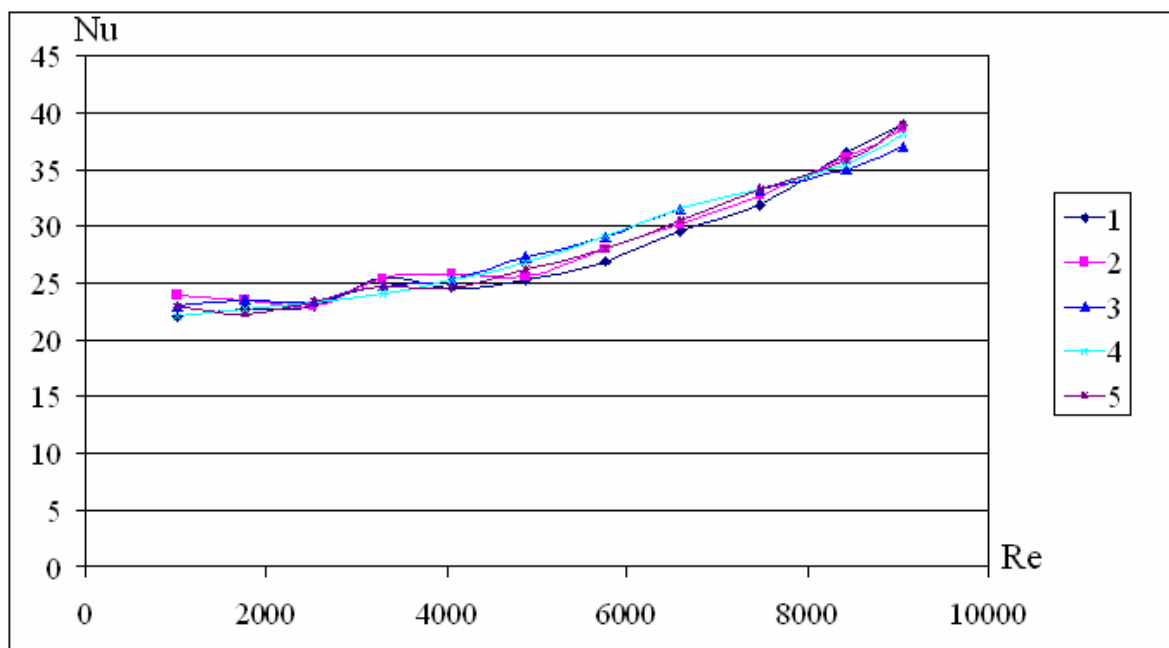


Кесик пирамида туридаги турбулизатор

Турбулизатор қадами 80 мм

<i>N</i> _o	<i>Re</i>	<i>Nu</i> ₁	<i>Nu</i> ₂	<i>Nu</i> ₃	<i>Nu</i> ₄	<i>Nu</i> ₅
1	1013,03	22,0209	23,8655	22,9592	22,0209	22,9592
2	1772,8	22,7466	23,5792	23,5792	22,7466	22,3211
3	2532,58	23,0347	23,0347	23,4169	23,4169	23,4169
4	3292,35	25,3909	25,3909	24,718	24,0319	24,718
5	4052,12	24,5969	25,8524	25,2299	25,2299	24,5969
6	4875,21	25,3066	25,5993	27,3124	26,7492	26,1783
7	5761,61	26,9267	27,976	29,0013	29,0013	27,976
8	6584,7	29,6418	30,1149	31,5075	31,5075	30,5834
9	7471,1	31,9002	32,7584	33,1825	33,1825	33,1825
10	8420,81	36,5207	36,1393	34,9803	35,3691	35,7554
11	9053,96	38,8616	38,5047	37,0572	38,1459	38,8616

Локал турбулизаторлар қўлланилганда иссиқлик алмашинувининг тадқиқот натижалари

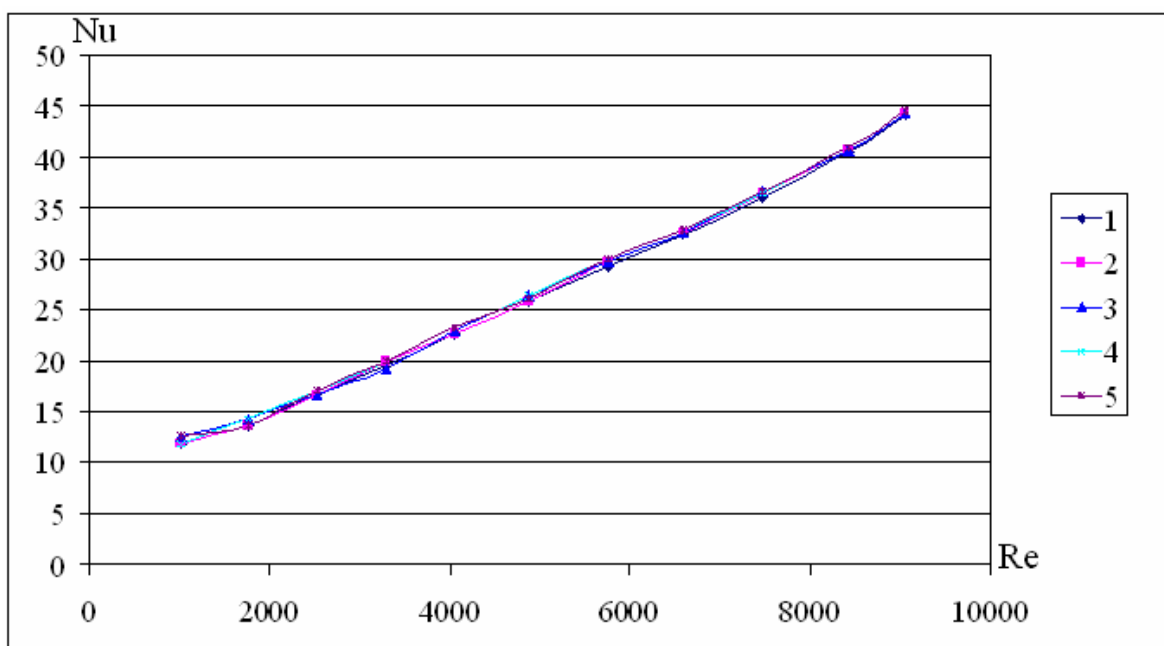


Аралаш турдаши турбулизатор

Турбулизатор қадами 145 мм

<i>N</i> ₀	<i>Re</i>	<i>Nu</i> ₁	<i>Nu</i> ₂	<i>Nu</i> ₃	<i>Nu</i> ₄	<i>Nu</i> ₅
1	1013,03	11,8898	11,8898	12,6628	11,8898	12,6628
2	1772,8	13,7232	13,7232	14,331	14,331	13,7232
3	2532,58	16,6014	16,6014	16,6014	17,0817	17,0817
4	3292,35	19,5864	19,9819	19,1855	19,9819	19,9819
5	4052,12	22,6292	22,6292	22,9648	23,2972	23,2972
6	4875,21	25,8898	25,8898	26,4648	26,4648	26,1783
7	5761,61	29,2541	29,7555	29,7555	30,0042	30,0042
8	6584,7	32,4151	32,6395	32,6395	32,863	32,863
9	7471,1	36,0635	36,4635	36,6624	36,4635	36,6624
10	8420,81	40,5681	40,7461	40,7461	40,9237	40,9237
11	9053,96	44,1607	44,325	44,325	44,6525	44,6525

Локал турбулизаторлар қўлланилганда иссиқлик алмашинувининг тадқиқот натижалари

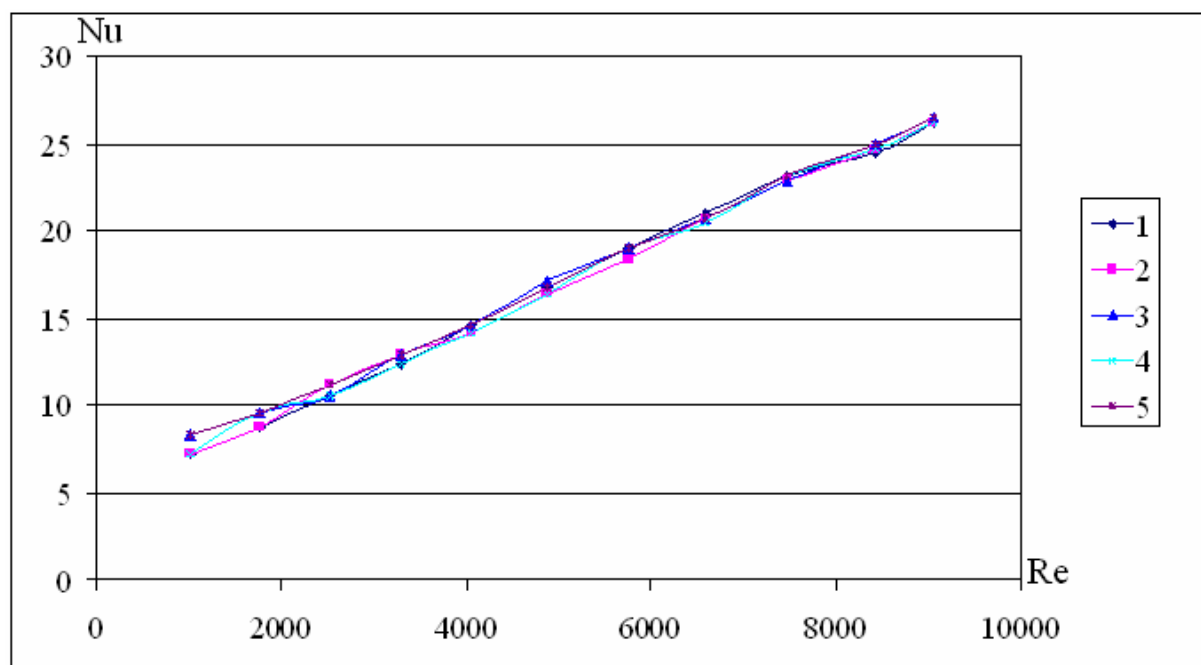


Конус туридаги турбулизатор

Турбулизатор қадами 80 мм

<i>N</i> ₀	<i>Re</i>	<i>Nu</i> ₁	<i>Nu</i> ₂	<i>Nu</i> ₃	<i>Nu</i> ₄	<i>Nu</i> ₅
1	1013,03	7,20621	7,20621	8,29554	7,20621	8,29554
2	1772,8	8,76168	8,76168	9,57154	9,57154	9,57154
3	2532,58	10,4976	11,1356	10,4976	10,4976	11,1356
4	3292,35	12,3142	12,8383	12,8383	12,3142	12,8383
5	4052,12	14,6174	14,1736	14,6174	14,1736	14,6174
6	4875,21	16,7364	16,358	17,1102	16,358	16,7364
7	5761,61	19,0406	18,3843	19,0406	19,0406	19,0406
8	6584,7	21,0284	20,7375	20,7375	20,4444	20,7375
9	7471,1	23,1757	22,9155	22,9155	23,1757	23,1757
10	8420,81	24,4743	24,7121	24,9486	24,7121	24,9486
11	9053,96	26,228	26,228	26,4495	26,228	26,4495

Локал турбулизаторлар қўлланилганда иссиқлик алмашинувининг тадқиқот натижалари

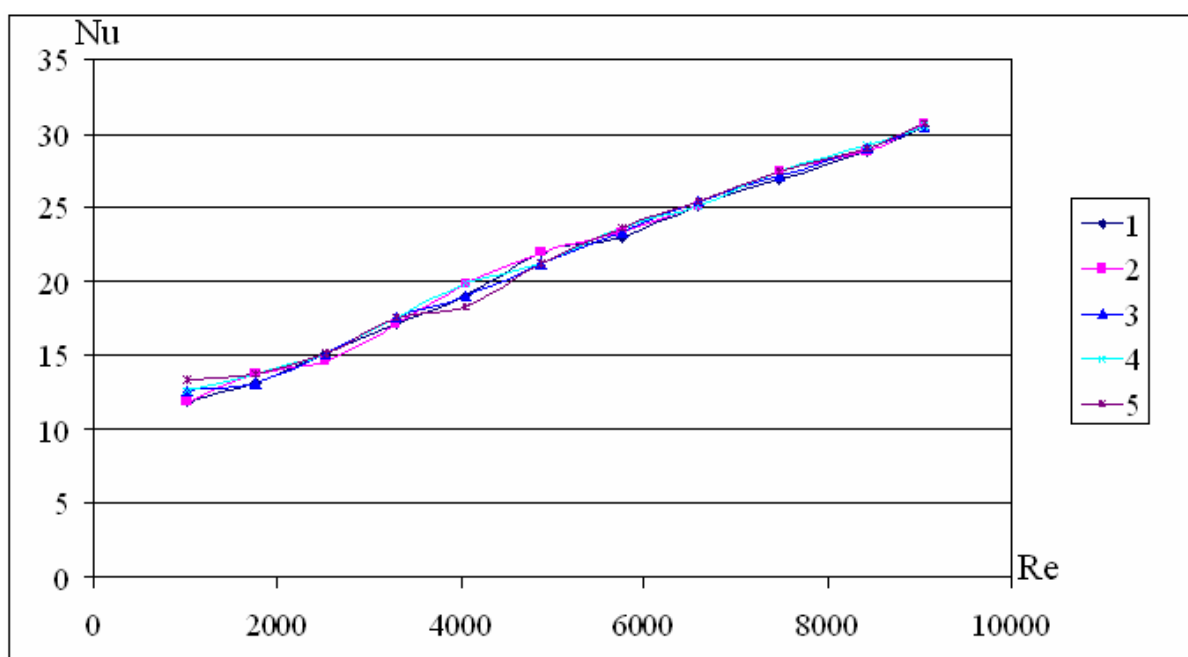


Овал туридаги турбулизатор

Турбулизатор қадами 80 мм

<i>N</i> _o	<i>Re</i>	<i>Nu</i> ₁	<i>Nu</i> ₂	<i>Nu</i> ₃	<i>Nu</i> ₄	<i>Nu</i> ₅
1	1013,03	11,8898	11,8898	12,6628	12,6628	13,4004
2	1772,8	13,0957	13,7232	13,0957	13,7232	13,7232
3	2532,58	15,1001	14,5773	15,1001	15,1001	15,1001
4	3292,35	17,0921	17,0921	17,5236	17,5236	17,5236
5	4052,12	19,0751	19,8177	19,0751	19,8177	18,3142
6	4875,21	21,9315	21,9315	21,2834	21,2834	21,2834
7	5761,61	23,0362	23,3267	23,3267	23,6151	23,6151
8	6584,7	25,1557	25,1557	25,417	25,1557	25,417
9	7471,1	26,9064	27,3818	27,1447	27,3818	27,3818
10	8420,81	28,8021	28,8021	29,0198	29,2366	29,0198
11	9053,96	30,4878	30,6921	30,4878	30,4878	30,6921

**Локал турбулизаторлар қўлланилганда иссиқлик алмашинувининг
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°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°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 ёриқларнинг ҳаммаси кўздан кечирилиши, зарарли муҳитларнинг қолдиқларидан тозаланиши ва нейтралланиши зарур.

Иссиқликдан фойдаланувчи мосламаларни таъмирлаш бўйича ишлар улар тўхтагандан сўнг ёки 30⁰С 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°C ;
- в) охириги ҳарорати – 20°C ;
- г) босими – 1 атм.

Б. Совитувчи муҳит бўйича:

- а) таркиби – сув;
- б) бошланғич ҳарорати – 10°C ;
- в) охириги ҳарорати – 50°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 коэффициентини –

$112,3 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$.

- з) иссиқлик ташувчиларнинг ҳаракат схемаси-тескари оқимли.

№	Nomlanishi	Belgilinishi va o'lehov birligi	Hisoblash formulasi	Вариант	
				Стандарт	Локал турбулизаторли
1	Issiq suvning o'rtacha harorati	$D_{t_1}, ^\circ S$	$\Delta t_1 = 0,5(t_1' + t_1'')$	50	50
2	Sovuq suvning o'rtacha harorati	$D_{t_2}, ^\circ S$	$\Delta t_2 = 0,5(t_2' + t_2'')$	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	$Nu_1 = 0,021 Re_1^{0,8} Pr_{s1}^{0,43} \left(\frac{Pr_{s1}}{Pr_{d1}} \right)^{0,25}$ $Nu_i = 0,045 Re^{0,81} Pr^{0,43}$	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
13	Issiqlik uzatish koeffisienti	$k, Vt/(m^2 \cdot ^\circ S)$	$k = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{d_d}{I_d} + \frac{1}{a_2}}$	1618	2057
14	Haroratning o'rtacha logarifmik garqi	$\Delta t_{o'rt}, ^\circ S$	$\Delta t_{o'rt} = \frac{\Delta t_{kat} - \Delta t_{kich}}{\ln \frac{\Delta t_{kat}}{\Delta t_{kich}}}$	18,2	18,2

15	Issiqlik almashinuv yuzasining maydoni.	F, m^2	$F = \frac{Q}{k\Delta t_{o'rt}}$	27,6	17.8
Aniqlangan yuza bo'yicha bir yo'lli standart IAQ sini tanlaymiz					
16.	Issiqlik almashinuvi yuzasi	F, m^2	I.1. ilovadan olinadi.	34	22
	Qoplama diametri	D, mm		0,4	0,325
	Quvur diametri	d, mm		0,02	0.02
	Yo'llar soni	z		1	1
	Quvur uzunligi	L, m		3	3
	Quvurlarning umumiy soni	n		181	100
	IAQ sidagi segmentli to'siqlar soni	$k=$		10	14
	IAQ sining massasi	$m=$		1130	735
17.	Issiqlik almashinuvi yuzasining zahirasi	$\Delta_F, \%$	$\Delta_F = \frac{ F - F' }{F} \cdot 100\%$	19	19

Демак, иссиқлик алмашинуви қурилмаларининг қувурларида локал турбулизаторлар қўлланилганда иссиқлик алмашинуви қурилмаларининг самарадорлигини ортганлиги кўриш мумкин ва ҳисоблаш натижаларидан кўйидагиларни хулоса қилиш мумкин:

1. Иссиқлик миқдорини таъминлаш учун зарур бўлган иссиқлик алмашинуви юзаси стандарт иссиқлик алмашинуви юзасиникидан $12 m^2$ 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.

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 ²							Quvurlararo bo'shliq oqimining eng tor ko'ndalang kesim yuzasi, m ²	Quvur bitta yo'lning ko'ndalang kesim yuzasi, m ²
				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	22,0	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	34,0	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, принципиал схемаси ва ишлаш тартиблари тўлиқ ёритилган. Шунингдек иссиқлик алмашинуви 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. Асосий вазифамиз-ватанимиз тараққиёти ва ҳалқимиз фаравонлигини янада юксалтиришдир. –Т.: Ўзбекистон, 2010.
2. Каримов И.А. Жаҳон молиявий – иқтисодий инқирози, уни ўзбекистон шароитида бартараф этиш йўллари ва чоралари – Т.: Ўзбекистон, 2009. – 48 б.
3. Щукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. –М.: Машиностроение, 1980, -240.
4. Щукин В.К. Теплообмен и гидродинамики внутренних потоков в полях массовых сил. –М.: Машиностроение, 1970, -331 с.
5. Халатов А.А., Борисов И.И., Щевцов С.В. Тепломассообмен и теплогидравлическая эффективность вихревых и закрученных потоков. Киев. 2005, -500 с.
6. Ермолин В.К. Применение закрученного потока для интенсификации конвективного теплообмена в условиях внутренней задачи. Известия АН СССР, ОТН, «Энергетика и автоматика», 1960, №1.
7. Халатов А.А. Теория и практика закрученных потоков. –Киев: Наукова Думка, 1989, -200 с.
8. Щукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. –М.: Машиностроение, 1982, -200 с.
9. Алимов Р.З. Интенсификация конвективного тепло – и массообмена в трубах с помощью завихренного двухфазного потока. Известия АН СССР, ОТН, «Энергетика и автоматика», 1962, №1.
10. Ковальногов А.Ф., Щукин В.К. Теплообмен и гидравлическое сопротивление в трубах с лопаточными завихрителями, ИФЖ, т.XIV, 1968, №2.

11. Ковальногов А.Ф., Щукин В.К. Экспериментальное исследование теплоотдачи в трубах при местной закрутке потока шнековыми завихрителями. «Теплоэнергетика», 1968, №6.
12. Тарасов Г.И. Экспериментальное исследование теплоотдачи в винтообразно-кольцевых каналах. Межвузовский сборник «Тепло – и массообмен в двигателях летательных аппаратов». – Вып. 1, Казань, изд. КАИ, 1977, с. 45-52.
13. 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.
14. Klaczak A. Heat Transfer in Tubes with Spiral and Helical Turbulators. // ASME. – Journ. Heat Transfer. – Series C. 1973. -№4. –P. 134-136.
15. Зозуля Н.В., Шкуратов И.Я. Влияние спиральных вставок на теплоотдачу при движении вязкой жидкости внутри трубы. – В сб. Теплофизика и теплотехника. Киев: Наукова думка, 1964, с. 55-58.
16. Хун С,В,, Берглес А.Е. Интенсификация теплоотдачи к ламинарному потоку в трубах с помощью скрученных ленточных вставок. Труды ASME. Теплопередача. –М.: Мир, 1976, №2, с. 112-118.
17. Ибрагимов М.Х., Номофилов Е.В., Субботин В.И. Теплоотдача и гидравлическое сопротивление при винтовом движении жидкости в трубе, «Теплоэнергетика», 1961, №7, с. 57-60.
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. Мигай В.К. Повышение эффективности современных теплообменников. Л.: Энергоиздат, 1980. -143 с.

20. Ермолин В.К. Интенсификация конвективного теплообмена в трубе в условиях закрученного потока с постоянным по длине шагом, ИФЖ, т.III, 1960, №11.
21. Seymour E.V. A note on the improvement in performance obtainable from fitting twisted – tape turbulence – promoters to turbular heat exchangers. Trans. Inst. Chem. Engrs, vol. 41, №4, 1963.
22. Смитберг Е., Лэндис Ф. Трение и характеристики теплообмена при вынужденной конвекции в трубах с завихрителями из скрученной ленты, «Теплопередача», 1964, №1.
23. Лэндис Ф., Тосен Р. Трение и характеристики теплообмена в турбулентном закрученном потоке при наличии больших поперечных градиентов температуры // Теплопередача. 1968, №1. с. 91-103.
24. Щукин В.К. Обобщение опытных данных по гидравлическому сопротивлению в трубах с ленточными завихрителями, ИФЖ, т.XI, 1966, №2.
25. А.с. 397737 СССР, МКИ F 28 D 7/10; F 28 F 1/36. Теплообменник типа «труба в трубе» И.А. Недужий и др. // Открытия. Изобретения. 1973. №37.
26. А.с. 222409 СССР, МКИ 17 F 12/03; 17 F 12/10; 13 A 30/02. Трубчатый теплообменный элемент. А.М. Царев и др. // Открытия. Изобретения. 1968. №23.
27. Гэмбилл В.Р. Теплопередача при кипении и кризис кипения в завихренном потоке недогретой жидкости в трубах с электрически обогреваемыми завихрителями из скрученных лент при нулевом потоке на стенке трубы. Теплопередача, 1965, №3. с. 25-31.
28. Marner W.J., Bergles A.E. Augmentation of highly viscous laminar tube side heat transfer by means of twisted - tape inser and internally finned tube // 23 th National Heat Transfer Conference. Denver, 1985. p. 19-28.
29. Бродов Ю.М. Эффективность применения профильных витых труб в теплообменных аппаратах турбоустановок. Теплоэнергетика, 1982, №12. с.58-62.

30. 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.
31. 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.
32. Klaczak A. Heat Transfer in Tubes with Spiral and Helical Turbulators. // ASME. – Journ. Heat Transfer. – Series C. 1973. -№4. –P. 134-136.
33. 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.
34. 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.
35. Новожилов И.Ф., Мигай В.К. Интенсификация конвективного теплообмена внутри труб путем применения искусственной шероховатости. // Теплоэнергетика. 1964, №9, с. 61-63.
36. Назмеев Ю.Г. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в дискретно-шероховатых каналах. М.: Энергоатомиздат, 1998. -376 с.
37. Kumar P., Tudd R.Z. Heat Transfer with coiled wire Turbulence Promotors. // Can. I. Chem. Eng. 1970. Vol. 48, №4. P. 378-384.
38. 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.
39. Халатов А.А. Теория и практика закрученных потоков. –Киев: Наукова Думка, 1989, -200 с.
40. Щукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. –М.: Машиностроение, 1982, -200 с.

41. Халатов А.А., Борисов И.И., Щевцов С.В. Тепломассообмен и теплогидравлическая эффективность вихревых и закрученных потоков. Киев. 2005, -500 с.
42. Watkinson O.L., Mulletti B., Tarassof H. Turbulent heat transfer and Pressure drop in internally finned Tubes. –AIChE Symp. Ser., 69, 1973, №131.
43. Watkinson A.P., Milette D.L., Kubanek G.R., ASME Paper №75-HT-41, 1975.
44. Marner W.J., Bergles A.E. Доклад представленный на 6-ю Международную конференцию по теплообмену, состоявшуюся в Торонто, 1978.
45. Hu M.H., Chang Y.P., J. Heat Trans., 95, 332-338, 1978.
46. Masliyah J.H., Nandakumar K., J. Heat Trans., 98, 257-261, 1976. [Имеется перевод: Маслия, Нанкумар. Теплообмен в трубах с внутренним оребрением. –Труды амер. Общ-ва инж-мех., серия С, Теплопередача, 1976, Т.98, №2, с.119-124].
47. Soliman H.M., Feingold A. Доклад, представленный на 6-ю Международную конференцию по теплообмену, состоявшуюся в Торонто, 1978.
48. www.dissertant.com
49. www.03-ts.ru
50. www.twirpx.com
51. www.ecosys-narod.ru