



КУЁШ КОЛЛЕКТОРЛИ СУВЛИ ИССИҚ ПОЛ КУВУРИДА ИССИҚ СУВНИНГ ЛАМИНАР ОКИМИДА ИССИҚЛИК АЛМАШИНУВ ЖАРАЁНЛАРИНИ МОДЕЛЛАШТИРИШ

таърих докторант С.И.Хамраев т.ф.ф.д., (PhD) У.Х.Ибрагимов
таърих докторант Б.И.Камолов магистр Э.К.Зувайтова
Қарии муҳандислик-иқтисодийёт институти

Аннотация: В данной статье приведены результаты экспериментального исследования процессов теплообмена при ламинарном режиме течения горячей воды, движущейся по трубам теплого пола при энергосбережении с использованием солнечной энергии в системе водяного теплого пола и эмпирические уравнения, полученные в результате обработки результатов, а также представлены результаты оптимизации параметров системы теплого пола в режиме ламинарного потока.

Ключевые слова: теплый пол, диаметр трубы, шаг трубы, ламинарный режим, теплоотдача, шаг расположения.

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-heated floor system and empirical equations obtained as a result of processing the results, as well as the results of optimizing the parameters underfloor heating systems in laminar flow mode.

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

Хозирги вақтда аҳоли яшаш уйларида қулай шаронгин яратиш, аҳолини йил давомида узлуксиз иссиқлик ва иссиқ сув билан таъминлашда қуёш коллекторли сувли иссиқ пол тизимларидан фойдаланиш муҳим масалалардан бири ҳисобланади [1]. Сувли иссиқ пол тизимининг қувурлари орқали иссиқ сувдан узатилаётган иссиқликдан самарали фойдаланиш, қувурлар диаметри ва жойлашнинг қаддини 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 келтирилганларини инобатга олган ҳолда муаллифлар томонидан иссиқ пол тизимининг қувурларидан оқаётган иссиқ сувнинг ламинар оқим режимда 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 ковшок-гравитацион соҳасида силлик қувурларда иссиқлик бериш қуйидагича аниқланади [2]:

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

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

(1) формула $10 < Re < 2300$, $0,06 \leq Pr/Pr_s \leq 10$, $l/d > 10$ оралиқларда ўринли ҳисобланади.

Силлик қувурларда турбулент оқим режимда иссиқлик бериш қуйидагича аниқланади [2]:

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

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





инобатта олади. Агар $l/d \geq 50$ бўлса $\epsilon_l = 1$. $l/d < 50$ бўлганда бошланғич участканинг таъсирини инобатта олиш зарур.

Иссиқ сувдан иссиқ пол қувури деворига иссиқлик бериш коэффициентини:

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

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

Солиштирма иссиқлик оқими қуйидаги формуладан ҳисобланади []:

$$q = \alpha(t_a - t_s) \quad (4)$$

бу ерда t_a – пол юзасидаги ҳарорат, °С; t_s – хона ичидаги ҳарорат, °С.

Иссиқ пол тизимидан узатилган иссиқлик миқдори:

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

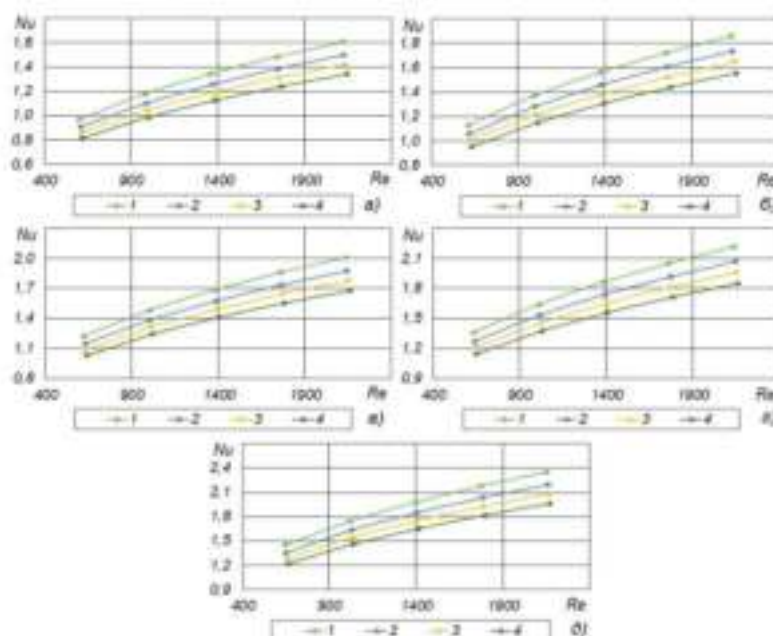
бу ерда F – қувурнинг умумий иссиқлик алмашинув юзаси майдони, м².

Тажриба тадқиқотларининг ўтказишида хона полнинг юзасидаги максимал руҳсат 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]. Сувли иссиқ пол қувури жойлашнинг турли қадамларида ($s = 0,1$ м, $s = 0,15$ м, $s = 0,2$ м, $s = 0,25$ м, $s = 0,3$ м) иссиқ сувининг 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 графити шаклида келтирилди.

1-расмда иссиқ сувининг ламинар оқим режимда иссиқ пол қувурининг турли жойлашши қадамида ва иссиқ сувининг турли ҳароратларида қувурнинг иссиқлик бериш коэффициенти бўйича тажриба натижалари келтирилган.



1-расм. Ламинар оқим режимда иссиқлик алмашинув коэффициентини иссиқ пол қувурининг жойлашши қадамига ва иссиқ сув ҳароратига боғлиқ ҳолда ўлғариши:

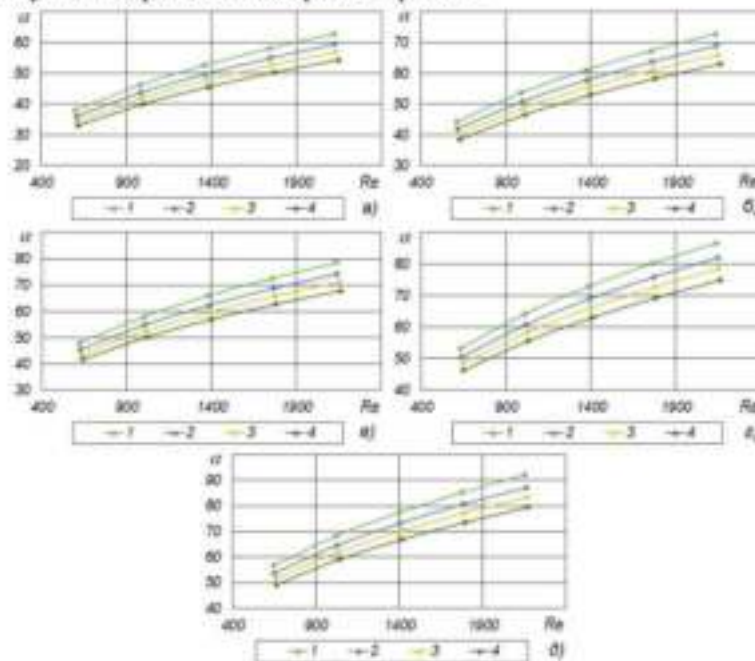




$a-s=100$ мм; $b-s=150$ мм; $v-s=200$ мм; $г-s=250$ мм; $д-s=300$ мм;
 $1-t_c = 35^\circ\text{C}$; $2-t_c = 40^\circ\text{C}$; $3-t_c = 45^\circ\text{C}$; $4-t_c = 50^\circ\text{C}$

1-расмда келтирилган графиклар бўйича иссиқлик бериш коэффициентини натижалари таҳлили шуни кўрсатадики, иссиқ пол қувурининг иссиқлик бериш коэффициенти қувурларни жойлаштириш қадамига ва иссиқ сувнинг ҳароратига сезиларли даражада боғлиқ бўлиб, қувур жойлаштириш қадамини орттириш ва иссиқ сув ҳароратини камайтириш билан иссиқлик бериш коэффициенти ортиб боради. Тажриба натижаларига кўра ламинар оқим режимида жойлаштириш 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 жойлаштириш қадамида ва иссиқ сувнинг турли ҳароратларида қувурда конвектив иссиқлик алмашинуви бўйича тажриба натижалари келтирилган.



2-расм. Ламинар оқим режимида қувурда конвектив иссиқлик алмашинуви коэффициенти (α , Вт/(м²·°С)) иссиқ пол қувурининг жойлаштириш қадамига ва иссиқ сув ҳароратига боғлиқ ҳолда ўзгариши:

$a-s=100$ мм; $b-s=150$ мм; $v-s=200$ мм; $г-s=250$ мм; $д-s=300$ мм;
 $1-t_c = 35^\circ\text{C}$; $2-t_c = 40^\circ\text{C}$; $3-t_c = 45^\circ\text{C}$; $4-t_c = 50^\circ\text{C}$

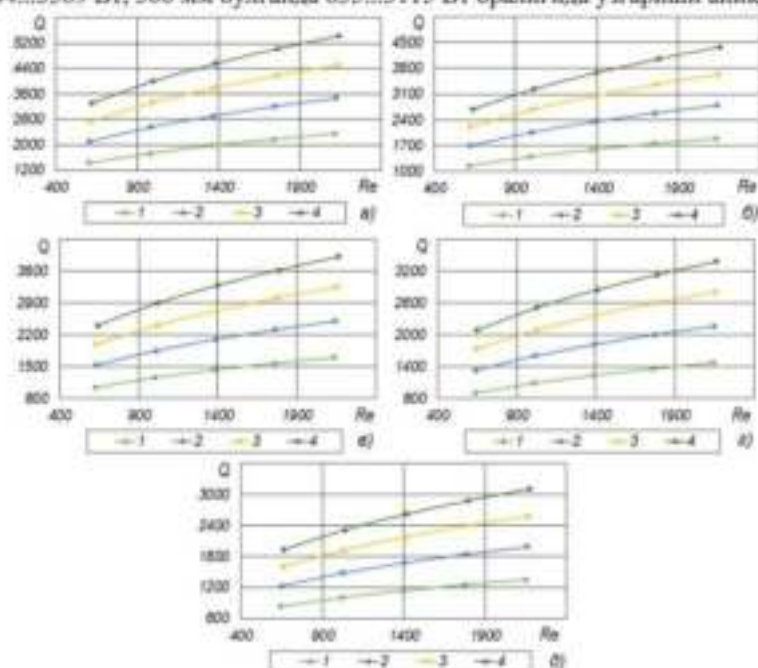
2-расмда келтирилган қувурда конвектив иссиқлик алмашинуви натижалари таҳлили шуни кўрсатадики, иссиқ пол қувурда конвектив иссиқлик алмашинуви қувурининг жойлаштириш қадамига ва иссиқ сувнинг ҳароратига сезиларли даражада боғлиқ бўлиб, қувурни жойлаштириш қадамини орттириш ва иссиқ сувнинг ҳароратини камайтириш билан конвектив иссиқлик алмашинуви ортиб боради. Тажриба натижаларига кўра ламинар оқим режимида жойлаштириш 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 жойлаштириш қадамида ва иссиқ сувнинг турли ҳароратларида қувурдан пол юзасига узатиладган иссиқлик миқдори бўйича тажриба натижалари келтирилган. 3-расмда келтирилган пол





юзасига узатилган иссиқлик миқдори натижалари таҳлили шуни кўрсатадики, узатилган иссиқлик миқдори қувурнинг жойлашши қадамига ва иссиқ суювнинг ҳароратига сезиларли даражада боғлиқ бўлиб, қувурни жойлашши қадамини камайиши ва иссиқ сув ҳароратини ортиши билан узатилган иссиқлик миқдори ортиб боради. Тажриба натижаларига кўра ламинар оқим режимида жойлашши 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 жойлашши 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- $t_c = 50^\circ\text{C}$

Ламинар оқим режимида иссиқлик бериши бўйича олинган тажриба натижалари қайта ишланиб қувурнинг турли жойлашши 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:

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

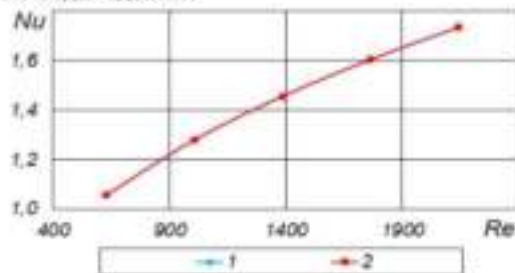
Олинган (11) боғлиқлик $400 < Re < 2200$, $3,54 < Pr_c < 4,86$ оралиқларида ўринали. Ҳисоблаш хатолиғи $\pm 2\%$ ни ташкил этади.



Иссиқлик алмашинув таъқиқотининг назарий ва таъриба натижаларининг адекватлигини баҳолаш. Адекватлик Фишер мезони бўйича баҳоланди.

4-расмда қувурда ламинар оқим режимида иссиқлик беришни аниқлаш бўйича олинган назарий ва таъриба натижаларини таъқослаш кўрсатилган.

Фишер мезони қийматлари жадвалидан ишончли эҳтимоллиқ $P=0,99$, эркинлик даражаси $f_1 = 95$ ва кузатишлар сони $n = 99$ ҳолга мос келувчи $F_{\alpha} = 0,62$ қийматини топамиз. (11) формула учун Фишер мезонининг ҳисобий қиймати $F_{\chi} = 0,28$. Кўришиб турибдики $F_{\chi} < F_{\alpha}$, демак модел адекват.



4-расм. Ламинар оқим режимида иссиқлик бериш бўйича олинган назарий ва таъриба натижаларини таъқослаш:

1-назарий (4.24 формула) натижалар; 2-таъриба (4.34 формула) натижалари.

Иссиқ пол қувурларида иссиқлик беришни аниқлаш учун олинган эмпирик боғлиқликлар таъриба натижалари билан тўлиқ адекват бўлиб, улардан иссиқ сувнинг ламинар оқим режимида 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. Чуқлин, Г.Е. Каневец каби таъқиқотчиларнинг 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 коэффициент қўлланилади.

$$\text{Глазер мезони: } \eta_r = \frac{Q}{N} \rightarrow \text{макс} \quad (12)$$

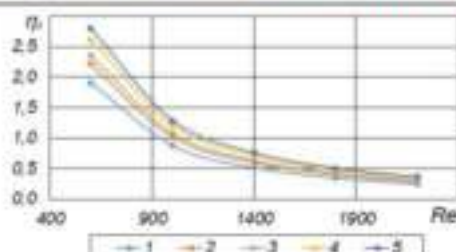
$$\text{Кирпичев мезони: } E = \frac{Q}{AL} \rightarrow \text{макс} \quad (13)$$

$$\text{Энергетик коэффициент: } \eta_s = \frac{AL}{\alpha} \rightarrow \text{макс} \quad (14)$$

бу ерда Q – иссиқ пол қувурдан узатишган иссиқлик миқдори, Вт; N – насос қуввати, Вт; AL – насос ёки компрессор иши (гидравлик қаринликларни енгшига сарфланган), Вт; α – иссиқлик бериш коэффициенти, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

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-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.

5-расмдан кўришиб турибдики, ламинар оқим режимида $Re=600-1000$ оралиғида иссиқ пол тизими энг юкори иссиқлик-гидродинамик самарадорликка эга бўлади. Ушбу соҳада қувурнинг оптимал диаметри $d=0,016$ м ва жойлашни қадами $s=0,3$ м, сувининг сарфи $G=0,005-0,008$ кг/с. Ушбу параметрлардаги иссиқлик-гидродинамик самарадорлик ламинар оқим режимида қолган соҳасига нисбатан 2,5 мартагача юкори.

Хулоса. Қуёш коллекторли иссиқ пол тизимининг силлик қувурда иссиқ сувининг ламинар оқим режимида ўтказилган тажриба тадқиқотлари шуни кўрсатадики, иссиқ сувининг ҳарорати ва қувурларини жойлашни қадами иссиқлик бериш коэффициентига сезиларли таъсир кўрсатади. Ҳароратни орттириш ва қувурлар жойлашни қадамини камайтириш билан иссиқлик бериш коэффициенти ортади. Тажриба натижаларини қайта ишлаш натижасида қуёш коллекторли иссиқ пол тизимининг қувурда иссиқ сувининг 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. Силлик қувурда гидравлик қаршилик бўйича тажриба натижаларини тақлиф этилган эмпирик боғлиқликдан оғини $\pm 2\%$ ни ташкил этади. Ушбу оғини атроф-муҳитта 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 жойлашни қадами $0,3$ м, $Re=600-1000$ ($G=0,005-0,008$ кг/с) оптимал параметрлар эканлиги аниқланди. Шундай қилиб, тақлиф этилган эмпирик боғлиқдан иссиқ сувининг турли оқим режимида қуёш коллекторли иссиқ пол тизимининг иссиқлик-гидродинамик самарадорлигини баҳолашда фойдаланиш мумкин.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. S.I. Khamraev, U.Kh. Ibragimov, B.I. Kamolov. Removal of hydrodynamic lesions of a heated floor with a solar collector. APEC-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. Aliyarova L A, Uzakov G N, Toshmamatov B M 2021 The efficiency of using a combined solar plant for the heat and humidity treatment of air IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 723 052002. doi:10.1088/1755-1315/723/5/052002.
6. G N Uzakov, S M Shomuratova and B M Toshmamatov 2021 Study of a solar air heater with a heat exchanger – accumulator IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 723 (2021) 052013. doi:10.1088/1755-1315/723/5/052013.
7. Toshmamatov B.M., Shomuratova S.M., Mamedova D.N., Samatova S.H.Y., Chorlieva S. 2022 Improving the energy efficiency of a solar air heater with a heat exchanger – Accumulator. 1045(1), 012081.