УДК 621.565.4:532.517.4

Турсунбаев Жанболот Жанышович, т.и.к., доцент,
SPIN-код: 8029-6722, AuthorID: 1232949
https://orcid.org/0009-0006-8465-7879,
Мавлянова Жанара Акмырзаевна, окутуучу,
https://orcid.org/ 0009-0003-7513-1064,
Сатыбалдыев Абдимиталип Баатырбекович, т.и.к., доцент,
SPIN-код: 1064-9274, AuthorID: 874505
https://orcid.org/0009-0006-2226-069X,
М. М. Адышев атындагы Ош технологиялык университети,
Ош ш., Кыргыз Республикасы
E-mail: Baatyrbekovich@gmail.com., jhanbolot.72@gmail.com

АГЫМДЫН ЫЛДАМДЫГЫНЫН ЖАНА ТУРБУЛЕНТТҮҮЛҮКТҮН КҮН МЕНЕН СУУ ЖЫЛЫТУУЧУ КОЛЛЕКТОРЛОРДО ЖЫЛУУЛУК ӨТКӨРҮП БЕРҮҮГӨ ЖАНА ЖЫЛУУЛУК ТАШЫГЫЧТЫН БИР КАЛЫПТА ЫСУУСУНА ТААСИР ЭТҮҮСҮ

Күн менен суу жылытуучу коллекторлордун эффективдүүлүгүн жогорулатуу энергиянын кайра жаралуучу булактарына өтүү үчүн абдан маанилүү. Эң маанилүү аспекттер жылуулук өткөрүүнү жакшыртуу жана жылуулук ташыгычты бирдей жылытуу болуп саналат, ал агымдын ылдамдыгына жана турбуленттүүлүгүнө жараша болот. Макалада турбуленттүү агым режиминде сандык моделдин жардамы менен жылуулук өткөрүп берүү процесстерине бул факторлордун таасири каралат. Натыйжалар агымдын ылдамдыгын жогорулатуу жылуулук берүүнү жана бир калпта ысытууну жакшыртканы менен, ылдамдыкты өтө жогорулатуу басымдын жоготуусуна алып келип энергиянын натыйжалуулугун төмөндөтөт. Жыйынтыктар күн коллекторлорунун конструкциясын оптималдаштыруу жана алардын эффективдүүлүгүн жогорулатуу үчүн колдонулушу мүмкүн.

Негизги сөздөр: Жылуулук берүү; агымынын ылдамдыгы; турбуленттүүлүк; бир калпта ысытуу; жылуулук берүү коэффициенти; сандык моделдөө; жылуулук берүүнү оптималдаштыруу.

Турсунбаев Жанболот Жанышович, к.т.н., доцент,
Мавлянова Жанара Акмырзаевна, преподаватель,
Сатыбалдыев Абдимиталип Баатырбекович, к.т.н., доцент,
Ошский технологический университет имени М. М. Адышева, г. Ош, Кыргызская Республика

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ПОТОКА И ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ТЕПЛОПЕРЕДАЧУ И РАВНОМЕРНОСТЬ НАГРЕВА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ

Повышение эффективности солнечных водонагревательных коллекторов критично для перехода к возобновляемым источникам энергии. Важнейшими аспектами являются улучшение теплопередачи и равномерного нагрева теплоносителя, что зависит от скорости потока и турбулентности. В статье

исследуется влияние этих факторов на процессы теплопередачи с использованием численного моделирования в турбулентном режиме течения. Результаты показали, что увеличение скорости потока улучшает теплопередачу и равномерность нагрева, однако чрезмерно высокие скорости вызывают потери давления, снижая энергоэффективность. Полученные выводы могут быть использованы для оптимизации проектирования солнечных коллекторов и повышения их эффективности.

Ключевые слова: Теплопередача; скорость потока; турбулентность; равномерность нагрева; коэффициент теплопередачи; численное моделирование; оптимизация теплопередачи.

Tursunbaev Zhanbolot Zhanyshovich,
candidate of technical sciences, associate professor,
Mavlyanova Zhanara Akmyrzaevna, teacher,
Satybaldyev Abdimitalip Baatyrbekovich,
candidate of technical sciences, associate professor,
Osh Technological University named after M. M. Adyshev,
Osh, Kyrgyz Republic

THE INFLUENCE OF FLOW VELOCITY AND TURBULENCE ON HEAT TRANSFER AND TEMPERATURE UNIFORMITY OF THE HEAT CARRIER IN SOLAR WATER HEATING COLLECTORS

Improving the efficiency of solar water heating collectors is critical for the transition to renewable energy sources. Key aspects include enhancing heat transfer and ensuring uniform heating of the heat carrier, both of which depend on flow velocity and turbulence. This paper investigates the influence of these factors on heat transfer processes using numerical modeling in turbulent flow conditions. The results show that increasing flow velocity improves heat transfer and temperature uniformity; however, excessively high velocities lead to pressure losses, reducing energy efficiency. The findings can be utilized to optimize the design of solar collectors and improve their efficiency.

Key words: Heat transfer; flow velocity; turbulence; temperature uniformity; heat transfer coefficient; numerical modeling; heat transfer optimization.

Киришүү. Энергияны керектөөнүн заманбап өсүшүнүн жана энергиянын кайра жаралуучу булактарын колдонууга кызыгуунун жогорулашынын шартында, күн менен суу жылытуу коллекторлор энергияны үнөмдөө системасында негизги орунду ээлейт [1]. Мындай системалардын эффективдүүлүгүн жогорулатуу жылуулук берүү процесстеринин жакшырышына жана коллекторлордун ичиндеги жылуулук ташыгычтын бир калыпта ысытылышына түздөн-түз байланыштуу. Жылуулук берүүгө таасир этүүчү маанилүү параметрлер болуп коллектордук түтүктөрдүн ичиндеги жылуулук ташыгычтын агымынын ылдамдыгы жана агымынын режими саналат. Актуалдуу маселелердин бири болуп турбуленттүү агымдын режимин оптималдаштыруу саналат, ал белгилүү болгондой, жылуулук ташыгычтын жакшы аралашуусуна жана жылуулук берүүнүн интенсивдүүлүгүнүн жогорулашына өбөлгө түзөт [2,3]. Бирок, бул жылуулук ташыгычтын бир калыпта ысытылышына агымдын ылдамдыгынын таасирин деталдуу талдоо жана коллектордун ар кандай иштөө режимдеринде мүмкүн болуучу энергия чыгымдарын баалоо зарылдыгын жаратат.

Изилдөөнүн гипотезасы болуп күн менен суу жылытуучу коллектордун түтүктөрүндөгү жылуулук ташыгычтын ылдамдыгын жана турбуленттүүлүктү жогорулатуу аркылуу жылуулук берүүнү жакшыртуу эсептелет, бул өз кезегинде жылуулук ташыгычтын бир калыпта ысытылышына өбөлгө түзөт.

Изилдөөнүн максаты - системанын оптималдуу иштөө шарттарын аныктоо үчүн күн менен суу жылытуу коллекторунун түтүктөрүндөгү жылуулук берүүнүн жана жылуулук ташыгычтын бир калыпта ысытылуусуна агымдын ылдамдыгынын жана турбуленттүүлүгүнүн таасирин талдоо.

Бул максатка жетүү үчүн төмөнкү милдеттер коюлган:

1. Түтүктөрдүн геометриясын эске алуу менен агымдын ылдамдыгынын жана турбуленттүүлүгүнүн түтүкчөлөрдөгү жылуулук берүү процесстерине тийгизген таасиринин теориялык аспектилерин талдоо.
2. Ар кандай агымдын ылдамдыгында түтүк боюнча температура профилин сүрөттөө үчүн математикалык моделди иштеп чыгуу.
3. Сандык моделдештирүү жана жылуулук берүү коэффициентинин агымга көз карандылыгын аныктоо.
4. Бир калыпта ысытуунун коэффициентине агымдын ылдамдыгынын таасирин изилдөө жана жылуулук ташыгычты эффективдүү жана бир калпта ысытуу үчүн оптималдуу параметрлерди аныктоо.

Күн менен суу жылытуучу коллекторлор заманбап энергиянын кайра жаралуучу системаларынын маанилүү элементи болуп саналат. Алардын эффективдүүлүгү негизинен жылуулук ташыгычтын системанын ичинде бир калыпта жана интенсивдүү жылытылышына көз каранды. Бул процесске таасир этүүчү негизги чечүүчү факторлор болуп – жылуулук ташыгычтын агымынын ылдамдыгы жана агым режими (ламинардык же турбуленттүү) эсептелет. Күн системаларынын энергетикалык натыйжалуулугуна жана туруктуулугуна талаптардын өсүп жаткандыгын эске алуу менен бул факторлордун жылуулук берүүгө тийгизген таасирин изилдөө өзгөчө актуалдуу маселе. Мында ар кандай агым ылдамдыгын жана агым режимин эске алуу менен күн коллекторунун түтүктөрүндөгү жылуулук берүүнү изилдөөгө арналган эмгектер каралган.

Негизги бөлүк

1.Ламинардык жана турбуленттүү режимдерде жылуулук берүү

Алгачкы изилдөөлөр агымдын төмөн ылдамдыгына мүнөздүү болгон ламинардуу агым режимине багытталган ($Re < 2300$). Бул режимде жылуулук берүү суюктуктун жылуулук өткөрүмдүүлүгү менен чектелет, бул жылуулук ташыгычтын азыраак ысытылуусуна алып келет. Бирок, учурдагы эмгектер турбуленттик режимге ($Re > 4000$) багытталган, мында суюктук катмарларынын аралашуусу жылуулук берүүнү жакшыртат. Эксперименталдык маалыматтар жана сандык моделдер менен тастыкталган изилдөөлөр көрсөткөндөй, агымдын ылдамдыгынын өсүшү менен турбуленттүү шарттарда жылуулук берүү кыйла жогорулайт [3].

2. Түтүк геометриясынын жылуулук берүүгө тийгизген таасири

Изилдөө багыттарынын бири болуп түтүк геометриясынын жылуулук берүү процесстерине тийгизген таасирин талдоо саналат. Ошентип, кабыргалуу бети (ребристой поверхностью) бар түтүктөргө арналган эмгектер кабыргалуу түзүлүш кошумча турбуленттүү куюндарды түзүү аркылуу жылуулук берүүнү жакшыртаарын көрсөтөт [3,4]. Бул эффективдүү жылуулук алмашуу үчүн турбуленттүүлүгү жетишсиз болгон агымы төмөн системалар үчүн өзгөчө маанилүү. Кабыргалуу бет орточо агымда да жылуулук берүү коэффициентин жогорулатып, системаларды энергоэффективдүү кылат.

3. Жылуулук өткөрүп берүү коэффициенти жана бир калыптта ысытуу

Жылуулук өткөрүп берүү коэффициентинин агымдын ылдамдыгына жана анын жылуулук ташыгычтын жылытылышынын бирдейлигине тийгизген таасири маанилүү аспект болуп эсептелет. Изилдөөлөр көрсөткөндөй, агымдын ылдамдыгы жана ошого жараша Рейнольдс саны көбөйгөн сайын жылуулук өткөрүп берүү коэффициенти көбөйөт, бул түтүктүн узундугу боюнча температуранын бирдей бөлүштүрүлүшүнө өбөлгө түзөт [5]. Бирок, агымдын ылдамдыгы өтө жогору болсо, басымдын олуттуу жоготуулары пайда болуп, системанын жалпы энергетикалык натыйжалуулугуна терс таасирин тийгизиши мүмкүн [7]. Демек, системанын максималдуу иштешине жетишүү үчүн агымдын ылдамдыгы менен жылуулук берүүнүн эффективдүүлүгүнүн ортосундагы оптималдуу балансты табуу керек.

Корутунду. Илимий басылмалардагы анализ агымдын ылдамдыгынын жогорулашы жана агымдын турбуленттүү режимине өтүшү күн менен суу жылытуу коллекторлорунун түтүкчөлөрүндө жылуулук берүүнү кыйла жакшыртаарын көрсөтөт. Түтүктөрдүн ичине кабыргалуу бетти коюуу да жылуулук берүүнүн эффективдүүлүгүн жогорулатууга жардам берет. Бирок бул процесстерди оптималдаштырууга байланыштуу бир катар чечилбеген маселелер, атап айтканда, агымдын жогорку ылдамдыгында басымдын жоготууларын эске алуу зарылчылыгы сакталууда. Методологиялык кемчиликтер жана илимий боштуктар күн коллекторлорунун жылытуунун бирдейлигин жана энергетикалык натыйжалуулугун жогорулатууга багытталган мындан аркы изилдөөлөрдү жүргүзүү үчүн мүмкүнчүлүктөрдү түзөт .

Материалдар жана методдор. Жумушта күн менен суу жылытуу коллекторунда жылуулук өткөрүп берүү процесстерин сандык моделдөө, ички бети кабыргалуу түтүктөрдөгү турбуленттүү агымдын режими үчүн жылуулук өткөрүп берүү теңдемелерин колдонуу менен жүргүзүлгөн. Жылуулук ташыгычтын ысытылышынын бирдейлигине агымдын ылдамдыгынын жана турбуленттүүлүгүнүн таасирин изилдөө жылуулук өткөрүп берүү теңдемелеринин сандык чечимдерин колдонуу менен ишке ашырылып, жылуулук өткөрүп берүү коэффициентин жана түтүк боюнча температура профилин ар кандай агымдын ылдамдыгында эсептелди.

Жыйынтыктар. Күн энергиясын пайдалануу системаларын энергетикалык натыйжалуулугуна жана туруктуулугуна өсүп жаткан талаптарды эске алуу менен коллектордук түтүктөрдөгү жылуулук ташыгычтын ысытылышынын бирдейлигине турбуленттүүлүктүн жана агымдын ылдамдыгынын таасирин изилдөө, кечиктирилгис милдет болуп саналат. Бул иш кабыргалуу түтүктөрдөгү жылуулук берүүнүн эффективдүүлүгүнө таасир этүүчү негизги аспектилерди изилдейт, ошондой эле бир калыпта ысытууга жетишүү үчүн коллектордун оптималдуу иштөө режимин аныктайт.

Изилдөө агымдын турбуленттүү шарттарында жылуулук өткөрүп берүү процесстерин анализдөөгө жана сандык моделдештирүүгө багытталган, бул жылуулук өткөрүп берүү коэффициентинин, агымдын ылдамдыгынын жана түтүктүн геометриясынын ортосундагы көз карандылыктарды аныктайт. Иштин натыйжалары күн коллекторлорунун иштешин оптималдаштыруу боюнча сунуштарды иштеп чыгууга, алардын эффективдүүлүгүн жогорулатууга жана системанын чыгышында туруктуу температуралык шарттарды камсыз кылууга мүмкүндүк берет.

Суунун агымынын ылдамдыгын жана түтүктүн геометриясын өзгөртүүнүн, күн менен суу жылытуу коллекторунда жылуулук ташыгычты жылытуу эффективдүүлүгүнө жана бирдейлигине тийгизген таасирин аныктоо үчүн биз эки негизги аспектини карап чыгабыз: *жылуулук берүүнүн натыйжалуулугу жана жылытуунун бирдейлиги* .

1. Суунун агымынын ылдамдыгынын таасири

Суунун агымынын ылдамдыгы түтүктүн ичиндеги агымдын режимине демек, жылуулук берүүнүн натыйжалуулугуна түздөн-түз таасир этет.

• *Ламинардык агым режими* (төмөнкү ылдамдык, Re < 2300):

o Ламинардык режимде жылуулук ташыгыч катмарлар менен жылып, жылуулук өткөрүмдүүлүк суюктуктун жылуулук өткөрүмдүүлүгү менен чектелет. Демек жылуулук алмашуу процессинин натыйжалуулугу начар болот.

o Түтүк боюнча температура профили көбүрөөк өзгөрүп, жылуулук жайыраак берилип, жылытуунун бирдейлигин төмөндөтөт.

• *Турбуленттүү агым режими* (жогорку ылдамдык, Re >4000):

o Суюктуктун ылдамдыгы жогорулаган сайын суу турбуленттүү режимге өтүп, суюк катмарлардын аралашуусунан жылуулук берүүнүн интенсивдүүлүгүн жогорулатып, жылуулук берүүнүн натыйжалуулугун жакшыртат.

o Турбуленттүүлүк жылуулук ташыгычтын ысытылышынын бирдейлигин жакшыртып, түтүк боюнча температуранын бирдей бөлүштүрүлүшүнө өбөлгө түзөт.

o Өтө жогорку ылдамдыкта басымдын чоң жоготуулары пайда болуп, системанын энергетикалык натыйжалуулугуна терс таасирин тийгизет.

2. Түтүк геометриясынын таасири (кабыргалуу бет түзүлүш)

• *Жылмакай түтүк бети:*

o Түтүктүн тегиз ички бетинде турбуленттүүлүктүн ылдамдыгы суунун агымынын ылдамдыгы менен гана түзүлөт. Жылуулук өткөрүп берүүнүн эффективдүүлүгү жана жылытуунун бирдейлиги биринчи агымдын режимине жараша болот.

o Түтүктүн узундугу боюнча температура градиенти өзгөчө ламинардуу агымда айкыныраак болуп, жылытуу бирдейлигин азайтат.

• **Кабыргалуу түтүк бети**:

o Түтүктүн кабыргалуу ички бети агымдын салыштырмалуу төмөн ылдамдыгында да кошумча турбуленттүү куюндарды жаратып, жылуулук өткөрүп берүү бетинин аянтын көбөйтүү жана турбуленттүүлүктү жакшыртуу аркылуу жылуулук өткөрүп брүүнү жакшыртат.

o Турбуленттүү куюндар түтүктүн бүткүл узундугу боюнча температуранын бир калыпта бөлүштүрүлүшүнө өбөлгө түзүп, жылуулук ташыгычтын бир калыпта жылытылышын жакшыртат.

o Агымдын жогорку ылдамдыгында, кабыргалуу структура, басымдын жоготууларын азайтып ашыкча агым ылдамдыгына муктаж болбостон жогорку жылуулук өткөрүп берүү эффективдүүлүгүнө жетишүүгө мүмкүндүк берет.

3. Жалпыланган көз карандылык

Жылуулук өкөрүп берүү коэффициенти h :

• Агымдын ылдамдыгын ϑ жогорулатуу Рейнольдс санынын Re көбөйүшүнө алып келет, бул турбуленттүү режимде (Re >4000 боюнча) жылуулук өткөрүп берүү коэффициентин h кыйла жогорулатат.

• Кабыргалуу бет орточо Re маанилеринде да кошумча турбуленттүү куюндарды түзүү аркылуу жылуулук өткөрүп берүү коэффициентин жогорулатат.

Жылытуунун бирдейлик коэффициенти Ru :

• Агуунун ылдамдыгынын жогорулашы жана кабыргалуу беттин болушу менен жылытуунун бирдейлик коэффициенти Ru азайып, жылуулук ташыгычтын бир калыпта ысыгандыгын көрсөтөт.

Турбуленттүүлүк жана түтүктүн кабыргалуу түзүлүшүн эске алуу менен жылуулук өткөрүп берүү боюнча жалпы теңдемени, агымдын ылдамдыгы жана түтүктүн геометриясы эффективтүүлүккө жана жылуулук ташыгычтын бирдей жылытуусуна тийгизген таасирин изилдөө маселени чечүү үчүн колдонобуз.

Түтүктүн беттеринен жылуулук ташыгычка өткөн жылуулук агымын карайлы:

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (1)$$

Мында Q-жылуулук агымы (Вт), h-жылуулук өткөрүп берүү коэффициенти (Вт/м²·К), А - түтүктүн жылуулук өткөрүүчү бетинин аянты (м²), ΔТ - түтүк беттеринин жана жылуулук ташыгычтын ортосундагы температуранын айырмасы (К).

Кабыргалуу бетти эсепке алуу менен турбуленттүү агым режиминде жылуулук өткөрүп берүү коэффициентин h төмөнкүчө жазууга болот:

$$h = \frac{\mathrm{k}\cdot\left(Re_{eff}\right)^{n}\cdot Pr^{1/3}}{\mathrm{D}} \quad (2)$$

Мында k - түтүктүн материалынан жана шарттан көз каранды болгон эмпирикалык коэффициент, Re_{eff}-кабыргалуу түзүлүштү эсепке алган эффективдүү Рейнольдс саны, n - турбуленттүү режим үчүн 0,8ге барабар коэффициент, Pr – жылуулук ташыгычтын касиеттерин сүрөттөгөн Прантель саны.

Кабыргалуу түзүлүштү эсепке алган эффективдүү Рейнольдс саны:

$$Re_{eff} = Re \cdot \left(1 + \beta \cdot rib_{height} \cdot rib_{density}\right) \quad (3)$$

Мында Re-Рейнольдс саны, β- кабыргалардын формасынан көз каранды болгон эмпирикалык коэффициент, rib_{height}- кабыргалардын бийиктиги, $rib_{density}$- кабыргалардын тыгыздыгы.

Рейнольдс саны (Re) агым режимин (ламинардык же турбуленттүү) аныктаган өлчөмсүз сан:

$$Re = \frac{\rho\cdot\vartheta\cdot D}{\mu} \quad (4)$$

Мында ρ -суунун тыгыздыгы (кг/м³), D - түтүктүн диаметри (м), μ - суунун динамикалык илешкектүүлүгү (Па с).

Суюктуктун кинематикалык илешкектүүлүгүнүн жылуулук өткөрүмдүүлүккө болгон катышын сүрөттөгөн Прантель саны:

$$Pr = \frac{c_p\cdot\mu}{\lambda} \quad (5)$$

Мында c_p-суунун салыштырма жылуулук сыйымдуулугу (Дж/ кг К), λ-суунун жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициенти (Вт/ м К).

Түтүктүн узундугу боюнча температура профили төмөнкү теңдеме менен сүрөттөлөт:

$$\frac{dT_f(x)}{\mathrm{d}x} = \frac{\mathrm{h}\cdot\mathrm{p}\cdot\left(T_f(x) - T_{wall}\right)}{\mathrm{G}\cdot c_p} \quad (6)$$

Мында $T_f(x)$-түтүктү бойлото x чекитиндеги температура (К), p - түтүктүн кесилишинин периметри (м), G – жылуулук ташыгычтын массалык чыгашасы (кг/с), T_{wall} -түтүк бетинин температурса (К).

Жылуулук ташыгычтын жылытуу бирдейлигин баалоо үчүн, температура профилинин стандарттык четтөөсүнө көз каранды болгон жылытуунун бирдейлик коэффициенти Ru киргизсе болот:

$$R_u = \frac{\sigma_T}{\overline{\mathrm{T}}_{\mathrm{f}}} \quad (7)$$

Мында σ_T-түтүктү бойлото температуранын стандарттык четтөөсү, $\overline{\mathrm{T}}_{\mathrm{f}}$-түтүктүн узундугу боюнча жылуулук ташыгычтын орточо температурасы .

Стандарттык четтөө төмөнкү формулалар менен эсептелет:

Түтүктүн узундугу боюнча орточо температура $\overline{\mathrm{T}}_{\mathrm{f}}$:

$$\overline{\mathrm{T}}_{\mathrm{f}} = \frac{1}{\mathrm{N}}\sum_{i=1}^{N} T_f(x_i) \quad (8)$$

Мында $T_f(x_i)$- x_i чекитиндеги жылуулук ташыгычтын түтүктү бойлото температурасы, N – түтүктөгү, түтүктү бойлото температураны өлчөө чекиттеринин саны.

Температуранын стандарттык четтөөсү σ_T:

$$\sigma_T = \frac{1}{\mathrm{N}}\sum_{i=1}^{N}\left(T_f(x_i) - \overline{\mathrm{T}}_{\mathrm{f}}\right)^2 \quad (9)$$

(1)-(9)-теңдемелерин биргеликте чечип, ар кандай ылдамдыктар үчүн кабыргалуу бетти эсепке алуу менен, түтүк боюнча температуранын профилин жана суунун агымынын ылдамдыгынан (ал жылуулук өткөрүп берүү интенсивдүүлүгү менен байланышкан) көз каранды болгон жылытуунун бирдейлик коэффициенти Ru аныктайбыз.

Алынган натыйжалар 1-2-сүрөттөрдө көрсөтүлгөн.

Суунун агымынын ар кандай ылдамдыгы үчүн түтүк бойлото температура профилдерин көрсөткөн 1-графиктин негизинде төмөнкү жыйынтыктарды чыгарууга болот:

1. Агым ылдамдыгынын температура профилине тийгизген таасири:

o Түтүктөгү суунун агымынын ылдамдыгы 1 м/сдан 5 м/с га чейин жогорулаганда, түтүк бойлото жылуулук ташыгычтын температурасы тезирээк жогорулап, жылуулук алмашуунун жакшырганын көрсөтөт. Себеби, агымдын жогорку ылдамдыгы түтүктүн ичиндеги турбуленттүүлүктү жогорулатып, түтүк бетинен жылуулук ташыгычка жылуулуктун натыйжалуу өтүшүнө өбөлгө түзөт.

1. Температура профилинин сызыктуу эместиги:

o Температура профили сызыктуу эмес формага ээ. Түтүктүн башында (түтүккө кире беришинде) суунун температурасы тезирээк жогорулайт, бирок андан кийин бул жогорулаш түтүк бетинин температурасына (350 К) жакын температурага жеткенде басаңдайт. Бул күтүлгөн көрүнүш, анткени суунун температурасы жогорулаган сайын суу менен беттин ортосундагы температура айырмасы азайып, жылытуу ылдамдыгын азайтат.

2. Ар кандай ылдамдыкта жылытуудагы айырмачылыктар:

o График агымдын төмөн ылдамдыгында (1 м/с) суу жай ысып, анын акыркы температурасы беттин температурасынан кыйла төмөн бойдон калаарын көрсөтүп турат. Агымдын жогорку ылдамдыгында (5 м/с) жылуулук алмашуу тезирээк ишке ашат жана суунун температурасы беттин температурасына тезирээк жакындап, түтүктүн бүткүл узундугу боюнча жогорку температурага жетет.

3. Агымдын ылдамдыгын оптималдаштыруу:

o График жылуулук берүүнүн эффективдүүлүгү менен жылытуунун бирдейлиги ортосунда оптималдуу баланска жетишилген белгилүү бир агымдын ылдамдыгы бар экенин көрсөтүп турат. Бул система үчүн оптималдуу ылдамдык 3-4 м/с диапазондо болуп, түтүк боюнча суунун температурасы тездик менен көтөрүлүп, беттин температурасына жакындайт.

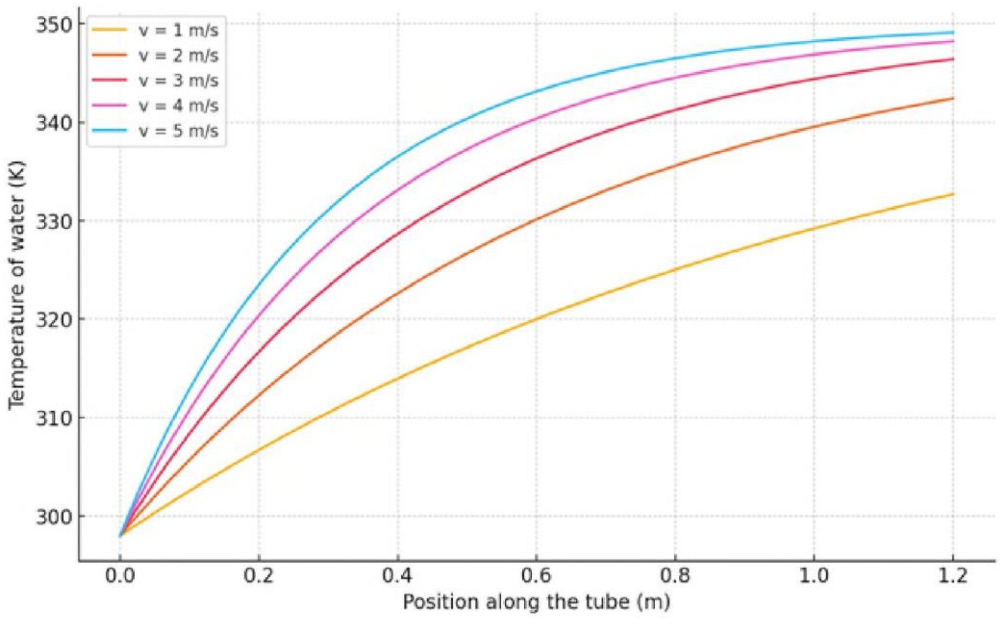
2-графиктин негизинде төмөнкүдөй жыйынтык чыгарууга болот:

1. Тескери байланыш:

o Жылытуу бирдейлик коэффициенти Ru жылуулук ташыгычтын агымынын ылдамдыгын жогорулатуу менен төмөндөйт. Бул жогорку агымынын ылдамдыгында жылуулук ташыгычтын түтүктүн узундугу боюнча бир калыпта ысытылганын көрсөтүп турат.

2. Бир калыпта ысытууну жакшыртуу:

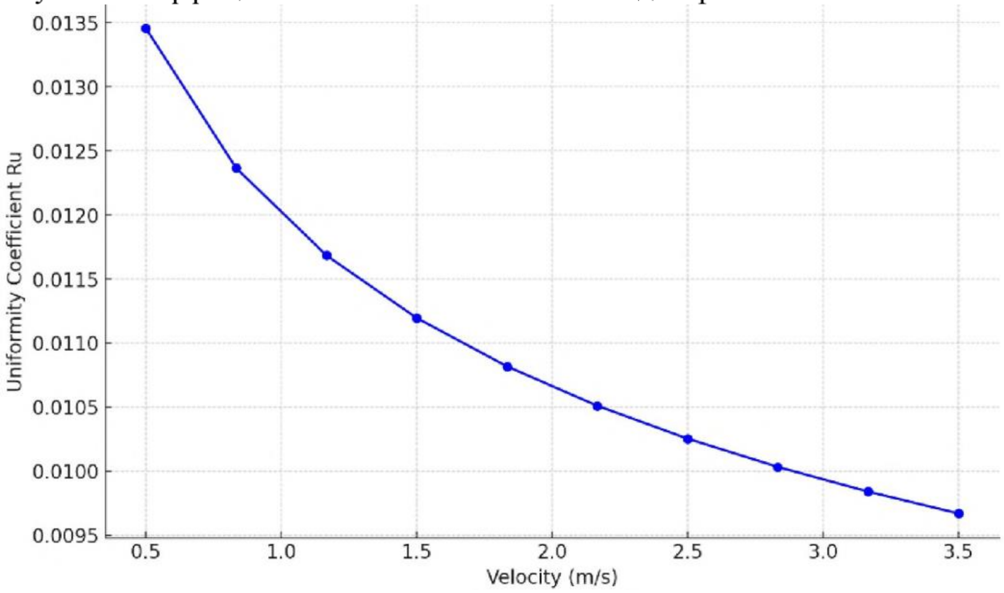
o Агуунун ылдамдыгы 0,5 м/с дан 3,5 м/с га чейин жогорулаган сайын Ru коэффициенти болжол менен 0,0135тен 0,0095ке чейин төмөндөйт. Бул суюктуктун көбүрөөк кыймылы жакшы аралашууга жана көлөм боюнча жылуулуктун бирдей бөлүштүрүлүшүнө, демек түтүктү бойлото температура градиенттерин азайышына өбөлгө түзөрүн көрсөтүп турат.



1-сүрөт. Күн менен суу жылытуу коллекторунда сууну жылытуу процессине агымдын ылдамдыгынын таасири.

3. Турбуленттиктин таасири:

Агымдын ылдамдыгы жогорулаган сайын түтүктө турбуленттүүлүк күчөп, жылуулук өткөрүп берүү жакшырат жана түтүк боюнча температура айырмасын азайтат. Бул Ru коэффициентинин маанисинин төмөндөшү менен тастыкталат.



2-сүрөт. Кабыргалуу бетти эсепке алуу менен жылытуунун бирдейлик коэффициентинин Ru түтүктөгү суунун агымынын ылдамдыгына (бул жылуулук берүү интенсивдүүлүгүнө байланыштуу) көз карандылыгы.

4. Системаны оптималдаштыруу:

- График күн коллекторлору сыяктуу системаларда максималдуу жылытуу бирдейлигине жетүү үчүн жылуулук ташыгычтын агымынын ылдамдыгын оптималдаштыруу мааниси бар экенин көрсөтүп турат. Бирок, бул агымынын ылдамдыгын жогорулатуу жылытуу бирдейлигин жакшыртуу менен тең салмактуу болушу керек, мында насос менен көбүрөөк энергия керектөө талап кылынышы мүмкүн экенин эске алуу зарыл.

Талкуу. а) *Изилдөөнүн кыскача баяндамасы:* Изилдөөдө агымдын ылдамдыгынын жана турбуленттүүлүгүнүн жылуулук өткөрүп берүү жана күн менен суу жылытуучу коллекторунун түтүкчөлөрүндөгү жылуулук ташыгычтын ысытылышынын бирдейлигине тийгизген таасирине сандык баа берүү жүргүзүлдү. Негизги көңүл ар кандай агымдын ылдамдыгы боюнча түтүктөрдү бойлото температуралык профилдерди талдоо, ошондой эле жылытуунун бирдейлик коэффициентин баалоого бурулду.

б) *Натыйжалардын кыскача сүрөттөлүшү:* Модельдештирүү натыйжалары агымдын ылдамдыгын жогорулатуу жылуулук өткөрүп берүүнүн олуттуу жакшырышына жана жылуулук ташыгычтын бир калыпта ысытылышына алып келерин көрсөттү. Жогорку агымдын ылдамдыгында турбуленттүүлүктүн жогорулашы байкалды, бул жылуулук ташыгычтын эффективдүү аралашуусуна жана түтүк боюнча температура градиенттеринин төмөндөшүнө шарт түздү. Алынган жыйынтыктар турбуленттүү агым жылуулук өткөрүп берүүнү жакшыртаарын көрсөткөн мурунку изилдөөлөрдүн [7-9] жыйынтыктарын ырастайт. Бирок, кээ бир мурунку эмгектерден айырмаланып, бул изилдөө өтө жогорку ылдамдык басымдын олуттуу жоготууларына алып келип, системанын жалпы энергия натыйжалуулугуна терс таасирин тийгизээри аныкталды.

Көйгөйлүү аймактар жана кээ бир аспектилердин жоктугу: Изилдөө агымдын ылдамдыгынын жогорулашы менен жылуулук берүүнүн олуттуу жакшыргандыгын көрсөтсө да, жылуулук ташыгычты жогорку ылдамдыкта айлантуу энергетикалык чыгымдарын эске алуу менен системаны оптималдаштыруу маселелери сакталууда. Ошондой эле бул изилдөөдө кеңири талкууланбаган, бирок коллектордун эффективдүүлүгүнө олуттуу таасирин тийгизе турган күн радиациясынын интенсивдүүлүгү жана изоляция аркылуу жылуулукту жоготуу сыяктуу тышкы факторлордун таасирин эске алуу маанилүү. Келечекте бул факторлорду изилдөө күн коллекторлорунун иштешин оптималдаштыруунун так моделдерин жана ыкмаларын иштеп чыгууга көмөктөшөт.

Корутунду. *а) Проблеманын кыскача сүрөтөлүшү жана авторлордун жыйынтыктары:* Изилдөө агымдын ылдамдыгынын жана турбуленттүүлүгүнүн таасирин эске алуу менен күн менен суу жылытуу коллекторлорунда жылуулук ташыгычтын жылуулук өткөрүп берүү жана бир калыпта жылытуусун оптималдаштыруу проблемасын караган. Алынган натыйжалар агымдын ылдамдыгын жогорулатуу, өзгөчө турбуленттүү агымдын шарттарында, жылуулук өткөрүп берүүнү жана жылуулук ташыгычты бир калыпта ысытууну жакшыртаарын көрсөттү. Ошондой эле жылуулук өткөрүп берүүнүн эффективдүүлүгү менен энергиянын чыгымдарынын ортосундагы эң жакшы баланска жетүүчү оптималдуу агымдын ылдамдыгы бар экени аныкталган. *б) Изилдөөнүн жыйынтыктарынын кыскача мазмуну:*

1. *Агым ылдамдыгынын таасири:* Күн коллекторунун түтүктөрүндөгү агымдын ылдамдыгын жогорулатуу турбуленттүүлүктүн жогорулашына алып келет, бул жылуулук өткөрүп берүүнү кыйла жакшыртат жана жылуулук ташыгычтын бир калыпта жылытылышына өбөлгө түзөт. Бирок, өтө жогорку ылдамдык системанын жалпы энергетикалык натыйжалуулугуна терс таасирин тийгизген басымдын жоголушуна алып келиши мүмкүн.
2. *Турбуленттүүлүктүн ролу:* Жогорку ылдамдыкта күчөтүлгөн турбуленттүү агым жылуулук ташыгычты жылытуу бирдейлигин жакшыртуунун негизги фактору болуп саналат. Түтүктөрдүн ичине кабыргалуу түзүлүштү киргизүү кошумча турбуленттүү куюндардын түзүлүшүнө өбөлгө түзөт, бул орточо агымдын ылдамдыгында да жылуулук берүүнүн интенсивдүүлүгүн жогорулатат.
3. *Системанын иштешин оптималдаштыруу*: Изилдөө жылытуунун максималдуу эффективдүүлүгүнө жана бирдейлигине жетишүү үчүн агымдын ылдамдыгын гана

эмес, жылуулук ташыгычты айлантуунун мүмкүн болуучу энергиялык чыгымдарын да эске алуу керектигин көрсөттү. Оптималдуу агымдын ылдамдыгы минималдуу энергия керектөө менен эффективдүү жылуулук алмашууну камсыз кылууга тийиш.

Мына ошентип, жүргүзүлгөн изилдөө күн менен суу жылыткычтарынын оптималдуу иштөө параметрлерин аныктоого мүмкүндүк берип, кайра жаралуучу энергияны колдонуу үчүн энергияны үнөмдөөчү жана туруктуу системаларды өнүктүрүүгө салым кошот.

Адабияттар:

1. Сатыбалдыев А.Б. Анализ некоторых видов возобовляемых источников энергии [Текст] / А. А. Горбачева // Известия Ошского технологического университета. 2019. № 3. С. 242-250.
2. Бажанов А. Г. Исследование теплопередачи при пульсирующем потоке теплоносителя в модели солнечного коллектора. [Текст] / С. Н. Глухов // Научный взгляд в будущее. Том:1, № 19 Год: 2020 .С. 12-19.
3. Узбеков М. О. Вопросы разработки солнечных коллекторов с высоким коэффициентом полезного действия [Текст] / Б. Б. Бойназаров // Журнал СФУ. Техника и технологии. 2021. №8. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/voprosy-razrabotki-solnechnyh-kollektorov-s-vysokim-koeffitsientom-poleznogo-deystviya (дата обращения: 23.08.2024).
4. Назмеев Ю.Г., Оценка завихрителей потока, интенсифицирующих процесс теплообмена. [Текст] / Н. А. Николаев // ИФЖ, 1979, 4. [Nazmeev Yu.G., Nikolaev N.A. Assessment of flow swirlers that intensify the heat transfer process. IFZh, 1979, 4 (in Russian)].
5. Олимпиев В. В. Ламинарно-турбулентный переход в каналах теплообменников с выступами – интенсификаторами теплообмена. [Текст] // Теплоэнергетика, 2001, 7, 52–56. [Olimpiev V.V. Laminar-turbulent transition in the channels of heat exchangers with protrusions – heat exchange intensifiers. Heat Power Engineering, 2001, 7, 52–56 (in Russian)].
6. Mahfuzur Rahman, Md. Numerical investigation and benchmarking of heat transfer and pressure loss characteristics with two-sided rib-roughened and two-sided heat supply in narrow rectangular channels [Текст] / Shafiqul Islam, Abid Hossain Khan, Thermal Science and Engineering Progress // Volume 41, 2023, 101812, ISSN 2451-9049, https://doi.org/10.1016/j.tsep.2023.101812.(https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451904923001658).
7. H.T. Wang, Numerical and experimental analysis of heat transfer in turbulent flow channels with two-dimensional ribs, Applied Thermal Engineering [Текст] / W.B. Lee, J. Chan, S. To // Volume 75, 2015, Pages 623-634, ISSN 1359-4311, https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.10.039.(https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431114009107).
8. Sunil Chamoli, N.S. Thakur, J.S. Saini, A review of turbulence promoters used in solar thermal systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 16, Issue 5, 2012,
9. Pages 3154-3175, ISSN 1364-0321, https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.021.(https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112000226)
10. P. Weihing, B.A. Heat transfer enhancement in a ribbed channel: Development of turbulence closures, International Journal of Heat and Mass Transfer, [Текст] / Younis, B. Weigand // Volume 76, 2014, Pages 509-522, ISSN 0017-9310, https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.04.052.(https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0017931014003652)