

ҚУЁШ ҲАВО КОЛЛЕКТОРЛАРИДА ТУРБУЛИЗАТОРЛАР ҚЎЛЛАНИЛГАНИДА ҲАВО ҲАРОРАТИ РЕЖИМИНИ КОМПЬЮТЕРЛИ МОДЕЛЛАШТИРИШ

¹Узоқов Ғ.Н., ²Ибрагимов У. Х., ³Алиярова Л. А., ⁴Хамраев С.И.

¹Узоқов Ғулом Норбоевич- т.ф.д., профессор, Қарши муҳандислик иқтисодиёт институти, Қарши ш. Ўзбекистон Республикаси, e-mail: uzoqov1966@rambler.ru *ORCID ID* 0000-0002-4066-1140

²Ибрагимов Умиджон Хикматуллаевич.-т.ф.д., Қарши муҳандислик иқтисодиёт институти, Қарши ш. Ўзбекистон, e-mail: ibragimov_u@rambler.ru *ORCID ID* 0000-0002-8848-0971

³Алиярова Лола Абдижаббаровна.,-т.ф.д., Қарши муҳандислик иқтисодиёт институти, Қарши ш. Ўзбекистон Республикаси, e-mail: lola.aliyarova@mail.ru *ORCID ID* 0000-0001-6106-5826

⁴Хамраев Сардор Илхомович -таянч докторант, Қарши муҳандислик иқтисодиёт институти, Қарши ш. Ўзбекистон Республикаси, e-mail: xamrayevs@bk.ru *ORCID ID* 0000-0002-0847-9488

Аннотация: Ушбу мақолада текис қуёш ҳаво коллекторларида баффле- турбулизатор типдаги кучайтиргичларни ўрнатиш таклиф этилади. Қуёш ҳаво коллекторидаги ҳарорат режими 2, 3, 4 ва 8 дафтар- турбулизаторларни ўрнатишда назарий жиҳатдан ўрганилди. Тадқиқот натижаларига кўра, 2, 3, 4 ва 8 тўсиқ- турбулизаторли коллекторнинг ўртача самарадорлиги мос равишда 29,2%, 31,3%, 33,1 ва 33,7% ни ташкил этди, оддий коллекторда эса - 28,9%.

Калим сўзлар: қуёш коллектори, баффле-турбулизатор, коллектор самарадорлиги, иссиқлик узатиш, ҳарорат.

Abstract: This article proposes the installation of baffle-turbulator type intensifiers in flat solar air collectors. Theoretically investigated the temperature regime in the solar air collector when installing 2, 3, 4 and 8 baffle-turbulators. According to the results of the study, the average efficiency of a collector with 2, 3, 4 and 8 baffles-turbulators was 29,2%, 31,3%, 33,1 and 33,7%, respectively, in a simple collector – 28,9%.

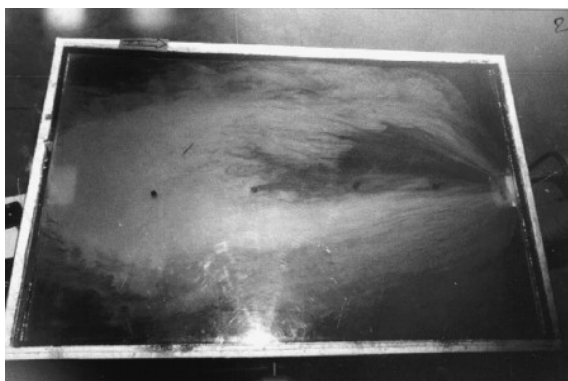
Keywords: solar collector, baffle-turbulator, collector efficiency, heat transfer, temperature.

Кириш. Қуёш ҳаво коллектори каналли иссиқлик алмашинув қурилмаси бўлиб, тушаётган қуёш энергиясининг иссиқлик энергиясини канал орқали ўтаётган ҳавога узатиб бериш учун мўлжалланган қурилма. У шиша орқали ўтган қуёш радиациясини ютади, уни иссиқлик энергиясига ўзгартиради ва совуқ ҳавога узатади [1, 2]. Ясси қуёш коллекторида юқори иссиқлик самарадорлигига эга бўлиш учун иссиқлик ютувчи пластинадан ҳаво оқимида самарали узатилиши керак. Қуёш коллектори ичидаги иссиқлик узатиш коэффициенти коллекторнинг самарадорлигига муҳим таъсир этувчи параметр ҳисобланади [3]. Кўпгина тадқиқотчилар коллекторнинг ютувчи пластинаси ва шиша қопламаси орасида турли шаклдаги жадаллаштиргичларни қўллаб иссиқлик алмашинувини жадаллаштиришга эришган [4,11].

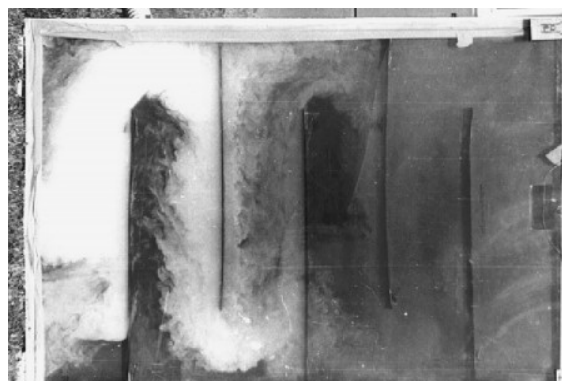
Материаллар ва методлар. Тўсиқ-турбулизатор иссиқлик узатиш юзаси майдонини оширади ва коллекторда ҳаво оқимининг турбулентлигини таъминлайди. Тўсиқларни мавжуд бўлиши ҳаво оқими дастлаб ажралади ва яна бирлашиб қайтар оқимни ҳосил қилади, натижада коллекторнинг ишчи юзасини ювилиш даражаси ортади. Коллекторларда тўсиқларни ўрнатишдан асосий мақсад коллектордаги ўлик зоналарни камайтириш ва иссиқлик алмашинув юзасининг майдонини ошириш ҳисобланади.

1 ва 2-расмларда текис пластина ва тўсиқ-турбулизаторли коллекторнинг визуал моделлари кўрсатилган [5]. 1-расмда текис пластина коллекторда ҳаво оқимларининг схемаси кўрсатилган бўлиб, коллектордаги тўғри ҳаво оқими коллекторнинг ишчи юзасида бир неча ўлик зоналарни ҳосил қилади. Натижада ҳаво билан пластинани тўқнашиш юзаси камаяди ва иссиқлик узатиш самарадорлиги пасайиб кетади. 2-расмда тўсиқ-турбулизатор ўрнатилгандаги визуал модел кўрсатилган бўлиб, ундан кўриниб турибдики ҳаво ҳаракат траекториясининг узунлиги коллекторнинг умумий узунлигидан икки марта катта, натижада иссиқлик узатиш ошади ва ўлик зоналар сезиларли камаяди. Қуёш ҳаво коллекторларида тўсиқларни ўрнатиш яхши натижа беришини Пон [6] ўзининг тадқиқот ишларида маълум

қилган ва тўсиқ-турбулизаторлар ўрнатилганда қуёш ҳаво коллекторининг самарадорлиги текис пластиналарга қараганда 7-12% га ортишини аниқлаган.



1-расм. Текис пластиналар коллекторда ҳаво оқимининг визуал кўриниши.



2-расм. Тўсиқ-турбулизаторли коллекторда ҳаво оқимининг визуал кўриниши.

Абене [7] ҳам коллекторда турли шаклдаги тўсиқ-турбулизаторларни ўрнатиб иссиқлик алмашинуви бўйича тадқиқотлар ўтказган ва тўсиқ-турбулизаторларни ўрнатиш иссиқлик алмашинув жадаллиги 8-10% га ортишини аниқлаган. Коллекторлар тўсиқ-турбулизаторларни ўрнатишдаги самарадорликни баҳолаш бўйича кўп сонли тадқиқот ишлари амалга оширилган, бироқ тўсиқ-турбулизаторнинг сони, узунлиги ва юзасини коллекторнинг самарадорлигига таъсири тадқиқот қилинмаган. Юқорида келтирилган визуал моделдан кўриниб турибдики, тўсиқлар ҳаво оқими каналини торайтиради ва тўкнашувчи юза билан ишқаланиш қаршилигини оширади, натижада босим йўқотилиши ортади. Маълумки босим йўқотилишини ортиши вентилятор қувватини оширади, натижада эксплуатация ҳаражатлари ҳам ортади. Шунинг учун тўсиқларни лойиҳалаш ва ўрнатишда техник-иқтисодий томонлама энг мақбул параметрлар танланиши керак.

Ясси қуёш коллекторининг иссиқлик самарадорлиги коллекторда олинган энергиянинг (Q_k) умумий тушган қуёш нурланиш энергиясига (Q_y) нисбатидан аниқланади. Коллекторнинг самарадорлигини қуйидаги ифода ёрдамида ифодалаш мумкин [8, 9]:

$$\eta = \frac{Q_k}{Q_y} \quad (1)$$

Коллекторда олинган фойдали энергия – бу коллектордан чиқаётган иссиқлик миқдори бўлиб қуйидаги кўринишга эга:

$$Q_k = mc_p(t_c - t_k), \quad (2)$$

бу ерда m – ҳавонинг массавий сарфи, кг/с; c_p – ҳавонинг солиштирма иссиқлик сифими, Ж/(кг·°C); t_k, t_c – ҳавонинг коллекторга кириш ва чиқишдаги ҳароратлари, °C.

Қуёш энергияси тушаётган коллектор майдони коллекторнинг апертура майдони (A) деб аталади. Демак коллекторда олинган умумий энергия қуйидаги тенглама кўринишида ифодаланади:

$$Q_{y,k} = Q_{\phi}A. \quad (3)$$

Шунга кўра энергияни ютилиши ва ўтказилиши оптик нурланишнинг кўп сонли самараси ҳисобланиб, ушбу омиллар коллекторнинг шаффоф қопламаси орқали ўтаётган қуёш нурларининг маълум фоизини ташкил этади:

$$Q_{y,k} = \alpha \cdot \tau \cdot I \cdot A, \quad (4)$$

бу ерда α – қуёш коллекторининг абсорбция коэффициенти; τ – қуёш коллектори шаффоф қопламасининг трансмиссия коэффициенти; I – қуёш нурланиш оқимининг зичлиги, Вт/м².

Коллекторда олинган фойдали энергия қуйидагича:

$$Q_{\phi} = Q_{y,k} - Q_{y\ddot{u}k} = \alpha \cdot \tau \cdot I \cdot A - U_L A(t_a - t_x), \quad (5)$$

бу ерда U_L – иссиқик йўқотилиш коэффициентини, $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$; T_a , T_x – абсорбер ва ташқи ҳаво ҳарорати, $^\circ C$.

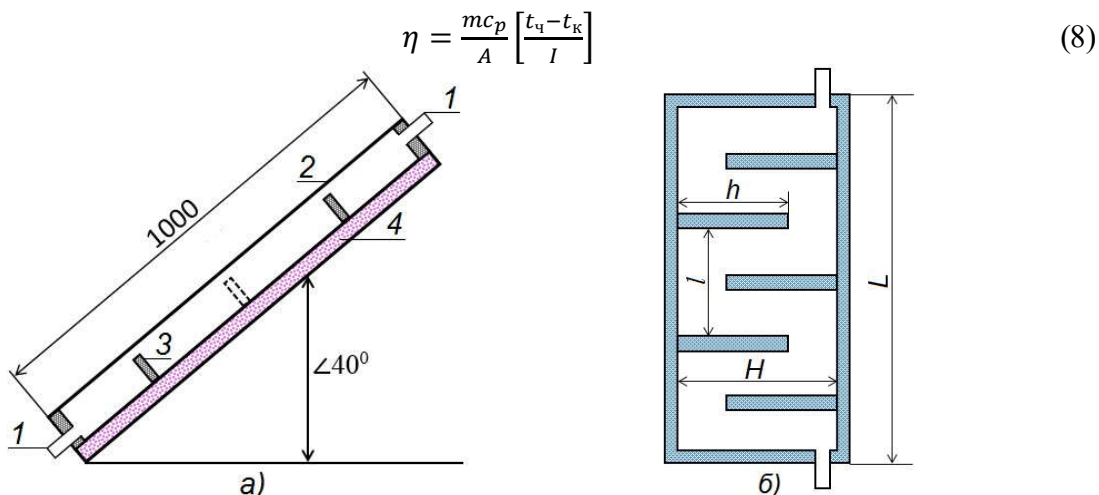
(5) ифодадан коллектордаги ўртача ҳароратни аниқлаш жуда қийин бўлиб, “коллекторнинг иссиқлик сиғими” (F_R) коэффициентидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ:

$$F_R = \frac{mc_p(t_q - t_k)}{A(\alpha \tau I - U_L(t_k - t_a))}. \quad (6)$$

Демак, ясси куёш коллекторининг самарадорлигини аниқлаш учун “Хоттел-Вилье-Блисс” тенгламасидан фойдаланиш мумкин [10]:

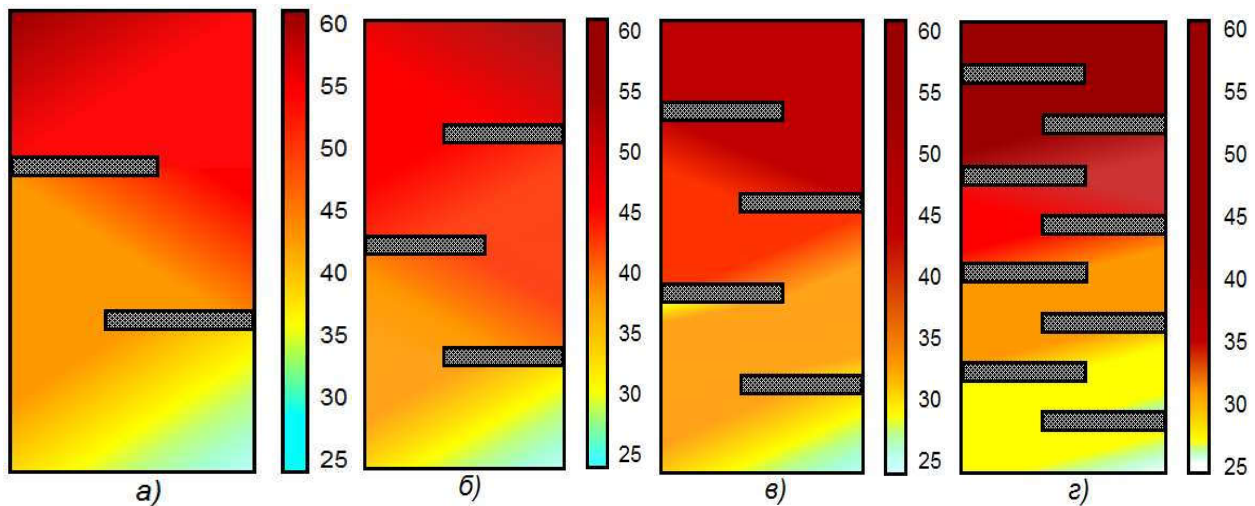
$$\eta = F_R \cdot \alpha \tau - F_R U_L \left(\frac{t_q - t_k}{I} \right). \quad (7)$$

Агар α ва τ коэффициентлар ўзгармас деб қабул қилинса, у ҳолда коллекторнинг самарадорлиги эксплуатация шароитини аниқловчи учта (нурланиш оқими зичлиги, ҳавонинг кириш ва чиқиш ҳароратлари) параметрнинг чизиқли функцияси ҳисобланади. Шунинг учун ясси коллекторнинг унумдорлигини ушбу учта параметрни ўлчаш билан аппроксимациялаш мумкин ва умумлаштирувчи (8) тенгламадан фойдаланиб самарадорлигини аниқлаш мумкин [11]:



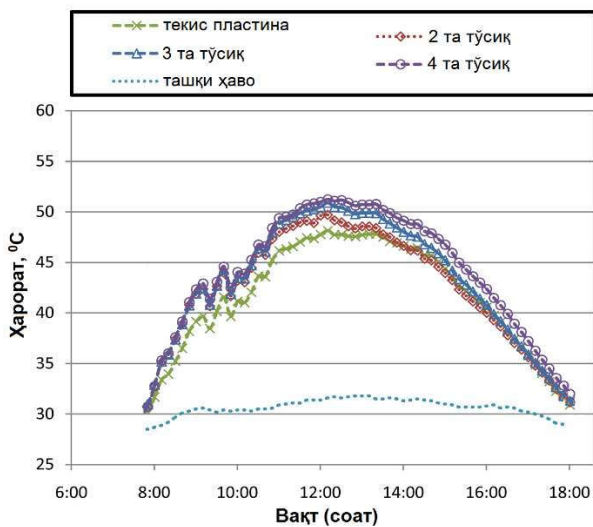
3-расм. Тўсиқ-турбулизаторли қуёш ҳаво коллекторининг схемаси (а) ва геометрик характеристикаси (б): 1-ҳавони кириш ва чиқиши учун қувур; 2-шаффоф қоплама; 3-тўсиқ-турбулизатор; 4-иссиқлик изоляцияси; h -тўсиқнинг узунлиги; l -тўсиқлар орасидаги масофа; H -коллекторнинг кенглиги; L -коллекторнинг узунлиги.

Натижалар ва уларни муҳокамаси. Назарий тадқиқотларни амалга ошириш учун **COMSOL Multiphysics** дастурий воситасидан фойдаланиб тўсиқ-турбулизаторларнинг тўртта моделини қурамиз (3 ва 4-расм). Компьютер моделини қуришда дастлабки маълумотлар сифатида қуйидагилар қабул қиламиз: коллектор ён деворининг қалинлиги 3 мм, абсорбер пластинаси қора рангга бўялган, шаффоф қоплама қалинлиги 4 мм бўлган шиша, ҳаракатлаувчи муҳит ҳаво, ҳавонинг ҳарорати 25-60 $^\circ C$ оралиғида ўзгаради, коллекторнинг узунлиги 1 м ва кенглиги 0,5 м, ишчи ҳажм чуқурлиги 0,006 м, тўсиқнинг узунлиги 0,4 м, тўсиқлар сони 2, 3, 4 ва 8 та. Олинган тадқиқот натижалари 4-расмда кўрсатилган.

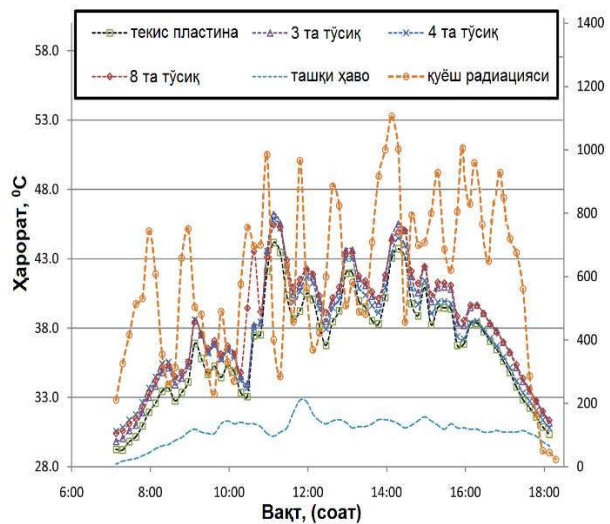


4-расм. Тўсиқ-турбулизатор ўрнатилган қуёш ҳаво коллекторидаги ҳароратлар майдони ва ҳаво ҳароратини коллектор узунлиги бўйича ўзгариши.

5-расмда келтирилган натижалардан кўриниб турибдики, 4 та тўсиқ-турбулизаторли коллекторда 2 ва 3 та тўсиқ-турбулизаторли коллекторларга қараганда кун давомида энг юқори ҳарорат олиш мумкин. 4 та тўсиқ-турбулизаторли коллектордаги ўртача ҳарорат 42,7°C, 2 ва 3 та тўсиқ-турбулизаторли ва текис пластина коллекторларда – 42,1°C, 41,6°C ва 40,1°C. Шунингдек 4 та тўсиқ-турбулизаторли коллекторда максимал ҳарорат 52,2°C га етган вақтда 2 ва 3 та тўсиқ-турбулизаторли ва текис пластина коллекторларда максимал ҳарорат 50°C, 51°C ва 48°C.



5-расм. Текис пластина коллектор ва 2, 3 ва 4 та тўсиқ-турбулизатор ўрнатилган коллекторда ҳаво ҳароратини кун давомида ўзгариши.



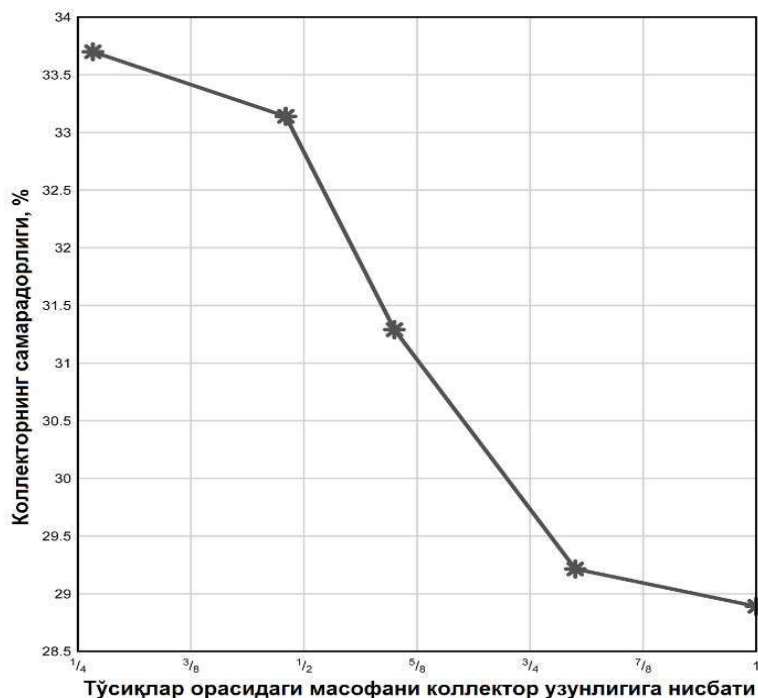
6-расм. Текис пластина коллектор ва 3, 4 ва 8 та тўсиқ-турбулизатор ўрнатилган коллекторда ҳаво ҳароратини кун давомида ўзгариши.

6-расмда келтирилган натижалардан кўриниб турибдики, 8 та тўсиқ-турбулизатор ўрнатилган коллекторда бошқа коллекторларникига қараганда ҳарорат энг юқори. 8 та тўсиқ-турбулизаторли коллектордаги ўртача ҳарорат 41,3°C, 3 ва 4 та тўсиқ-турбулизаторли ва текис пластина коллекторларда – 39°C, 40°C ва 38°C. Расмдан кўриниб турибдики, қуёш радиациясини нобарқарорлиги сабабли ҳароратни кескин тебраниши кузатилади. Бундай ўзгарувчан режимда коллекторларни таққослаш имконияти мавжуд эмас.

Аниқланган ҳарорат қийматлари бўйича текис пластина ва тўсиқ-турбулизаторли коллекторларнинг самарадорлиги аниқланди. Текис пластина коллекторнинг

самарадорлиги – 28,9%, 2, 3, 4 ва 8 та тўсиқ-турбулизаторли коллекторларнинг самарадорлиги мос равишда 29,2%, 31,3%, 33,1% ва 37,8%. Кўриниб турибдики 8 та тўсиқ-турбулизаторли коллектор энг юқори самарадорликка эга.

7-расмда тўсиқлар орасидаги масофани коллектор узунлигига нисбати куёш коллекторининг самарадорлигига таъсири кўрсатилган. Тўсиқлар орасидаги масофани коллектор узунлигига нисбати қиймати камайганда коллекторнинг самарадорлиги ортади, қиймат кичик бўлганда (тўсиқлар сони кўп бўлганда) самарадорлик камаяди. Коллектордаги тўсиқлар сони кам бўлганда, яъни бизнинг ҳолда тўрттадан кам бўлганда иссиқлик узатишга кучли таъсир кўрсатади, чунки бу вақтда босим йўқотилиши кам бўлади. Тўсиқлар сони 4 тадан ошганда босим йўқотилишини ортиши иссиқлик узатишни ортишидан катта бўлади ва самарадорлик жуда кам миқдорда ортади.



7-расм. Тўсиқлар орасидаги масофани коллектор узунлигига нисбатини коллекторнинг самарадорлигига боғлиқлиги.

[5] тадқиқот ишида келтирилган маълумотларда ўлчами 2x1 м бўлган коллекторлар учун тўсиқларнинг сони 6-12 атрофида ва коллектор кенглигини 60-80% ни банд қилиши керак. Демак чоп этилган тадқиқот натижалари ва олинган натижаларга кўра 1x0,5 м ўлчамли коллектор учун тўсиқлар сони 2 дан 4 гача бўлиши керак.

Хулоса. Куёш ҳаво коллекторларида тўсиқ-турбулизатор туридаги жадаллаштиргичлар ўрнатилган коллекторнинг самарадорлигини баҳолаш бўйича олиб борилган тадқиқот иши бўйича қуйидаги хулосалар қилинди:

1. Куёш ҳаво коллекторларининг самарадорлигини ошириш учун коллектор каналларида иссиқлик узатиш жараёнларини жадаллаштирувчи турли шаклдаги турбулизаторлардан фойдаланиш бўйича олиб борилган тадқиқот ишларининг таҳлили келтирилди.

2. Куёш коллекторларининг самарадорлигини аниқлаш методикаси келтирилди ва ушбу методика асосида *COMSOL Multiphysics* дастурий воситасидан фойдаланиб тўсиқ-турбулизаторларнинг тўртта модели ишлаб чиқилиб, коллекторда ҳароратни ўзгариши назарий тадқиқот қилинди.

3. Назарий тадқиқотлар асосида коллекторда ҳароратни ўзгариши қуйидагича эканлиги аниқланди: 4 та тўсиқли ўртача ҳарорат 42,7°C, 2 ва 3 та тўсиқ-турбулизаторли ва текис пластинали коллекторларда – 42,1°C, 41,6°C ва 40,1°C.

4. Барча моделларнинг самарадорлиги аниқланди: текис пластинали коллекторнинг самарадорлиги – 28,9%, 2, 3, 4 ва 8 та тўсиқ-турбулизаторли коллекторларнинг самарадорлиги мос равишда 29,2%, 31,3%, 33,1% ва 37,8%.

5. Ўлчами 1x0,5 м бўлган коллектор учун тўсиқлар сони 2 дан 4 гача бўлиши аниқланди.

АДАБИЁТЛАР

1. Kalogirou S.A. (2004) Solar Thermal Collectors and Applications. Progress in Energy and Combustion Science, 30, 231-295. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2004.02.001>.
2. Zambolin E. and Del Col D. (2010) Experimental Analysis of Thermal Performance of Flat Plate and Evacuated Tube Solar Collectors in Stationary Standard and Daily Conditions. Solar Energy, 84, 1382-1396. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.04.020>.
3. Aldabbagh L.B.Y., Egelioglu F. and Ilkan M. (2010) Single and Double Pass Solar Air Heaters with Wire Mesh as Packing Bed. Energy, 35, 3783-3787. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.05.028>.
4. Velmurugan P. and Ramesh P. (2011) Evaluation of Thermal Performance of Wire Mesh Solar Air Heater. Indian Journal of Science and Technology, 4, 12-14.
5. Romdhane B.S. (2007) The Air Solar Collectors: Comparative Study, Introduction of Baffles to Favor the Heat Transfer. Solar Energy, 81, 139-149. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.05.002>.
6. Pona, J. (1985) Increasing Thermal Efficiency of Solar Flat Plate Collectors. NASA STI/Recon Technical Report.
7. Abene A. (2004) Study of a Solar Air Flat Plate Collector: Use of Obstacles and Application for the Drying of Grape. Journal of Food Engineering, 65, 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.11.002>.
8. Struckmann F. (2008) Analysis of Flat-Plate Solar Collector. Project Report, MVK160 Heat and Mass Transport, Lund.
9. Luna, D., Jannot, Y. and Nadeau, J.-P. (2010) An Oriented-Design Simplified Model for the Efficiency of a Flat Plate Solar Air Collector. Applied Thermal Engineering, 30, 2808-2814. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.08.016>.
10. Karatasou S., Santamouris M. and Geros V. (2006) On the Calculation of Solar Utilizability for South Oriented Flat Plate Collectors Tilted to an Angle Equal to the Local Latitude. Solar Energy, 80, 1600-1610. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.12.003>.
11. 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