

КУЁШ КОЛЛЕКТОРЛИ СУВЛИ ИССИҚ ПОЛ ТИЗИМИ ҚУВУРИДАН ИССИҚЛИК БЕРИШ ЖАРАЁНИНИ МОДЕЛЛАШТИРИШ

¹Хамраев С.И., ²Ибрагимов У. Х., ³Камолов Б.И., ⁴Зувайтова. З. К.

¹Хамраев Сардор Илхомович -таянч докторант, Қарши- муҳандислик иқтисодийёт институти, Қарши ш. Ўзбекистон Республикаси, e-mail: xamrayevs@bk.ru ORCID ID [0000-0002-0847-9488](https://orcid.org/0000-0002-0847-9488)

²Ибрагимов Умиджон Хикматуллаевич.-т.ф.ф.д., Қарши муҳандислик- иқтисодийёт институти, Қарши ш. Ўзбекистон, E-mail: ibragimov_u@rambler.ru ORCID ID [0000-0002-8848-0971](https://orcid.org/0000-0002-8848-0971)

³Камолов Бехзоджон Илхомович,-таянч докторант, Қарши муҳандислик- иқтисодийёт институти, Қарши ш. Ўзбекистон Республикаси, e-mail: behzod0288@mail.ru ORCID ID [0000-0003-2527-8933](https://orcid.org/0000-0003-2527-8933)

⁴Зувайтова Захро Камол қизи. – магистр, Қарши муҳандислик- иқтисодийёт институти, Қарши ш. Ўзбекистон Республикаси, e-mail: zuvaytovaz@bk.ru

Аннотация: Ушбу мақолада иссиқ полнинг қувурлари орқали ўтадиган иссиқ сувнинг ламинар оқимида иссиқлик узатиш жараёнларини экспериментал ўрганиш натижалари ва натижаларни қайта ишлаш натижасида олинган эмпирик тенгламалар, сув иситиш тизимида қуёш энергиясидан фойдаланган ҳолда энергия тежамкорлиги, шунингдек, иссиқ полнинг ламинар оқимдаги параметрларини оптималлаштириш натижалари келтирилган.

Калит сўзлар: ер ости иситиши, қувур диаметри, қувур қадами, ламинар оқим, иссиқлик узатиши, жойлашиши босқичи.

Abstract: This article presents the results of an experimental study of heat transfer processes in the laminar flow of hot water moving through pipes of a warm floor with energy saving using solar energy in a water floor heating system and empirical equations obtained as a result of processing the results, as well as the results of optimizing the parameters of a warm floor system.

Keywords: underfloor heating, pipe diameter, pipe pitch, laminar flow, heat transfer, location step.

Ҳозирги вақтда аҳоли яшаш уйларида қулай шароитни яратиш, аҳолини йил давомида узлуксиз иссиқлик ва иссиқ сув билан таъминлашда қуёш коллекторли сувли иссиқ пол тизимларидан фойдаланиш муҳим масалалардан бири ҳисобланади [1,5,6,7,8]. Сувли иссиқ пол тизимининг қувурлари орқали иссиқ сувдан узатилаётган иссиқликдан самарали фойдаланиш, қувурлар диаметри ва жойлашиш қадамини иссиқлик беришга таъсирини ўрганиш ва иссиқ пол тизимининг параметрларини оптималлаштириш бўйича кам сонли тадқиқотлар борилган бўлиб, улар янги ўрнатилаётган сувли иссиқ пол тизимини лойиҳалашда фойдаланиш учун етарли ҳисобланмайди. Юқорида келтирилганларни инобатга олган ҳолда муаллифлар томонидан иссиқ пол тизимининг қувурларидан оқётган иссиқ сувнинг ламинар оқим режимида иссиқлик алмашинув жараёнлари тўлиқ тадқиқот қилиниб иссиқ пол тизимининг параметрлари оптималлаштирилди. Иссиқ пол қувурларида иссиқлик алмашинув жараёни муҳим бўлиб, иссиқлик бинога берилишида тизимнинг оптимал параметрларини аниқлаш учун тадқиқотлар ўтказилди.

Иссиқлик алмашинуви мавжуд бўлганда, ламинар оқим режимининг қовушқоқ-гравитацион соҳасида силлик қувурларда иссиқлик бериш қуйидагича аниқланади [2]:

$$Nu = 1,4 \left(Re \frac{d}{l} \right)^{0,4} Pr^{0,33} \left(\frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25} \quad (1)$$

бу ерда d – қувурнинг ички диаметри, м; l – қувурнинг умумий узунлиги, м.

(1) формула $10 < Re < 2300$, $0,06 \leq Pr/Pr_d \leq 10$, $l/d > 10$ ораликларда ўринли ҳисобланади. Силлик қувурларда турбулент оқим режимида иссиқлик бериш қуйидагича аниқланади [2]:

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25} \varepsilon_l. \quad (2)$$

Аниқловчи ўлчам сифатида қувурнинг ички диаметри қабул қилинади. ε_l коэффициент иссиқлик бериш коэффициентини қувур узунлиги бўйича ўзгаришини инобатга олади. Агар

$l/d \geq 50$ бўлса $\varepsilon_l = 1$. $l/d < 50$ бўлганда бошланғич участканинг таъсирини инобатга олиш зарур.

Иссиқ сувдан иссиқ пол қувури деворига иссиқлик бериш коэффициентини:

$$\alpha = \frac{Nu\lambda}{d}, \quad (3)$$

бу ерда λ – иссиқ сувнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти, Вт/(м·°С).

Солиштирма иссиқлик оқими қуйидаги формуладан ҳисобланади:

$$q = \alpha(t_{\text{п}} - t_{\text{х}}), \quad (4)$$

бу ерда $t_{\text{п}}$ – пол юзасидаги ҳарорат, °С; $t_{\text{х}}$ – хона ичидаги ҳарорат, °С.

Иссиқ пол тизимидан узатилган иссиқлик миқдори:

$$Q = qF, \quad (5)$$

бу ерда F – қувурнинг умумий иссиқлик алмашинуви юзаси майдони, м².

Тажриба тадқиқотларини ўтказишда хона полининг юзасидаги максимал рухсат этилган ҳарорат асосий омиллардан бири ҳисобланади, унинг қийматларини [3] га мувофиқ қабул қилиш мумкин:

- уй ичи йўлакларига - 21°С;
- доимий туриш хоналарида - 26°С;
- намлиги юқори бўлган доимий туриш хоналарида - 31°С;
- вақтинчалик туриш хоналарида - 35°С.

Олиб борилган тажрибаларда хона ичидаги ҳаво ҳарорати 20°С, пол юзасидаги ҳарорат 26°С қабул қилинди [3,9,10-14]. Сувли иссиқ пол қувури жойлашишининг турли қадамларида ($s = 0,1$ м, $s = 0,15$ м, $s = 0,2$ м, $s = 0,25$ м, $s = 0,3$ м) иссиқ сувнинг ламинар ва турбулент оқим режимларида иссиқ пол юзасига иссиқлик бериш коэффициенти, конвектив иссиқлик алмашинуви ва узатилган иссиқлик миқдори бўйича олинган тажриба натижалари $Nu = f(Re)$, $\alpha = f(Re)$ ва $Q = f(Re)$ боғлиқлик графиги шаклида келтирилди.

1-расмда иссиқ сувнинг ламинар оқим режимида иссиқ пол қувурининг турли жойлашиш қадамида ва иссиқ сувнинг турли ҳароратларида қувурнинг иссиқлик бериш коэффициенти бўйича тажриба натижалари келтирилган.

1-расмда келтирилган графиклар бўйича иссиқлик бериш коэффициентини натижалари таҳлили шуни кўрсатадики, иссиқ пол қувурининг иссиқлик бериш коэффициенти қувурларни жойлашиш қадамига ва иссиқ сувнинг ҳароратига сезиларли даражада боғлиқ бўлиб, қувур жойлашиш қадамини ортиши ва иссиқ сув ҳароратини камайиши билан иссиқлик бериш коэффициенти ортиб боради. Тажриба натижаларига кўра ламинар оқим режимида жойлашиш қадами 100 мм бўлганда иссиқлик бериш коэффициенти 0,82...1,61, 150 мм бўлганда 0,95...1,13, 200 мм бўлганда 1,03...2,01, 250 мм бўлганда 1,14...2,22, 300 мм бўлганда 1,22...2,35 оралиғида ўзгариши аниқланди.

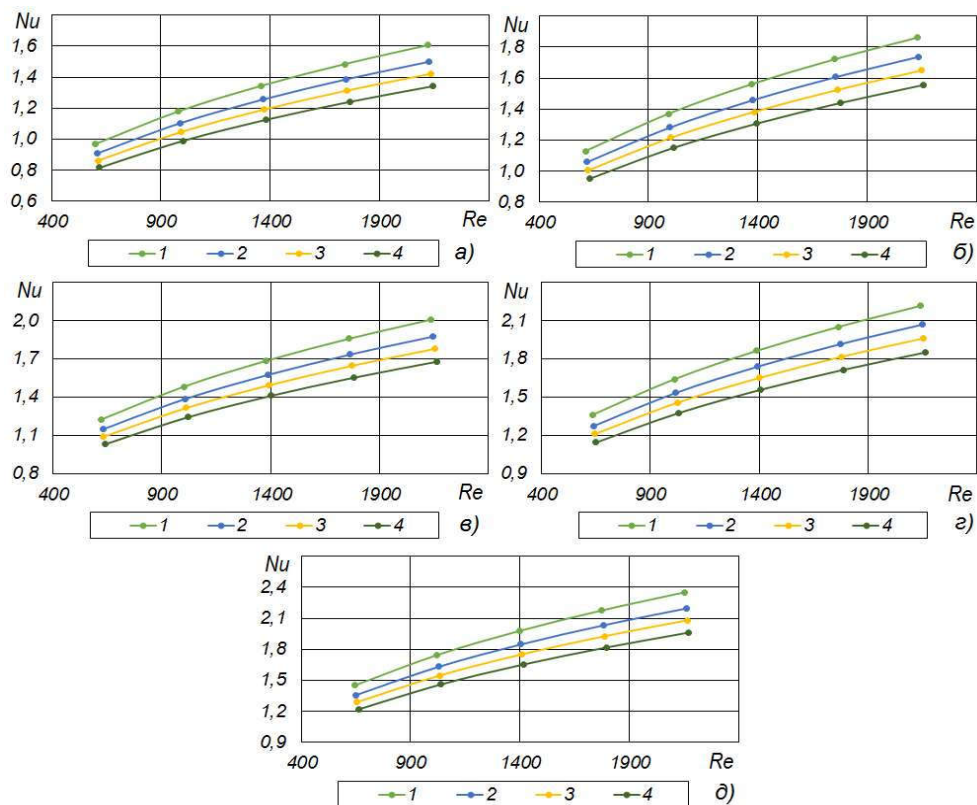
2-расмда иссиқ сувнинг ламинар оқим режимида иссиқ пол қувурининг турли жойлашиш қадамида ва иссиқ сувнинг турли ҳароратларида қувурда конвектив иссиқлик алмашинуви бўйича тажриба натижалари келтирилган.

$$a-s=100 \text{ мм}; b-s=150 \text{ мм}; в-s=200 \text{ мм}; г-s=250 \text{ мм}; д-s=300 \text{ мм};$$

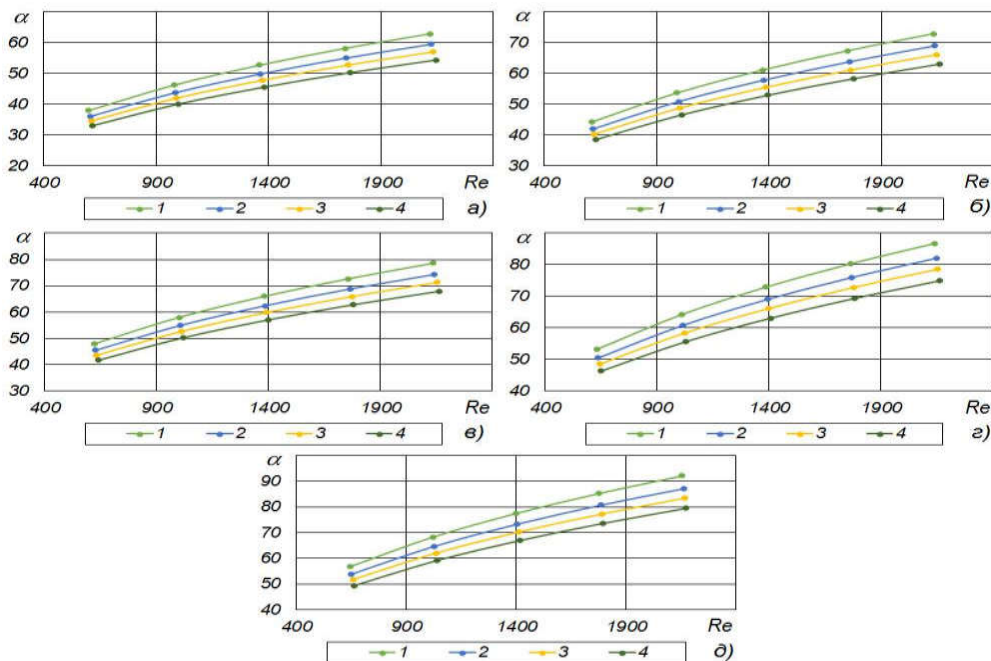
$$1-t_c = 35^\circ\text{С}; 2-t_c = 40^\circ\text{С}; 3-t_c = 45^\circ\text{С}; 4-t_c = 50^\circ\text{С}$$

2-расмда келтирилган қувурда конвектив иссиқлик алмашинуви натижалари таҳлили шуни кўрсатадики, иссиқ пол қувурида конвектив иссиқлик алмашинуви қувурнинг жойлашиш қадамига ва иссиқ сувнинг ҳароратига сезиларли даражада боғлиқ бўлиб, қувурни жойлашиш қадамини ортиши ва иссиқ сувнинг ҳароратини камайиши билан конвектив иссиқлик алмашинуви ортиб боради. Тажриба натижаларига кўра ламинар оқим режимида жойлашиш қадами 100 мм бўлганда конвектив иссиқлик алмашинуви 33...63 Вт/(м²·°С), 150 мм бўлганда 39...73 Вт/(м²·°С), 200 мм бўлганда 42...79 Вт/(м²·°С), 250 мм бўлганда 46...87 Вт/(м²·°С), 300 мм бўлганда 49...92 Вт/(м²·°С) оралиғида ўзгариши аниқланди.

3-расмда иссиқ сувнинг ламинар оқим режимида иссиқ пол қувурининг турли жойлашиш қадамида ва иссиқ сувнинг турли ҳароратларида қувурдан пол юзасига узатилган иссиқлик миқдори бўйича тажриба натижалари келтирилган.



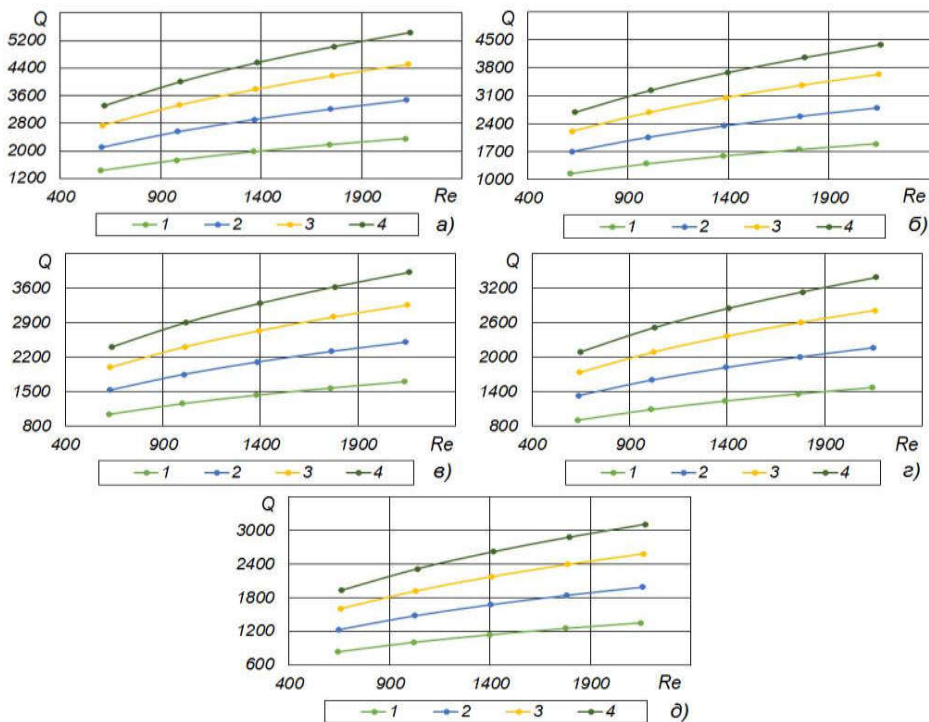
1-расм. Ламинар оқим режимида иссиқлик алмашинув коэффициентини иссиқ пол қувурининг жойлашиши қадамига ва иссиқ сув ҳароратига боғлиқ ҳолда ўзгариши: а- $s=100$ мм; б- $s=150$ мм; в- $s=200$ мм; г- $s=250$ мм; д- $s=300$ мм; 1- $t_c = 35^\circ\text{C}$; 2- $t_c = 40^\circ\text{C}$; 3- $t_c = 45^\circ\text{C}$; 4- $t_c = 50^\circ\text{C}$



2-расм. Ламинар оқим режимида қувурда конвектив иссиқлик алмашинуви коэффициентини (α , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$) иссиқ пол қувурининг жойлашиши қадамига ва иссиқ сув ҳароратига боғлиқ ҳолда ўзгариши:

3-расмда келтирилган пол юзасига узатилган иссиқлик миқдори натижалари таҳлили шуни кўрсатадики, узатилган иссиқлик миқдори қувурнинг жойлашиш қадамига ва иссиқ сувнинг ҳароратига сезиларли даражада боғлиқ бўлиб, қувурни жойлашиш қадами

камайиши ва иссиқ сув ҳароратини ортиши билан узатилган иссиқлик миқдори ортиб боради. Тажриба натижаларига кўра ламинар оқим режимида жойлашиш қадами 100 мм бўлганда узатилган иссиқлик миқдори 1426...5438 Вт, 150 мм бўлганда 1155...4384 Вт, 200 мм бўлганда 1040...3923 Вт, 250 мм бўлганда 904...3389 Вт, 300 мм бўлганда 835...3115 Вт оралиғида ўзгариши аниқланди.



3-расм. Ламинар оқим режимида қувурдан пол юзасига узатилган иссиқлик миқдорини (Q , Вт) қувурни жойлашиши қадамига ва иссиқ сув ҳароратига боғлиқ ҳолда ўзгариши: а- $s=100$ мм; б- $s=150$ мм; в- $s=200$ мм; д- $s=250$ мм; е- $s=300$ мм; 1- $t_c = 35^\circ\text{C}$; 2- $t_c = 40^\circ\text{C}$; 3- $t_c = 45^\circ\text{C}$; 4- $t_c = 50^\circ\text{C}$

Ламинар оқим режимида иссиқлик бериш бўйича олинган тажриба натижалари қайта ишланиб қувурнинг турли жойлашиш қадамларида қуйидаги эмпирик боғлиқликлар олинди:
 $s = 100$ мм бўлганда:

$$Nu = 0,03Re^{0,4}Pr^{0,58} \tag{6}$$

$s = 150$ мм бўлганда:

$$Nu = 0,035Re^{0,4}Pr^{0,58} \tag{7}$$

$s = 200$ мм бўлганда:

$$Nu = 0,037Re^{0,4}Pr^{0,58} \tag{8}$$

$s = 250$ мм бўлганда:

$$Nu = 0,041Re^{0,4}Pr^{0,58} \tag{9}$$

$s = 300$ мм бўлганда:

$$Nu = 0,044Re^{0,4}Pr^{0,58} \tag{10}$$

Юқоридаги тенгламалардан умумлашган ҳолатда қуйидаги тенглама олинди:

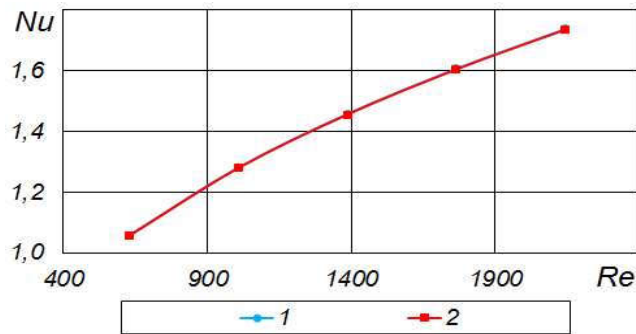
$$Nu = 0,066Re^{0,4}Pr^{0,58}s^{0,34} \tag{11}$$

Олинган (11) боғлиқлик $400 < Re < 2200$, $3,54 < Pr < 4,86$ оралиқларда ўринли. Ҳисоблаш хатолиги $\pm 2\%$ ни ташкил этади.

Иссиқлик алмашинув тадқиқотининг назарий ва тажриба натижаларининг адекватлигини баҳолаш. Адекватлик Фишер мезони бўйича баҳоланди. 4-расмда қувурда ламинар оқим режимида иссиқлик беришни аниқлаш бўйича олинган назарий ва тажриба натижаларини таққослаш кўрсатилган.

Фишер мезони қийматлари жадвалидан ишончли эҳтимоллик $P=0,99$, эркинлик даражаси $f_1 = 95$ ва кузатишлар сони $n = 99$ ҳолга мос келувчи $F_{ж} = 0,62$ қийматни топамиз. (11)

формула учун Фишер мезонининг ҳисобий қиймати $F_x = 0,28$. Кўришиб турибдики $F_x < F_{ж}$, демак модел адекват.



4-расм. Ламинар оқим режимида иссиқлик бериш бўйича олинган назарий ва тажриба натижаларини таққослаш.

Иссиқ пол қувурларида иссиқлик беришни аниқлаш учун олинган эмпирик боғлиқликлар тажриба натижалари билан тўлиқ адекват бўлиб, улардан иссиқ сувнинг ламинар оқим режимларида қуёш коллекторли иссиқ пол тизимининг иссиқлик самарадорлигини баҳолашда фойдаланиш мумкин.

Қуёш коллекторли иссиқ пол тизимининг параметрларини оптималлаш. Иссиқ пол тизимининг параметрларини оптималлаштириш мезони ва услуби Н.И. Гальперин, А.А. Гухман, В.В. Кафаров, М.В. Кирпичев, Л.З. Мельцер, А.С. Невский, С.Г. Чуклин, Г.Е. Каневец каби тадқиқотчиларнинг ишларида батафсил келтирилган [4]. Оптималлаштириш мезонининг энг тўлиқ рўйхати [4] да келтирилган. Барча мезонлар шартли равишда бешта гуруҳга бўлинган: энергетик, термодинамик, натурал кўрсаткичлар, иқтисодий ва комбинациялашган (солиштирма). Ҳозирги кунда иссиқлик энергетикаси соҳасида оптималлаштириш масаласини ечишда энергетик мезонлар энг кўп қўлланилади. Энергетик мезонларнинг ичида энг кўп Глазер мезони (иссиқлик-гидродинамик самарадорлик, қувватлар коэффициенти), Кирпичев мезони ва энергетик коэффицент қўлланилади.

Глазер мезони:

$$\eta_{\Gamma} = \frac{Q}{N} \rightarrow \text{макс} \tag{12}$$

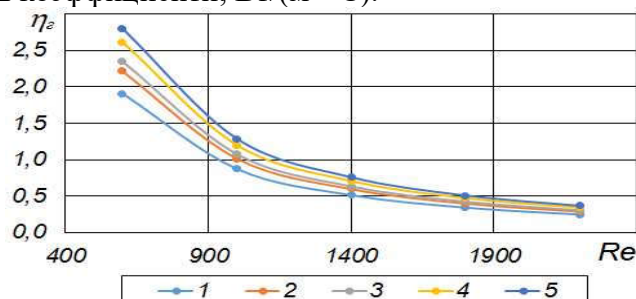
Кирпичев мезони:

$$E = \frac{Q}{AL} \rightarrow \text{макс}, \tag{13}$$

Энергетик коэффицент:

$$\eta_{\varepsilon} = \frac{\alpha}{AN} \rightarrow \text{макс} \tag{14}$$

бу ерда Q – иссиқ пол қувуридан узатилган иссиқлик миқдори, Вт; N – насос қуввати, Вт; AL – насос ёки компрессор иши (гидравлик қаршиликларни енгишга сарфланган), Вт; α – иссиқлик бериш коэффицентини, Вт/(м²·°С).



5-расм. Ламинар оқим режимида иссиқ пол тизимининг параметрларини оптималлаштириш натижалари: 1-s=100 мм; 2-s=150 мм; 3-s=200 мм; 4-s=250 мм; 5-s=300 мм

Бизнинг ҳолда Глазер мезонидан фойдаланилди ва иссиқ сувнинг ламинар оқим режимида иссиқ пол тизимининг параметрлари оптималлаштирилди. Иссиқ сувнинг ламинар

оқим режимида Глазер мезони бўйича олинган натижалар $\eta_r = f(Re)$ боғлиқлик шаклида 5-расмда келтирилган. 5-расмдан кўриниб турибдики, ламинар оқим режимининг $Re=600-1000$ оралиғида иссиқ пол тизими энг юқори иссиқлик-гидродинамик самарадорликка эга бўлади. Ушбу соҳада қувурнинг оптимал диаметри $d=0,016$ м ва жойлашиш қадами $s=0,3$ м, сувнинг сарфи $G=0,005-0,008$ кг/с. Ушбу параметрлардаги иссиқлик-гидродинамик самарадорлик ламинар оқим режимининг қолган соҳасига нисбатан 2,5 мартагача юқори.

Хулоса. Қуёш коллекторли иссиқ пол тизимининг силлиқ қувурида иссиқ сувнинг ламинар оқим режимида ўтказилган тажриба тадқиқотлари шуни кўрсатадики, иссиқ сувнинг ҳарорати ва қувурларни жойлашиш қадами иссиқлик бериш коэффициентига сезиларли таъсир кўрсатади. Ҳароратни ортиши ва қувурлар жойлашиш қадамини камайиши билан иссиқлик бериш коэффициенти ортади. Тажриба натижаларини қайта ишлаш натижасида қуёш коллекторли иссиқ пол тизимининг қувурида иссиқ сувнинг ламинар оқим режимида иссиқлик бериш коэффициентини аниқлаш бўйича эмпирик боғлиқликлар олинди. Олинган эмпирик боғлиқликларнинг натижалари маълум назарий формула бўйича ҳисоблаш натижалари билан етарлича аниқликда мос келади. Силлиқ қувурда гидравлик қаршилик бўйича тажриба натижаларини таклиф этилган эмпирик боғлиқликдан оғиши $\pm 2\%$ ни ташкил этади. Ушбу оғиш атроф-муҳитга иссиқлик йўқотилиши билан боғлиқ. Олинган эмпирик моделларни адекватлиги Фишер мезони бўйича баҳоланган ва моделларни адекватлиги асосланган. Қуёш коллекторли иссиқ пол тизимининг параметрлари оптималлаштирилди, унга кўра қувурнинг диаметри $0,016$ м ва жойлашиш қадами $0,3$ м, $Re=600-1000$ ($G=0,005-0,008$ кг/с) оптимал параметрлар эканлиги аниқланди. Шундай қилиб, таклиф этилган эмпирик боғлиқдан иссиқ сувнинг турли оқим режимларида қуёш коллекторли иссиқ пол тизимининг иссиқлик-гидродинамик самарадорлигини баҳолашда фойдаланиш мумкин.

АДАБИЁТЛАР

1. S.I. Khamraev, U.Kh. Ibragimov, B.I. Kamolov. Removal of hydrodynamic lesions of a heated floor with a solar collector. АРЕС-V-2022. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 1070 (2022) 012018. doi:10.1088/1755-1315/1070/1/012018.
2. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Изд. 2-е. М.: Энергия, 1977.– 344 с.
3. Водяной теплый пол. Проектирование, монтаж, настройка. 2020. www.valtek.ru.
4. Каневец Г.Е. Обобщенные методы расчета теплообменников. – Киев: Наук, думка, 1979, - 352 с.
5. Uzakov G.N., Khamraev S.I., Khuzhakulov S.M. Rural house heat supply system based on solar energy // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1030 (2021) 012167 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/1030/1/012167
6. Uzakov G. N., Charvinski V. L., Ibragimov U. Kh., Khamraev S. I., Kamolov B. I. (2022) Mathematical Modeling of the Combined Heat Supply System of a Solar House. Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc. 65 (5), 412–421. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2022-65-5-412-421>
7. Uzakov G. N., Khamraev S. I., Zuvaytova Z.K, Charvinski V. L. Thermal-technical characteristics and thermal regime of energy-efficient solar house. // «Информационные технологии в политических, социально-экономических и технических системах» Материалы научно-практической конференции. Минск, 2022. ст. 180-187
8. Хамраев С.И. Қишлоқ уйларининг комбинациялашган иссиқлик таъминоти тизими // «Илм-фан тараққиётига ёшларнинг инновацион ёндашувлари» мавзусидаги онлайн худудий илмий-амалий анжумани Қарши, 2020. б. 295-297
9. Хамраев С.И. Комбинациялашган қуёш иситиш тизимининг иссиқлик-техник параметрларини асослаш // «Энерго- и ресурсосбережение: новые исследования, технологии и инновационные подходы» Халқаро конференция. Қарши, 2021. б 292-295
10. Х.А. Алмарданов, И.А. Хатамов, З.Б. Тураев, Р.Э. Юсупов. Применение солнечных концентраторов для приема альтернативного топлива через устройство гелиопиролиза. Universum: технические науки, 2021, 8-12 ст.