

МАТЕМАТИКА ЖӘНЕ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ
МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
MATHEMATICS AND MATHEMATICAL MODELING

ГТАХР 30.17.35; 44.37.29

10.51889/2959-5894.2024.87.3.001

А. Әлиұлы^{1,2} , Е.И. Карлина¹ , Е.Б. Ердеш¹ , М. Моханрадж³ , Е.К. Беляев^{1,2*} 

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

²Сәтбаев Университеті, Алматы, Қазақстан

³Үндістан инженерлік және технологиялық колледжі, Коимбатор, Үндістан

*e-mail: yerzhan.belyaev@kaznu.edu.kz; yerzhan.belyayev@gmail.com

**ФАЗА АУЫСТЫРҒЫШ МАТЕРИАЛЫНА ТОЛТЫРЫЛҒАН КАНАЛДАРЫ БАР КҮН
СӘУЛЕСІН ЖҰТУ ПЛАСТИНАСЫНДАҒЫ ЖЫЛУ АЛМАСУ ПРОЦЕСІН
САНДЫҚ МОДЕЛЬДЕУ**

Аңдатпа

Бұл зерттеу жұмысында Қазақстанның климат жағдайына арналған күн сәулесін жұту пластинасының энергетикалық сипаттамасын болжайтын, энергия және масса балансына негізделген сандық модель ұсынылған. Өнімділікті арттыру үшін күн сәулесін жұту пластинасының жаңа конфигурациясы ұсынылды. Қарапайым күн сәулесін жұту пластинасы мен фазасын ауыстырғыш материалдар (PCM) күн сәулесін жұту пластинасы нәтижелерінің арасында салыстыру жүргізілді. Сандық модельдеу күн сәулесінің қарқындылығы 100 Вт/м² пен 900 Вт/м² арасында болатын континенталды климат жағдайында, кең диапазонды қоршаған орта температуралық мәндері үшін жүргізілді. Күн сәулесінің қарқындылығы мен қоршаған орта температурасы әсері қарастырылды. Ұсынылып отырған технология келесі жүйелерге қолдануға жарамды: күн су жылытқышы, негізі ауа/жер болып табылатын күн жылу сорғысы, күн жылу энергиясын сақтау құралы. Жылу балансына негізделген есептеу алгоритмі әр түрлі конфигурациялы күн жылу коллекторының жылу сипаттамаларын модельдеу үшін қолданылады. Әртүрлі PCM-дер алдағы зерттеулерде қарастырылады.

Түйін сөздер: күн коллекторы; каналды күн сәулесін жұту пластинасы; фазалық ауысымы бар материал (PCM); континенталды климат.

A. Aliuly^{1,2}, Ye. Karlina¹, Ye. Yerdesh¹, M. Mohanraj³, Ye. Belyayev^{1,2}

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

³Hindusthan College of Engineering and Technology, Coimbatore, India

HEAT TRANSFER MODELING IN SOLAR COLLECTOR ABSORBER WITH PHASE CHANGE MATERIAL

Abstract

A numerical model has been proposed in this work for predicting the energy performances of the solar channel absorber plate under Kazakhstan climates. The numerical model is based on energy and mass balance. A new solar channel absorber plate configuration is proposed to improve the performance. A comparison of results has been made between the conventional solar absorber plate and solar channel absorber plate with PCM. The numerical simulation was performed for wide range of ambient temperatures of continental climate with wide range of solar intensities between 100 W/m² and 900 W/m². The influences of solar intensity and ambient temperature are discussed. The proposed technology can be used in the following systems: solar water

heater, solar assisted air/ground source heat pump, solar thermal energy storage. The developed calculation algorithm based on the heat balance can be used to simulate the thermal performance of solar thermal collectors of various configurations. Various PCMs will be considered in future research, in the heat storage tank.

Keywords: solar collector; channel absorber plate; phase change material (PCM); continental climate.

А. Алиулы^{1,2}, Е.И. Карлина¹, Е.Б. Ердеш¹, М. Моханрадж³, Е.К. Беляев^{1,2}

¹Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Университет Сатбаева, Алматы, Казахстан

³Хиндустанский колледж инженерии и технологии, Коимбатур, Индия

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В АБСОРБЕРЕ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА, ОСНАЩЕННОГО МАТЕРИАЛОМ С ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ

Аннотация

В данной работе предложена численная модель для прогнозирования энергетических характеристик поглощающей пластины солнечного канала в условиях климата Казахстана. Численная модель основана на балансе энергии и массы. Для улучшения характеристик предложена новая конфигурация пластины поглотителя солнечного канала. Проведено сравнение результатов между обычной солнечной абсорбционной пластиной и солнечной канальной абсорбционной пластиной с РСМ. Численное моделирование было проведено для широкого диапазона температур окружающей среды континентального климата с широким диапазоном солнечной интенсивности от 100 Вт/м² до 900 Вт/м². Обсуждается влияние интенсивности солнечного излучения и температуры окружающей среды. Предлагаемая технология может быть использована в следующих системах: солнечный водонагреватель, солнечный тепловой насос с воздушным/земным источником тепла, солнечный накопитель тепловой энергии. Разработанный алгоритм расчета на основе теплового баланса может быть использован для моделирования тепловых характеристик солнечных коллекторов различных конфигураций. В будущих исследованиях будут рассмотрены различные РСМ в резервуаре для хранения тепла.

Ключевые слова: солнечный коллектор; канальная поглощающая пластина; фазоизменяющий материал (PCM); континентальный климат.

Негізгі тұжырымдар

Бұл зерттеудің негізгі идеясы – фазалық ауысым материалдары (PCM) бар күн сәулесін жұту пластинасының жылу өнімділігін арттыру. Сандық модель энергия және масса балансына негізделген және континенталды климат жағдайларында PCM бар және қарапайым күн сәулесін жұту пластиналарын салыстыруға арналған. Зерттеу нәтижелері PCM қолданылған кезде жүйенің жылу тиімділігінің айтарлықтай жақсарғанын көрсетті, әсіресе Алматыдағы климаттық жағдайларда. PCM ретінде парафин 62 және гидрат тұзы 29 қолданылды, және есептеулер парафиннің жоғары температураға дейін қыздыру тиімділігін көрсетті.

Кіріспе

Күн жылыту технологиясы экологиялық таза әрі арзан энергия алу үшін пайдалы қазбаларды емес, күн энергиясын пайдаланады. Аталған энергия суды немесе басқа да сұйықтарды жылыту үшін қолданылады. Қазіргі таңда күн жылыту жүйелерін сұйықтарды салқындату үшін пайдаланады. Нәтижесінде, коммуналдық төлемдерді 70 %-ға дейін төмендетеді. Күн жылу қондырғыларының ішінде ең көп кездесетіні – күн су жылыту жүйесі. Бұл жүйе тек жылы климатты елдерде ғана емес, сонымен қатар континенталды климатты елдерде де белсенді қолданылады. Мұнда суды жылытудың күн жүйесі қолданыстағы жылыту құрылғыларымен бірге қолданылады. Жүйенің негізгі элементтеріне күн жылыту коллекторлары және су сақтауға арналған резервуар жатады. РСМ суды сақтайтын резервуарда қысқа мерзімді жылу сақтауды жақсарту үшін қолданылады. Күн энергиясын сақтауға арналған РСМ-дерге соңғы шолу [1] жұмыста көрсетілген. Осы зерттеудің авторлары бұрын су сақтау резервуарларында әртүрлі РСМ көмегімен күн жылу энергиясын каскадты

пайдалану тиімділігі туралы зерттеулер жүргізген [2]. Бұл жұмыс жақсартылған күн коллекторына арналған зерттеулердің жалғасы болып есептеледі.

Жылу тиімділігін арттыру үшін күн коллекторлары әртүрлі гибридті конфигурацияларда қарастырылады. Түтікшелі торлы қабылдағыш параболалық өңеші бар күн коллекторлары жүйесіне арналған сіңіру түтігі ретінде енгізілді [3]. Аталған жұмысқа сәйкес, каналды торлары бар құбырлы қабылдағышты қолданған жағдайда, жылуберу коэффициенті 12,0% артуы мүмкін. [4] жұмыста тесілген гофрленген пластинасы бар күн ауа коллекторы ұсынылған, ол өткізгіш күн ауа коллекторы мен гофрленген қаптамамен жасақталған күн ауа коллекторының үйлесімі болып табылады. [4] жұмыстағы күн ауа коллекторының мысалы жылыту маусымында 820,7 МДж энергия өндіре алатындығын көрсетеді, бұл өз кезегінде 43,1 кг стандартты көмірді үнемдеуге және көмірқышқыл газының бөлінуін 102,1 кг-ға төмендетуге мүмкіндік береді. [5] жұмыста шағын көлемді турбулизаторлар жұтқыш пластинаға қолданылған, ол еркін конвекцияны күшейту мақсатында осы беттің үстіндегі ауаның тұтқыр қабатын бұзады. [5] жұмысқа сәйкес, тегіс пластинаға қарағанда, жұтқыш пластина үшін штифт қадамы 16 мм болған жағдайда, өнімділік 26,5%-ға артқан. 4 мм-лік штифт ұзындығы – Нуссельт санының артуы үшін қолайлы жағдай туғызған. Ығыстырылған қабырғалы абсорбері бар күн ауа жылытқышына термогидравликалық әсерді бағалау теориялық тұрғыдан [6] зерттелді. Төменгі массалық шығын кезінде ығысу қабырғасының жұтқыш пластинаның астына бекітілуі – жылу мен термогидравликалық тиімділіктің айтарлықтай жоғарылауына әкелген [6]. Штиф қабырғаларының өлшемін анықтау кезінде эксергетикалық өнімділікті арттыру әдісі қолданылады [7]. Аталған зерттеудегі нәтижелерге сәйкес, оңтайландырылған қабырғаның жоғары тиімділігі күн ауа жылытқышымен жылуды сіңіру және шашырату әлеуетін жақсартады. Жылу өнімділігін арттыру мақсатында кірістірілген қанатшалары бар жұтқыш пластиналы күн ауа коллекторы қарастырылған және алынған мәліметтері бойынша, жиырма бес түрлі конфигурациялары 0,5-0,74 орташа жылу тиімділігін береді. Салыстырмалы түрде коллекторды күн сәулесін жоғары өткізетін әйнекпен қаптағанада тиімділігі 0,83-ке жетеді [8]. [9]-шы жұмыста параболалық ойық коллекторында әр түрлі жұмыс сценарийлері үшін тегіс абсорбер пластинасы бар он екі түрлі жиектердің геометриялары қарастырылады және салыстырылады. [9] келтірілген нәтижелерге сәйкес, қалыңдық пен ұзындықтың артуы – жоғары жылу сипаттамаларына, сонымен бірге қысым жоғалуының жоғарғы мәнін көрсетеді. Кедір-бұдырлы қабырғаларды немесе нанобөлшектерді қолданатын жасырын жылу сақтау жүйелерімен біріктірілген күн коллекторларын сандық зерттеуге шолу [10] жұмыста көрсетілген.

Бұл мақалада жылу тиімділігі мен өнімділігін арттыру үшін, күн су жылыту жүйесін РСМ бар каналды жұту пластинасына негізделген күн жылу коллекторларымен біріктірген. Сандық модель энергия және масса балансына негізделген және континенталды климат жағдайы үшін есептелді. Сондай-ақ күн сәулесінің қарқындылығы мен қоршаған орта температурасы ескерілді.

Зерттеу әдіснамасы

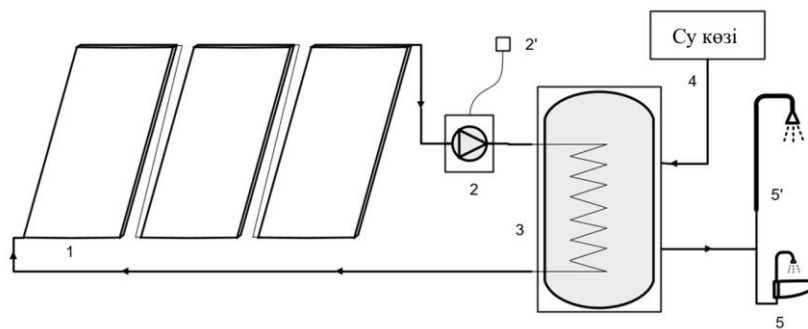
Зерттеу Алматы, Қазақстан жағдайында жүргізілді, және күн энергиясын жұту пластинасының жылу тиімділігін бағалауға бағытталған. Бұл зерттеуде фазалық ауысым материалдары (PCM), соның ішінде парафин 62 және гидрат тұзы 29 қолданылды, олар күн коллекторларына орнатылды. Модельдеулер сандық түрде Python бағдарламалық тілі арқылы, энергия және масса балансына негізделген есептеу әдістерімен жасалды. Нәтижелер фазалық ауысым материалдарының жылу сақтау тиімділігін арттыру мүмкіндігін көрсетті, әсіресе кешкі уақытта жылу жоғалтуды азайту тұрғысынан тиімді болды.

Жүйенің сипаттамасы

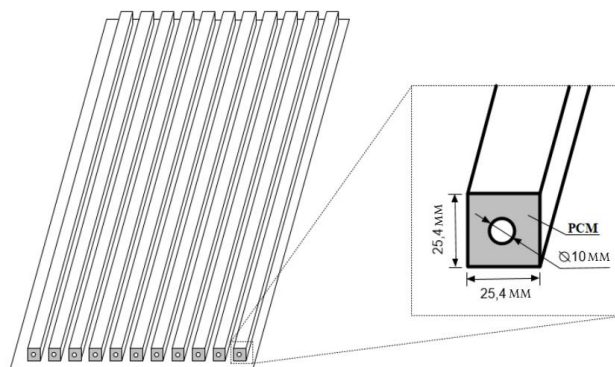
Күн су жылыту құралы – бұл ыстық сумен қамтуға қолдануға арналған жылутехникалық жабдық. Аталмыш жабдық бірнеше негізгі бөліктерден тұрады (1-сурет). Олар: 1 – күн

жылыту коллекторы, 2 – сорғы станциясы, 2' – контроллер, 3 – ыстық суды сақтауға арналған резервуар, 4 – су көзі, 5 және 5' – ыстық суды қолдану жабдықтары. Күн жылыту коллекторының жылу өнімділігін арттыру мақсатында бұл мақалада фазалық ауысу (PCM) арқылы жұмыс істейтін күн сәулесін жұту пластинасы ұсынылды (2-сурет). Диаметрі 10 мм құрайтын абсорбердің мыс түтіктері геометриялық өлшемдері 2-суретте көрсетілген тікбұрышты каналға орналастырылған. Жылу жинайтын материал (PCM) мыс түтік пен тікбұрышты арна арасына құйылады.

Бұл зерттеу жұмысының негізгі мақсаты – күн коллекторының жылу өнімділігін арттыру. Мақалада жылу жинақтаушы материалдарды (PCM) қолдана отырып, гибриді күн коллекторының жылу тиімділігін есептеудің математикалық моделі мен есептеу алгоритмі ұсынылған.



Сурет 1. Күн су жылыту жүйесі



Сурет 2. PCM толтырылған каналдары бар абсорберлік пластина

Математикалық модель

PCM-мен қапталған жұту пластинасына негізделген күн жылу коллекторының әртүрлі бөліктері үшін энергетикалық тепе-теңдік теңдеулері төмендегідей сипатталады.

Шыны қақпақ үшін энергия балансы:

$$m_g \cdot C_g \cdot \frac{dT_g}{dt} = (1 - \rho_g) \cdot \alpha_g \cdot G_H - q_{r,g-a} - q_{c,g-a} \quad (1)$$

PCM толтырылған каналдары бар сіңіргіш пластина үшін энергия балансы:

$$m_b \cdot C_b \cdot \frac{dT_b}{dt} = (1 - \rho_g) \cdot (1 - \alpha_g) \cdot \alpha_b \cdot G_H - q_{c,b-pcm} - q_{loss} \quad (2)$$

PCM үшін энергия баланс теңдеуі:

$$m_{pcm} \cdot C_{pcm} \cdot \frac{dT_{pcm}}{dt} = q_{c,b-pcm} - q_{c,pcm-f} \quad (3)$$

Жұмыс сұйықтығы үшін энергия баланс теңдеуі:

$$m_f \cdot C_f \cdot \frac{dT_f}{dt} + v \frac{dT_f}{dx} = q_{c,pcm-f} \quad (4)$$

(1)-(4) теңдеулерінің оң жағында берілген жылу беру механизмдері келесідей анықталады:

$$q_{r,g-a} = 0.9 \cdot \sigma (T_g^4 - T_{sky}^4) \quad (5)$$

Мұндағы аспанның тиімді температурасы $T_{sky} = T_a - 6$.

Шыны мен қоршаған орта арасындағы конвективті жылу алмасу:

$$q_{c,g-a} = h_{c,g-a} (T_g - T_a) \quad (6)$$

Мұндағы шыны мен қоршаған орта арасындағы конвективті жылу алмасу коэффициенті келесі қатынастардан анықталады:

$$\begin{cases} h_{c,g-a} = 2.8 + 3 \cdot V, & V \leq 5 \text{ m/s} \\ h_{c,g-a} = 6.15 \cdot (V)^{0.8}, & V > 5 \text{ m/s} \end{cases} \quad (7)$$

Жұту пластинасы мен РСМ арасындағы кондуктивті жылу алмасу:

$$q_{c,b-pcm} = k_{b-pcm} (T_b - T_{pcm}) \quad (8)$$

Мұндағы абсорбер мен РСМ арасындағы кондуктивті жылу алмасу коэффициенті келесідей анықталады:

$$k_{b-pcm} = \left(\frac{L_b}{k_b} + \frac{L_{pcm}}{k_{pcm}} \right)^{-1} \quad (9)$$

Жалпы жылу шығыны жылу өткізгіштіктен изоляцияға дейін жылу жоғалтуынан және конвекция арқылы изоляциядан қоршаған ауаға жылу жоғалтуынан тұрады. Жылу шығыны теңдеуін төмендегідей жаза аламыз:

$$q_{loss} = U_b (T_b - T_a) \quad (10)$$

Мұндағы жылу шығыны коэффициенті:

$$U_b = \left(\frac{L_b}{k_b} + \frac{L_i}{k_i} + \frac{1}{h_i} \right)^{-1} \quad (11)$$

РСМ мен жылутасымалдағыш сұйық арасындағы конвективті жылуалмасу:

$$q_{c,pcm-f} = h_{c,pcm-f} (T_{pcm} - T_f) \quad (12)$$

РСМ мен су арасындағы конвективті жылутасымал коэффициенті келесі қатынастармен анықталады:

$$\begin{cases} h_{c,pcm-f} = 0.54 \cdot \frac{k_f \cdot Ra_f^{1/4}}{L_f}, & Ra = 10^4 - 10^7 \\ h_{c,pcm-f} = 0.15 \cdot \frac{k_f \cdot Ra_f^{1/3}}{L_f}, & Ra = 10^7 - 10^{11} \end{cases} \quad (13)$$

Есептеу әдісі

(1)-(13) теңдеулерінің сандық шешімдері төртінші ретті Рунге-Кутта әдісіне негізделген [11-13]. Сандық алгоритмді шешу үшін Python бағдарламалық тілі қолданылды. Сыртқы орта температурасы күн коллекторының әртүрлі бөлігіндегі температураның бастапқы шарты ретінде қабылданды. Уақыттың алғашқы қадамында температураның бұл мәні конвективті және радиациялық жылу беру коэффициенттерін есептеу үшін қолданылды. Аталған мәндер мен физикалық қасиеттер негізінде жүйенің әртүрлі бөлігіндегі температура мәндері есептелді. 1 кестеде РСМ-нің екі негізгі параметрі – гидрат тұзы 29 бен парафин 62 қасиеттері көрсетілген.

Кесте 1. Фазалық ауысымы бар материалдардың жылуфизикалық қасиеттері [14-16]

PCM атауы	Парафин 62	Гидрат тұзы 29, (HS 29)
Балқу температурасы, °C	52 – 67	28-30
Келбеті (түсі)	Ақ	Сұр
Латентті жылу, кДж/кг	351.7	205
Меншікті жылу сыйымдылық, кДж/кг·K	2.14	2.14
Жылуөткізгіштік, Вт/м·K	0.24	1.09/0.54
Тығыздық, кг/м ³	900	1600

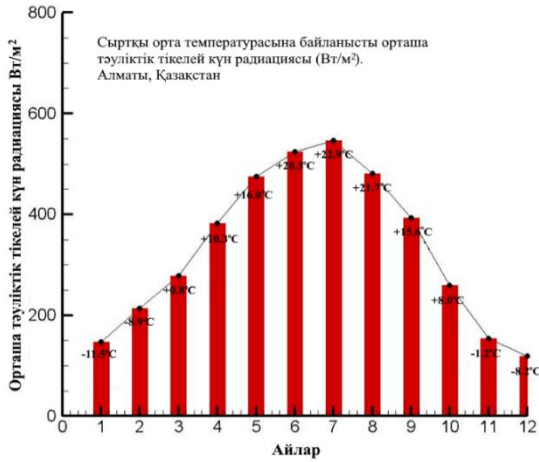
Зерттеу нәтижелері

Зерттеу нәтижесінде фазалық ауысым материалдарын (PCM) қолдану арқылы күн коллекторының жылу тиімділігін арттыру мүмкін екені анықталды. Сандық модельдеулер Алматы, Қазақстан климаты үшін жүргізілді және РСМ көмегімен жұмыс істейтін күн жұту пластинасының жылу өнімділігі бағаланды. Парафин 62 қолданылған жағдайда, гидрат тұзы 29-ға қарағанда жылуды ұзақ сақтауға қол жеткізілді, әсіресе кешкі уақытта. Бұл нәтижелер болжамның дұрыс екенін растайды және РСМ қолдану күн коллекторының тиімділігін арттыратынын көрсетеді.

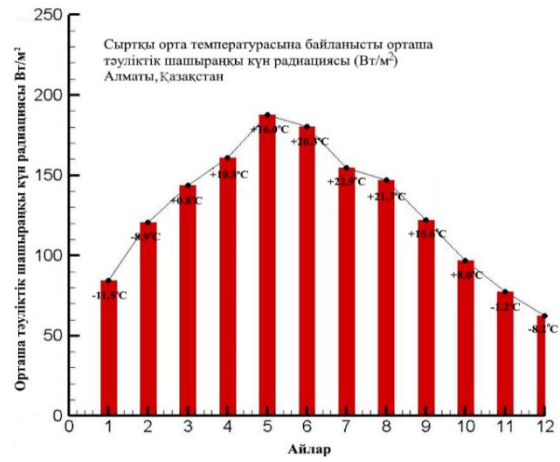
Нәтижелер мен талқылау

Жоғарыда келтірілген алгоритмді пайдалана отырып, Алматы, Қазақстан климаттық жағдайы үшін РСМ көмегімен күн жұтқыш пластинасының температурасы есептелді. Есептеулерде күн радиациясы мен қоршаған орта температурасы туралы тиісті мәліметтер ескерілді. Сәйкесінше қоршаған орта температурасына байланысты күн радиациясының тікелей (3-сурет) және диффузиялық (4-сурет) маусымдық ауытқуларын көрсетеді.

Жазғы уақытқа байланысты (Алматы) РСМ бар күн жұтқыш пластинасының әр бөлігіндегі температураның өзгеруі көрсетілген (5-сурет). 5 суреттен көріп отырғанымыздай, парафин 62-ні РСМ ретінде қолданған кезде жұмыс сұйықтығының (сұйық ағынының) максималды температурасы 50,68 °C, ал HS29 88,4 °C-ты құрайды. Парафин 62 бар жұмыс сұйықтығының температурасының төмен болуы парафин 62-нің балқу температурасы (52-67 °C) гидрат тұздығы 29-ға қарағанда (28-30 °C) жоғары болуынан. Сәйкесінше жылуды көбірек қажет етеді.

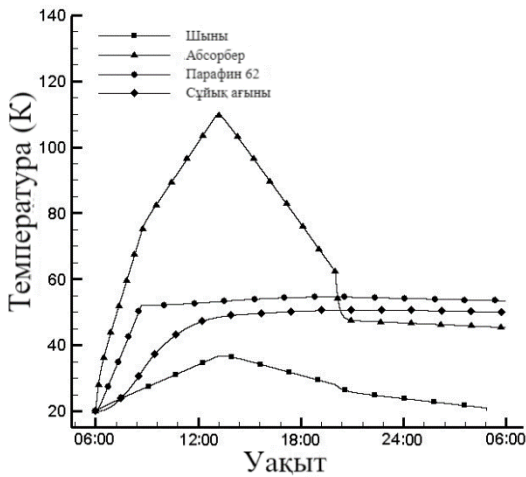


Сурет 3. Алматыдағы тікелей күн радиациясы

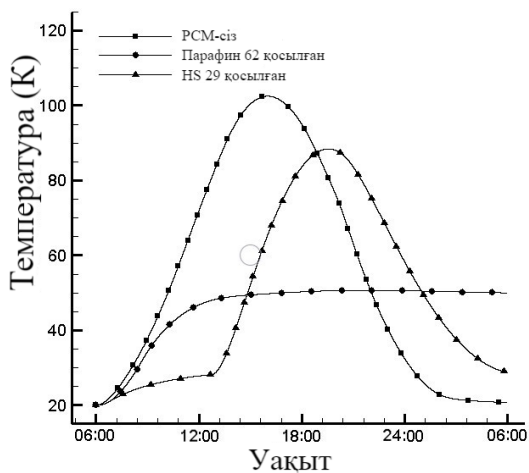
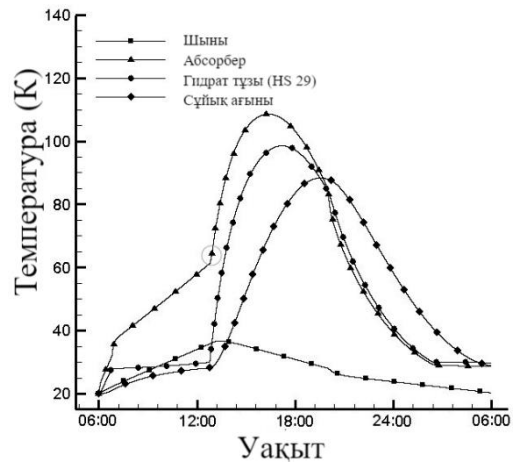


Сурет 4. Алматыдағы шашыраңқы күн радиациясы

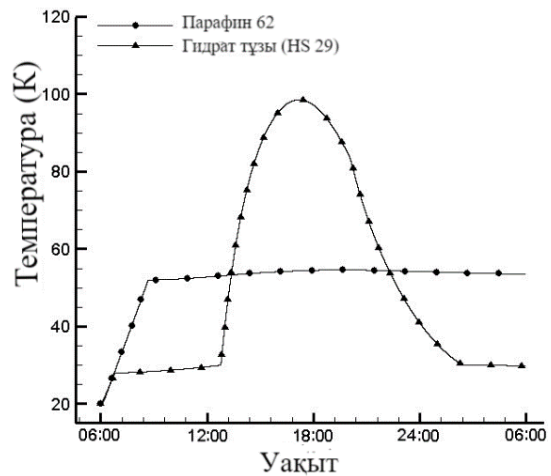
Үш түрлі жағдай үшін жұмыс сұйықтығының температурасы көрсетілген (6-сурет). Екі түрлі PCM температурасы көрсетілген (7-сурет).



Сурет 5. Күн каналы жұту пластинасының әртүрлі бөлігіндегі температураның өзгерісі



Сурет 6. Уақытқа байланысты жұмыс сұйықтығының температурасының өзгеруі



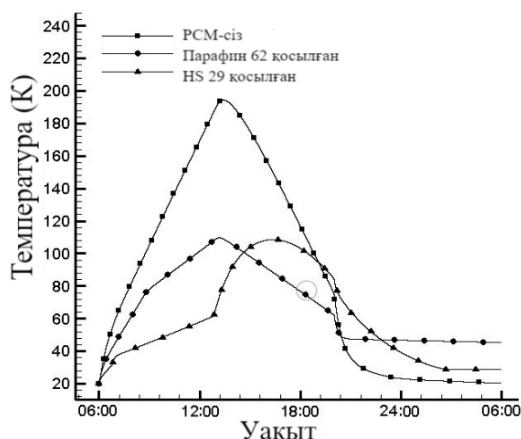
Сурет 7. Уақытқа байланысты PCM температурасының өзгеруі

Күн каналының сіңіргіш пластинасының температурасының уақытқа байланысты өзгеруі көрсетілген (8-сурет). Сондай-ақ осы суретте жұтқыш пластинаның жылу жинақтаушы материалдарды пайдаланбай-ақ максимал температураны қабылдайтындығын көрсетеді.

Алайда, кешке, күн сәулесі болмаған кезде, сорғыш тез суиды. Парафин 62 бар жұтқыш (абсорбер) пластансының максималды температурасы 109,8 °C-қа жетеді, ал HS29-мен ол 108,6 °C құрайды. Күн сәулесі жұтқышы болмаған жағдайда, Парафин 62 пластинасының температурасы 45,6 °C, ал HS29 28,6 °C-ты құрайды. Бұл, өз кезегінде балқу температурасына жуық мәнді көрсетеді.

Дискуссия

Зерттеу нәтижелері фазалық ауысым материалдарын (PCM) қолдану күн коллекторының жылу тиімділігін арттыратынын көрсетті, бұл оның практикалық маңыздылығын айқындайды. Атап айтқанда, парафин 62 және гидрат тұзы 29 сияқты PCM-дер күн энергиясын жинақтау және сақтау тиімділігін арттыруда түрлі артықшылықтар берді. Парафин 62 жоғары балқу температурасынан кейін жылуды ұзақ сақтай алады, бұл әсіресе кешке күн сәулесі болмаған жағдайда жүйенің өнімділігін жақсартуға мүмкіндік береді. Бұл зерттеу басқа зерттеулермен сәйкес келеді, мысалы, фазалық ауысым материалдарын қолдану арқылы жылу энергиясын сақтау саласындағы артықшылықтарды көрсететін бұрынғы жұмыстармен.



Сурет 8. Уақытқа байланысты каналды күн жұту пластинасының температурасының өзгеруі

Бұл зерттеудің маңыздылығы күн энергиясын тиімді пайдалануды арттыруда және қоршаған ортаға зиянсыз, экологиялық таза энергия көздерін дамытуда жатыр. Сондай-ақ, PCM-дердің әртүрлі түрлерін пайдалану арқылы жылу жүйелерінің тиімділігін жақсарту болашағы ашық болып тұр. Болашақ зерттеулер әртүрлі PCM материалдарын салыстыруға және күн энергиясын тиімді сақтау үшін оңтайлы конфигурацияларды анықтауға бағытталатын болады.

Қорытынды

Алматы, Қазақстан метеорологиялық жағдайы үшін PCM бар күн сіңіргіш пластинасында жылу беруді сандық модельдеу жүргізілді. Аталған есептеулер үшін математикалық модель, сандық алгоритм және компьютерлік бағдарлама жасалды. Сандық зерттеулер күн радиациясы болмаған кезде PCM құймаған жағдай үшін және гидрат 29 тұзы құйылғанға қарағанда, сіңіргіште жылу жинақтайтын материал ретінде парафин 62-ні пайдалану жақсырақ нәтиже беретіндігін көрсетті. Жылу сақтау ұзақтығы ыстық суды сақтауға арналған резервуарда жинақталған жылуды қолдануға байланысты.

АЛҒЫС

Авторлар Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университетінің (Yessenov University) «Экология және геология» кафедрасының профессор м.а., жоба жетекшісі Самал Сырлыбекқызына, сонымен қатар Yessenov University «Энергетика және автоматтандыру» кафедрасының ассистент профессорі Баимбетов Дінмұхамбет Баимбетұлына жан-жақты қолдау мен осы зерттеуді жүзеге асыруға мүмкіндік берген ресурстар үшін шынайы алғысын білдіреді. Сіздердің ғылыми идеяларды дамытуға қосқан үлестеріңіз бен ұйымдастырушылық қолдауларыңыз баға жетпес болып, осы жобаның сәтті жүзеге асырылуында негізгі рөл атқарды.

Қаржыландыру көзі

Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің гранттық қаржыландыруы аясында ИРН АР14871988 «Разработка солнечно-тепловой опреснительной установки на основе теплового насоса» жобасы бойынша жүргізілді.

Мүдделер қақтығысы

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ екенін мәлімдейді.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі

- [1] Naveenkumar R., Ravichandran M., Mohanavel V., Karthick A., Aswin L. S. R. L., Priyanka S. S. H., Kumar S. K., Kumar S. P. Review on phase change materials for solar energy storage applications. *Environmental Science and Pollution Research* 29 (2022), pp. 9491-9532. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17152-8>
- [2] Akhmetov B., Navarro M.E., Seitov A., Kaltayev A., Bakenov Z., Ding Y. Numerical study of integrated latent heat thermal energy storage devices using nanoparticle-enhanced phase change materials. *Solar Energy* 194 (2019), pp. 724-741. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.10.015>
- [3] Gong X., Wang F., Wang H., Tan J., Lai Q., Han H. Heat transfer enhancement analysis of tube receiver for parabolic trough solar collector with pin fin arrays inserting. *Solar Energy Volume 144* (2017), pp. 185–202. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.01.020>
- [4] Huan Z., Xintong M., Shijun Y., Yaran W., Xuejing Z., Tianzhen Y., Wandong Z., Shen W. Mathematical modeling and performance analysis of a solar air collector with slit-perforated corrugated plate. *Solar Energy Volume 167* (2018), pp. 147–157. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.04.003>
- [5] Syed E. G., Hussain H. A., Dereje E. W., Syed I. G. Performance enhancement of free convective solar air heater by pin protrusions on the absorber. *Solar Energy Volume 151* (2017), pp. 173–185. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.05.038>
- [6] Shalini R., Prabha C., Sharma S.P. Evaluation of thermo hydraulic effect on offset finned absorber solar air heater. *Renewable Energy Volume 125* (2018), pp. 39-54. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.110>
- [7] Nwachukwu P. N. Employing exergy-optimized pin fins in the design of an absorber in a solar air heater. *Energy Volume 35* (2010), pp. 571–575. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.10.027>
- [8] Donggen P., Xiaosong Z., Hua D., Kun L. Performance study of a novel solar air collector. *Applied Thermal Engineering Volume 30* (2010), pp. 2594-2601. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.07.010>
- [9] Evangelos B., Christos T., Dimitrios T. Thermal enhancement of parabolic trough collector with internally finned absorbers. *Solar Energy Volume 157* (2017), pp. 514–531. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.08.067>
- [10] Shahab B., Irfan A. B., Mohammad S. N. A review of numerical studies on solar collectors integrated with latent heat storage systems employing fins or nanoparticles. *Renewable Energy Volume 118* (2018), pp. 761-778. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.11.030>
- [11] Aliuly, A., Mohanraj, M., Belyayev, Ye., Jayaraj, S., Kaltayev, A. Numerical modelling of photovoltaic thermal evaporator for heat pumps. *Bulgarian Chemical Communications Volume 48, Special Issue E* (2016), pp. 135 – 139. http://bcc.bas.bg/BCC_Volumes/Volume_48_Special_E_2016/Special%20Issue%20E/Statii/Pages135-139.pdf

[12] Saktashova G., Aliuly A., Belyayev Ye., Mohanraj M., Singh R.M. Numerical heat transfer simulation of solar-geothermal hybrid source heat pump in Kazakhstan climates. *Bulgarian Chemical Communications Volume 50* (2018), pp. 7-13. http://bcc.bas.bg/BCC_Volumes/Volume_50_Special_G_2018/50G_PD_7-13.56.pdf

[13] Ramasamy D., Mohanraj M., Belyayev Ye. Performance analysis of crushed gravel sand heat storage and biomass evaporator-assisted single slope solar still. *Environmental Science and Pollution Research Volume 28/46* (2021), pp. 65610-65620. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15487-w>

[14] Shakir Ye., Saparova B., Belyayev Ye., Kaltayev A., Mohanraj M., Jayaraj S. Numerical simulation of a heat pump assisted regenerative solar still with PCM heat storage for cold climates of Kazakhstan. *Thermal Science Volume 21* (2017), pp. 411-418. <https://doi.org/10.2298/TSCI17S2411S>

[15] Belyayev Ye., Mohanraj M., Jayaraj S., Kaltayev A. Thermal Performance Simulation of a Heat Pump Assisted Solar Desalination System for Kazakhstan Climatic Conditions. *Heat Transfer Engineering Volume 40/12* (2019), pp. 1060-1072. <https://doi.org/10.1080/01457632.2018.1451246>

[16] Kenisarin, M. M. Thermophysical properties of some organic phase change materials for latent heat storage. A review. *Solar Energy Volume 107* (2014), pp. 553-557. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.05.001>