

Чирін Д.А.

ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Іродов В.Ф.

ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Чорнойван А.А.

ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА ПЛІВКОВОГО ТИПУ

У статті розглядається сонячний колектор плівкового типу, в якому теплоносієм є вода. Колектор може застосовуватись у системах гарячого водопостачання та опалення. Метою даної роботи є викладення нового технічного рішення та результатів експериментальних досліджень сонячного колектора плівкового типу при змінних умовах його функціонування. Основні відмінності розробленого колектора полягають у наявності світлопрозорої поверхні та повітряного прошарку перед плівкою рідини, а також у наявності триходового клапану при підключенні колектора до системи опалення. Під час планування експериментів виділені вхідні та вихідні параметри. За допомогою теорії розмірності та подоби розмірна сукупність вхідних та вихідних параметрів перетворена на сукупність безрозмірних комплексів, які повною мірою характеризують роботу сонячного колектора. Серед вхідних параметрів визначаються такі: температура води на вході та на виході з сонячного колектора; температура повітря; інтенсивність сонячного випромінювання; швидкість руху плівки; геометричні параметри колектора і світлопрозорої поверхні; швидкість течії рідини. Вихідні параметри такі: кількість енергії на нагрів води та кількість енергії, що надійшла в колектор. Вхідні та вихідні параметри експерименту представлено у вигляді безрозмірних комплексів, що дозволить побудувати математичну модель функціонування даного пристрою. Результати експериментів представлені у вигляді таблиці, яка характеризує залежність ефективності роботи сонячного колектора від вхідних безрозмірних комплексів. Аналіз отриманих експериментальних результатів дозволяє дійти висновку, що розроблений колектор має прийнятну енергетичну ефективність. Беручи до уваги незначні витрати на виготовлення такого колектора, його можна використовувати у системах опалення та гарячого водопостачання.

Ключові слова: сонячний колектор, системи опалення, системи гарячого водопостачання, експериментальні дослідження, критерії подібності, безрозмірний вигляд.

Постановка проблеми. Збереження енерго-ресурсів планети завдяки використанню нетрадиційних видів енергії сприяє технічному прогресу, конкурентоспроможності промисловості та комфортному життєзабезпеченню. На сьогодні винайдено багато моделей сонячних колекторів, але складність виробництва або використання кольорових металів чи низька ефективність сонячних колекторів обмежують масове використання відомих конструкцій. Представлена конструкція сонячного колектора плівкового типу може вирішувати задачі гарячого водопостачання чи опалення за відсутності недоліків відомих моделей. Треба проводити експерименти з використанням різних матеріалів та фізичних характеристик сонячного колектора, щоб досягти максимальних показників ефективності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Модель сонячного колектора плівкового типу

використовує сонячну енергію і нагріває рідинний теплоносій, наприклад, воду. Серед різних типів колекторів є і сонячні колектори, які застосовують теплообмін у плівці рідини [1]. Такий пристрій містить корпус з вхідним і вихідним патрубком для рідини, теплообмінну поверхню та електромеханічний модулятор потоку рідини, яка надходить до теплообмінної поверхні. Електромеханічний модулятор складається з електродвигуна, редуктора та пульсатора рідини. Тонка плівка пульсуючої рідини, яка стікає теплообмінною поверхнею з вертикальними або горизонтальними каналами, активно відбирає теплову енергію. Теплообмінна поверхня при цьому повинна бути повернена до сонця або до іншого джерела теплової енергії.

Недоліком такого пристрою є необхідність використання додаткової зовнішньої електричної енергії для приводу модулятора коливань потоку рідини, а також конструктивна складність.

Задача вилучення перелічених недоліків і зменшення вартості сонячних колекторів вирішувалась у технічному рішенні [2]. Згідно з цим патентом сонячний колектор з теплообміном у рідинних плівках містить корпус з вхідним та вихідним патрубками для рідини, теплообмінну поверхню, модулятор коливань потоку рідини для подачі її на верхню частину теплообмінної поверхні. Цей модулятор відрізняється від інших тим, що він виготовлений у вигляді щільного дозатора рідини, з'єднаного з вхідним пагтрубком, і гребінок, виступи яких розташовані у шаховому порядку на теплообмінній поверхні, яка має покриття з шару вуглецевого сорбенту. Вихідний патрубок підключений до накопичувача рідини в нижній частині теплообмінної поверхні.

Недоліком другого пристрою є наявність втрат теплової енергії крізь корпус колектора, а також наявність протиріччя при експлуатації колектора. Це протиріччя таке: щоб підвищити тепловіддачу рідини, необхідно підвищувати швидкість руху плівки рідини, але при підвищенні швидкості руху рідини у плівці зменшується час контакту рідини з теплообмінною поверхнею, що призводить до зменшення нагрівання рідини.

Постановка завдання. Мета роботи – розробка оптимальної схеми роботи сонячного колектора плівкового типу та експериментальні дослідження для подальшої побудови математичної моделі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розроблено технічне рішення сонячного колектора плівкового типу, що має зменшені трудовитрати при виробництві. Суть конструкції пояснюється графічними матеріалами на рис. 1. Поставлена задача вирішуватиметься тим, що корпус має вхідний (1) та вихідний (2) патрубки для рідини, теплообмінну поверхню (3), щільний дозатор рідини (4) для подачі її на верхню частину теплообмінної поверхні та гребінок (5), виступи яких розташовані на теплообмінній поверхні, що має покриття зі значним коефіцієнтом поглинання сонячного випромінювання (6). Вихідний патрубок підключений до накопичувача рідини (7) в нижній частині теплообмінної поверхні, який відрізняється тим, що нижня частина його корпусу має теплову ізоляцію (8), а верхня частина має світлопрозору поверхню (9). Між плівкою рідини і світлопрозорою поверхнею утворюється повітряний простір (10). Накопичувач рідини має вихідний патрубок, який з'єднується з вхідним патрубком триходового клапана (11). Перший вихідний патрубок триходового клапана з'єднується з входом насоса рідини (12), вихід якого з'єднується з входом колектора, а другий патрубок триходового клапана забезпечує вихід нагрітої рідини після колектора (13).

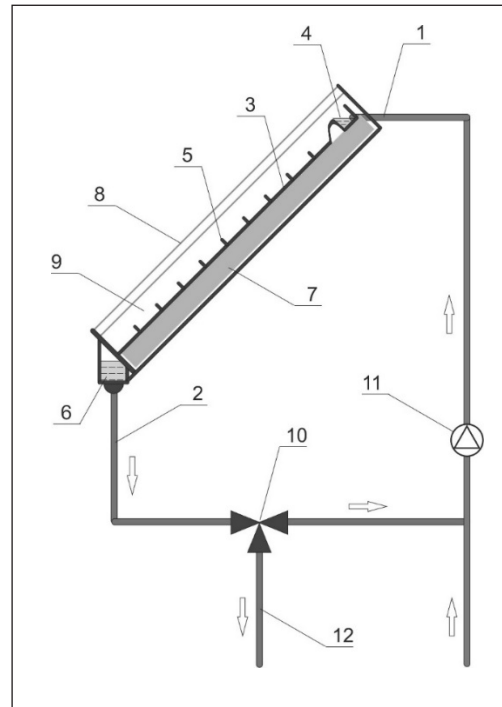


Рис. 1. Конструкція сонячного колектора

Задачею даної конструкції сонячного колектора є зменшення втрат теплової енергії і підвищення ефективності поглинання сонячної енергії рідиною колектора з теплообміном у плівці рідини.

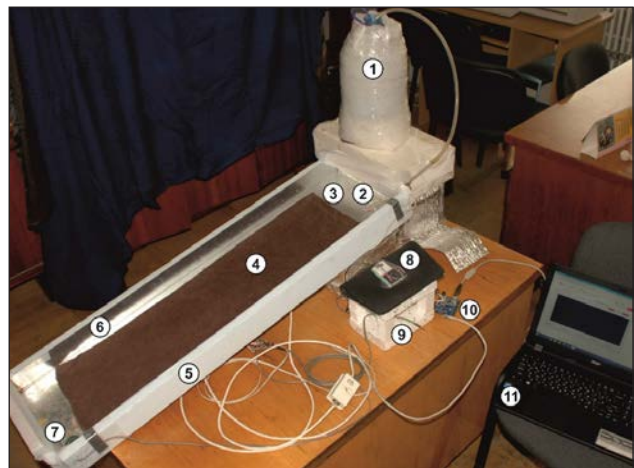


Рис. 2. Експериментальна модель сонячного колектора плівкового типу

- Складові частини сонячного колектора:
- 1) теплоізований накопичувальний бак;
 - 2) датчик початкової температури рідини (води);
 - 3) плівка рідини, що вільно стікає (вода);
 - 4) сорбуюча поверхня;
 - 5) теплоізоляція;
 - 6) світлопрозора поверхня (скло);
 - 7) датчик кінцевої температури рідини (води);

- 8) датчик інтенсивності сонячного випромінювання;
- 9) датчик температури повітря;
- 10) мікроконтролер перетворення сигналів з датчиків;
- 11) ЕОМ збору і обробки даних.

Нами проведені експерименти за різних погодних умов та різних фізичних характеристик сонячного колектора. Як світлопрозору поверхню було використано звичайне скло, органічне скло (пластик), поліетиленову плівку. Були проведені експерименти за різної висоти накопичувального баку та вхідного патрубку, різної відстані між світлопрозорою і сорбуючою поверхнями. У таблиці 1 наведені результати експерименту з використанням органічного скла.

Таблиця містить такі позначки:

- Тн.вод. (°С) – температура води на вході в сонячний колектор;
- Тк.вод. (°С) – температура води на виході із сонячного колектора;
- Тпов. (°С) – температура повітря в тіні;
- Н (см) – різниця висот води між накопичувальним баком та вхідним патрубком;
- h (см) – відстань між світлопрозорою і сорбуючою поверхнями;
- Рсон. (мВт/см²) – інтенсивність сонячного випромінювання;

- Qвод. – кількість енергії, що надійшла в колектор;
- G (гр/сек) – витрати води;
- Qкін. (Вт) – кількість сонячної енергії, що надходить на площу, рівну площі колектора.

До розмірних параметрів відносимо такі: dТвод. (0С), Тпов. (0С), Fкол.(м², площа колектора), h (м), Sвод (Дж/кг 0С, теплоємність води), ρсон (Дж/сек м², щільність сонячного випромінювання), G (кг/сек.). Разом – 7 шт.

Одиниці виміру: 0С, м, н, сек, разом – 4 шт. Кількість безрозмірних комплексів становить N = 7-4 = 3 шт.

Вводимо перший комплекс: $p_1 = \frac{\Delta T}{T_{нов}}$, де ΔT – різниця температур на вході і на виході сонячного колектора, $T_{нов}$ – температура повітря. Температурний комплекс p_1 характеризує вплив температури повітря на різницю температур початкової і кінцевої води.

Другий комплекс характеризує фізичні розміри сонячного колектора: $p_2 = \frac{h^2}{F}$, де h – відстань між світлопрозорою і сорбуючою поверхнями, F – площа світлопрозорої поверхні.

Третій безрозмірний комплекс характеризує ефективність сонячного колектора:

$$p_3 = \frac{C_{вод} * G * \Delta T}{q_{сон} * F}$$

Таблиця 1

Результати експерименту з сонячним колектором плівкового типу

		Вхідні параметри					Вихідні параметри	
Тн.вод.	Тк.вод.	Тпов.	Н	Н	Рсон.	G	Qвод.	Qкін.
24,5	27,7	30,97	57	2	99,999	6,67	64	199,998
24,3	28,4	30,71	57	2	98,862	6,67	82	197,724
24,5	28,6	31,33	57	1	88,161	6,67	82	176,322
24,7	29,3	31,16	57	1	100,491	6,67	92	200,982
26	29,5	28,87	57	1	107,467	6,67	70	214,934
26,2	30	29,39	57	1	97,374	6,67	76	194,748
26,9	31,8	29,22	37	1	100,465	5	98	200,93
27,1	32,2	29,3	37	1	101,282	5	102	202,564
27,5	32,7	30,09	37	2	91,177	5	104	182,354
27,7	32,9	30,71	37	2	98,862	5	104	197,724
27,8	32,1	28,26	37	2	74,74	5	86	149,48
27,1	34,8	30,36	21	2	111,016	3,85	154	222,032
27,2	34,4	28,78	21	2	89,27	3,85	144	178,54
27,3	34,8	27,75	21	2	94,154	3,85	150	188,308
27,4	34,4	30,89	21	2	61,763	3,85	140	123,526
27,4	33,6	30,89	21	1	83,502	3,85	124	167,004
27,1	34,8	29,83	21	1	86,186	3,85	154	172,372
27,7	33,9	28,52	21	1	113,943	3,85	124	227,886
28,2	34,6	29,04	21	2	112,004	3,85	128	224,008
28,3	32,9	29,13	21	2	76,28	3,85	92	152,56

Розмірні параметри та безрозмірні комплекси експерименту з сонячним колектором плівкового типу

Розмірні параметри							Безрозмірні комплекси		
dT	Твезд	Гколект	h	Свод	qсон	G	p1	p2	p3
3,2	30,97	0,23	0,02	4183	999,99	0,00667	0,103326	0,001739	0,388186
4,1	30,71	0,23	0,02	4183	988,62	0,00667	0,133507	0,001739	0,503084
4,1	31,33	0,23	0,01	4183	881,61	0,00667	0,130865	0,000435	0,564148
4,6	31,16	0,23	0,01	4183	1004,91	0,00667	0,147625	0,000435	0,555286
3,5	28,87	0,23	0,01	4183	1074,67	0,00667	0,121233	0,000435	0,395074
3,8	29,39	0,23	0,01	4183	973,74	0,00667	0,129296	0,000435	0,473398
4,9	29,22	0,23	0,01	4183	1004,65	0,005	0,167693	0,000435	0,443518
5,1	29,3	0,23	0,01	4183	1012,82	0,005	0,174061	0,000435	0,457897
5,2	30,09	0,23	0,02	4183	911,77	0,005	0,172815	0,001739	0,518619
5,2	30,71	0,23	0,02	4183	988,62	0,005	0,169326	0,001739	0,478304
4,3	28,26	0,23	0,02	4183	747,4	0,005	0,152159	0,001739	0,523173
7,7	30,36	0,23	0,02	4183	1110,16	0,00385	0,253623	0,001739	0,485653
7,2	28,78	0,23	0,02	4183	892,7	0,00385	0,250174	0,001739	0,564739
7,5	27,75	0,23	0,02	4183	941,54	0,00385	0,27027	0,001739	0,557755
7	30,89	0,23	0,02	4183	617,63	0,00385	0,226611	0,001739	0,793579
6,2	30,89	0,23	0,01	4183	835,02	0,00385	0,200712	0,000435	0,519895
7,7	29,83	0,23	0,01	4183	861,86	0,00385	0,258129	0,000435	0,625568
6,2	28,52	0,23	0,01	4183	1139,43	0,00385	0,217391	0,000435	0,381
6,4	29,04	0,23	0,02	4183	1120,04	0,00385	0,220386	0,001739	0,400099
4,6	29,13	0,23	0,02	4183	762,8	0,00385	0,157913	0,001739	0,422248

Висновки. Розроблено конструкцію сонячного колектора плівкового типу, захищену патентом України. Виготовлено фізичну модель сонячного колектора плівкового типу та проведено експерименти із застосуванням різних матеріалів за різних погодних умов і змінних фізичних характеристик сонячного колектора. Розроблено сукупність

безрозмірних комплексів, які характеризують режими роботи сонячного колектора за змінних умов. Експериментальні результати роботи сонячного колектора плівкового типу дозволяють отримати математичну модель роботи колектора та приймати рішення про його застосування у системах опалення та гарячого водопостачання.

Список літератури:

1. Способ повышения теплоотдачи и предотвращения высыхания пленки жидкости и устройство для модуляции колебаний потока жидкости : пат. 2053480 Российская Федерация, МПК F28F 13/10. / Велькин В.И., Щеклеин С.Е. ; заявитель и патентообладатель Велькин В.И., Щеклеин С.Е. ; № 93 93049701 ; опубл. 06.10.1993.
2. Солнечный коллектор с теплообменом в жидких пленках : пат. 128297 Российская Федерация, МПК F24J 2/22. / В.И.Велькин, С.Е.Щеклеин, А.И.Попов ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» ; № 93 93049701 ; заявл. 05.12.2012 ; опубл. 20.05.2013 ; бюл. № 14.
3. Сонячний колектор з теплообміном у плівці рідини : пат. 133072 Україна, МПК F24S 10/00. / В.Ф. Іродов, Д.А. Чирін, К.В. Дудкін, А.А. Чорнойван ; заявники та власники В.Ф. Іродов, Д.А. Чирін, К.В. Дудкін, А.А. Чорнойван ; № u201809732 ; заявл. 28.09.2018 ; опубл. 25.03.2019 ; бюл. № 6.
4. Потетюнко Э.Н. Турбулентное стекание вязкой жидкости по наклонной плоскости. *Современные наукоемкие технологии*. 2010. № 9. С. 182–187.
5. Петухов С.П. Методы подобия и размерностей в теории теплообмена : учебное пособие. Москва, 1981. 56 с.
6. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. Москва : Наука, 1977. 440 с.

Chirin D.A., Irodov V.F., Chornoivan A.A. EXPERIMENTAL RESEARCH OF A FILM TYPE SOLAR COLLECTOR

Consider a solar collector film type in which the coolant is water. The collector can be used in hot water and heating systems. The purpose of this work is to present a new technical solution and the results of experimental studies of a solar collector of film type under variable conditions of its functioning. The main differences of the developed solar collector are the presence of a translucent surface and an air layer before the film of liquid, as well as the presence of a three-way valve when connecting the collector to the heating system. When planning experiments, the input and output parameters are highlighted. Using dimensionality and similarity theory, the dimensional set of input and output parameters is transformed into a set of dimensionless complexes that fully characterize the operation of the solar collector. Among the input parameters: water temperature at the inlet and outlet of the solar collector; air temperature; the intensity of solar radiation; the speed of motion of the film; geometric parameters of the collector and translucent surface and others. Output parameters: fluid flow rate; the amount of energy that went into the collector and others. The input and output parameters of the experiment are presented in the form of dimensionless complexes, this representation will allow us to further build a mathematical model of the operation of this device. The results of the experiments are presented in the form of a table characterizing the dependence of the solar collector efficiency on the incoming dimensionless complexes. The analysis of the obtained experimental results makes it possible to conclude that the designed collector has an acceptable energy efficiency, and taking into account the low cost of producing such a collector, it can be used in heating and hot water systems.

Key words: *solar collector, heating systems, hot water systems, experimental studies, similarity criteria, dimensionless appearance.*