

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЕЛІОПАНЕЛЕЙ

© Касинець М.Є., 2012

Визначена залежність ефективності геліопанелі від інтенсивності сонячного випромінювання, діаметра трубок, кроку трубок і витрати теплоносія. Встановлена ефективність роботи геліопанелей різних конструкцій. Проведено аналіз переваг і недоліків існуючих геліопанелей.

Ключові слова: сонячна енергія, геліопанель, енергоефективність, енергозбереження.

Dependence of heliopanel efficiency from intensity of solar radiation, the diameter of the tubes, step tubes and coolant flow was determined. The effectiveness of heliopanel different designs were installed. The analysis of the advantages and disadvantages of existing heliopanel was conducted.

Key words: solar energy, heliopanel, energy efficiency, energy conservation.

Вступ. Сонячне випромінювання, що падає по нормалі на поверхню Землі, змінюється через зміни у відстані між Землею і Сонцем; атмосферне розсіювання молекулами повітря, водяної пари і пилу; атмосферне поглинання киснем, озonom, водою і вуглекислим газом. Сонячна енергія може використовуватись не тільки для теплопостачання, але й для інших найрізноманітніших потреб, для чого й розроблено ці установки.

Постановка проблеми. Існують різні конструкції геліопанелей та способи їх встановлення. Використання елементів споруд як складових сонячних панелей значно знижує вартість установки сонячного теплопостачання та спрощує їх монтаж. Тепло переміщується трьома способами: завдяки провідності (передача тепла твердими матеріалами), конвекції (переміщення тепла завдяки руху рідин або газів) і випромінюванню. Поверхня будинку втрачає тепло також через ці три способи. Отже, поставлено завдання знаходження простої економічної та оптимальної конструкції сонячної панелі, в якій нове її виконання і менша кількість збірних деталей дають змогу знизити собівартість виробу, а також підвищити її ефективність.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сонячні колектори поділяють на плоскі та концентруючі, а ті, своєю чергою, на повітряні і рідинні, високотемпературні і низькотемпературні. У сонячному колекторі сонячний тепловий потік перетворюється в теплоту, яка може відбиратись потоком теплоносія (вода, повітря, антифриз тощо), що протікає через теплопоглинач. Конструкції сонячних колекторів постійно вдосконалюються [3–5]. Системи з пасивним використанням сонячної енергії є недорогими та екологічними, проте в них майже неможливо контролювати параметри внутрішнього повітря та здійснювати достатній повітрообмін у приміщенні. Для акумулювання достатньої кількості тепла і холоду необхідно встановлювати акумулятори великого розміру. Тому актуальним є використання комбінованих систем сонячного теплопостачання, а саме – геліопанелей. Оскільки вони об'єднують в собі функції основного конструктивного призначення (елементи споруди), а також функції сприйняття і транспортування тепла та холоду.

Відомі різні конструкції геліопанелей, що містять захисне покриття, теплоізоляційний шар та розташований між ними теплопровідний шар. Недоліками таких геліопанелей є висока металомісткість конструкції, що значно підвищує собівартість панелі та знижує ефективність її використання [7, 8]. Тому існує необхідність дослідження геліопанелей з використанням сучасних будівельних матеріалів та різних конструктивних схем.

Формулювання цілі роботи. Для правильного вибору конструкції геліопанелі і подальших натурних досліджень необхідно визначити, як змінюється ефективність геліопанелі залежно від конструктивних особливостей і виду покрівельних матеріалів, з яких вона складається, та інтенсивності теплового потоку, що падає на її поверхню.

Виклад основного матеріалу досліджень. Для того, щоб знайти оптимальну конструкцію геліопанелі, для найефективнішого використання сонячної енергії було досліджено геліопанелі різних конструкцій з використанням найвживаніших та найсучасніших будівельних матеріалів (рис. 1).

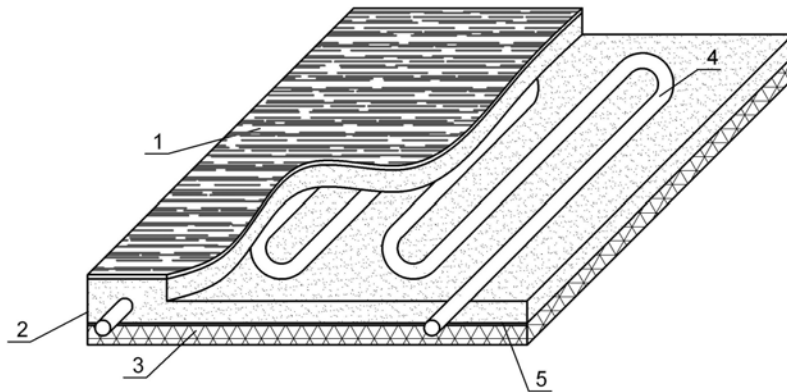


Рис. 1. Принципова схема геліопанелі:

1 – захисне покриття; 2 – теплопровідний шар; 3 – теплоізоляційний шар;
4 – трубопроводи для підведення і відведення теплоносія; 5 – тепловідбиваючий екран

Експериментальні дослідження проводились за таких умов, припущень та спрощень:

- густина теплового потоку прийнята однаковою по усій площині геліопанелі;
- геліопанель не затінювалася;
- вплив відбитої сонячної енергії від навколишніх предметів не враховувався;
- прийнято довірчу ймовірність результатів експерименту $\alpha = 0,95$.

Для ефективнішого проведення експериментів і зниження затрат на його організацію проведено планування експерименту відповідно до існуючих методик [1, 2, 6].

Для дослідження геліопанелі чинниками обрано:

- x_1 – діаметр трубок, d , м;
- x_2 – крок трубок, l , м;
- x_3 – витрата теплоносія, G , кг/с;
- x_4 – інтенсивність потоку енергії, що випромінює джерело, I_b , Вт/м².

У табл. 1 подано дані про рівні чинників та інтервали варіювання. Для максимального виявлення впливу чинників на функцію відгуку була складена матриця планування ПФЕ 24 із врахуванням ефекту взаємодії чинників (табл. 2). Функцією відгуку слугує ефективність геліопанелі, яка визначалася як відношення енергії, що надійшла на геліопанель, до кількості енергії, що отримана геліопанеллю, $y_1 - n_1$, ефективність геліопанелі, під час її покриття руберойдом та використання трубок традиційної системи опалення TOPTERM MULTILAYER PIPE PEX/AL/PEX, $y_2 - n_2$, під час покриття геліопанелі руберойдом та використання трубок підлогового опалення PRANDELLI/TUBORAMA 02 STOP, $y_3 - n_3$, під час покриття геліопанелі каучукографітовим складом Графпласт КПК та використання трубок традиційної системи опалення TOPTERM MULTILAYER PIPE PEX/AL/PEX, $y_4 - n_4$, під час покриття геліопанелі каучукографітовим складом Графпласт КПК та використання трубок підлогового опалення PRANDELLI/TUBORAMA 02 STOP.

Ефективність геліопанелі визначається за формулою

$$\eta_{ГП} = \frac{Q_{ГП}}{I_b} \cdot 100 \%,$$

де $Q_{ГП}$ – питома миттєва теплова потужність сонячного колектора, Вт/м²; I_b – інтенсивність випромінювання джерела на поверхню теплопоглинача геліопанелі, Вт/м²:

$$Q_{ГП} = G \cdot c \cdot (t_{вих} - t_{вх}),$$

де G – питома витрата теплоносія, кг/(с·м²); c – питома теплоємність теплоносія, Дж/(кг·К); $t_{вих}$, $t_{вх}$ – температури теплоносія на вході та виході геліопанелі, К.

Таблиця 1

Рівні чинників та інтервали варіювання

Назва чинника	Кодоване позначення	Рівні чинників		Інтервал варіювання
		-1	+1	
Діаметр трубок, d , м	x_1	0,0016	0,0025	0,009
Крок трубок, l , м	x_2	0,01	0,2	0,1
Масова витрата теплоносія, G , кг/с	x_3	0,00417	0,0125	0,00833
Інтенсивність теплового потоку I_b , Вт/м ²	x_4	500	1000	500

Експерименти були рандомізовані в часі і кожен дослід, а їх відповідно до матриці планування табл. 2 було проведено 16, повторювався тричі.

Таблиця 2

Матриця планування ПФЕ 2⁴

№	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_2x_3	x_2x_4	x_3x_4	$x_1x_2x_3$	$x_1x_2x_4$	$x_1x_3x_4$	$x_2x_3x_4$	$x_1x_2x_3x_4$	y_1 , (η ₁ , %)	y_2 , (η ₂ , %)	y_3 , (η ₃ , %)	y_4 , (η ₄ , %)
1	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	46,07	47,04	48,5	49,47
2	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	43,16	44,13	45,59	46,56
3	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	-	42,19	43,16	44,62	45,59
4	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+	39,28	40,25	41,71	42,68
5	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	-	64,01	66,92	71,29	74,2
6	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	55,28	58,19	62,56	65,47
7	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	+	52,38	55,28	59,65	62,56
8	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	43,65	46,56	50,92	53,83
9	+	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	28,37	28,85	29,58	30,07
110	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	26,91	27,4	28,13	28,61
111	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	26,43	26,91	27,64	28,13
112	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	24,98	25,46	26,19	26,67
113	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	+	48,01	49,47	51,65	53,1
114	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	43,65	45,1	47,28	48,74
115	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-	42,19	43,65	45,83	47,28
116	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	37,83	39,28	41,46	42,92

Перед проведенням дослідів складався спеціальний журнал відповідно до методики і плану досліджень, в який записувались результати. Теплові випромінювачі, що використовувались, могли давати потужність теплового потоку 3000 Вт/м^2 .

Спектральний розподіл імітованого теплового потоку був приблизно еквівалентний спектру сонячного випромінювання за повітряної маси 1,5. Розподіл інтенсивності потоку енергії від випромінювача у площині колектора вимірювався за допомогою решітки розмірами $100 \times 100 \text{ мм}$. Ці вимірювання проводились кожного разу перед початком і вкінці досліду.

Здійснювався контроль за тим, щоб на проведення експерименту не впливали інші чинники (сонячна енергія через вікно, гладкі поверхні, затінення сонячного колектора тощо). Природний потік повітря не перевищував 1 м/с , що не впливало на результати дослідів, але дало можливість видаляти надлишкову теплоту під час проведення експерименту, у результаті чого температура навколишнього повітря впродовж експерименту незначно підвищувалась.

Кожного разу перед початком експерименту система заповнювалась свіжою порцією води. Видалялось повітря із системи. Перевірялась герметичність системи за робочого тиску. Перевірялась справність вимірювальних приладів. Також очищався поверхня геліопанелі від забруднень, а сама геліопанель та баки-акумулятори промивались.

Перед початком експерименту геліопанель затінювалась екраном і включались теплові випромінювачі, після досягнення ними максимальної потужності (до 15 хв) знімався затінюючий екран і геліопанель прогрівалась протягом 30 хв . Встановлювалась необхідна витрата теплоносія, яка підтримувалась постійною впродовж усього експерименту.

Впродовж проведення експерименту вимірювались: інтенсивність потоку енергії; діаметр та крок трубок; температура теплоносія на вході в геліопанель; температура теплоносія на виході із геліопанелі; температура теплоносія у трьох точках умовно поділеного об'єму бака-акумулятора; температура навколишнього повітря у чотирьох точках біля геліопанелі (термометрами опорними); витрати теплоносія ротаметром та витратоміром; швидкість і температура навколишнього повітря (термоелектроанемометром TESTO 405 – V1). Заміри здійснювались кожних 10 хв .

Після завершення дослідів виключались теплові випромінювачі, зупинялась циркуляція теплоносія, зливався теплоносій і система заповнювалась новою порцією охолодженого теплоносія. Досліди проводились не послідовно в часі, щоб виключити вплив систематичних похибок, викликаних зовнішніми умовами. Для цього номер проведення кожного досліду визначається за допомогою таблиці випадкових чисел.

Дані, що були отримані під час проведення експериментальних досліджень визначення ефективності геліопанелі та системи СТ загалом від її конструкції та інтенсивності теплового потоку, записувались у спеціальний журнал.

За результатами експериментальних досліджень були побудовані номограми залежності ефективності геліопанелі від сонячного випромінювання, діаметра трубок, кроку трубок, типу трубок, покриття геліопанелі та витрати теплоносія (рис. 2–5).

Після підрахунку коефіцієнтів регресії можна записати рівняння регресії для випадку, коли використовуються: покриття геліопанелі – руберойд та трубки традиційної системи опалення TOPTERM MULTILAYER PIPE PEX/AL/PEX:

$$\eta_{\text{ГП1}} = 41,52 - 2,18x_1 - 2,91x_2 + 6,85x_3 - 6,73x_4 - 1,09x_1x_3 + \\ + 0,73x_1x_4 - 1,45x_2x_3 + 0,97x_2x_4 + 1,27x_3x_4 + 0,36x_1x_3x_4 + 0,48x_2x_3x_4.$$

Аналогічно отримані рівняння регресії для інших випадків. Під час покриття геліопанелі руберойдом та використання трубок підлогового опалення PRANDELLI/TUBORAMA 02 STOP:

$$\eta_{\text{ГП2}} = 42,98 - 2,18x_1 - 2,91x_2 + 7,58x_3 - 7,21x_4 - 1,09x_1x_3 + \\ + 0,73x_1x_4 - 1,45x_2x_3 + 0,97x_2x_4 + 1,03x_3x_4 + 0,36x_1x_3x_4 + 0,48x_2x_3x_4.$$

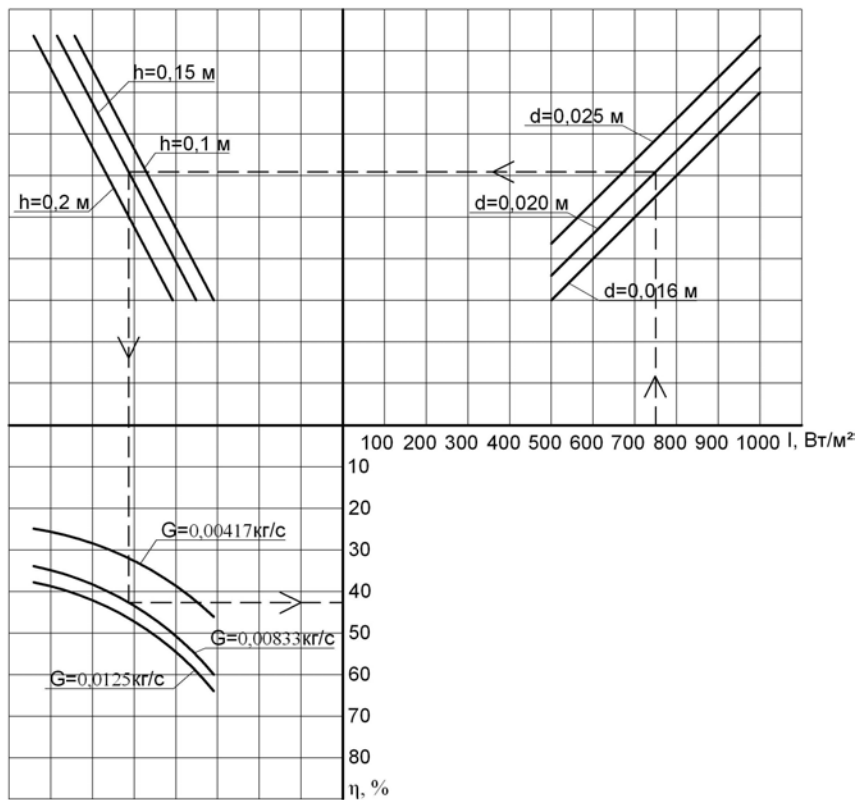


Рис. 2. Ефективність геліопанелі під час покриття руберойдом та використання трубок традиційної системи опалення TOPTERM MULTILAYER PIPE PEX/AL/PEX η .

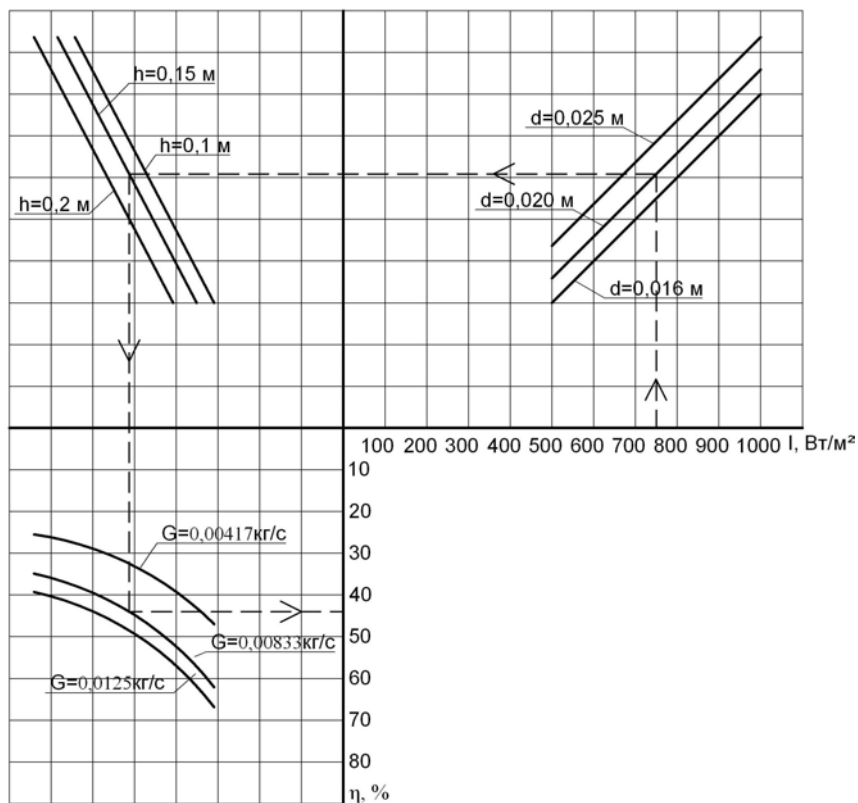


Рис. 3. Ефективність геліопанелі під час покриття руберойдом та використання трубок підлогового опалення PRANDELLI/TUBORAMA 02 STOP η .

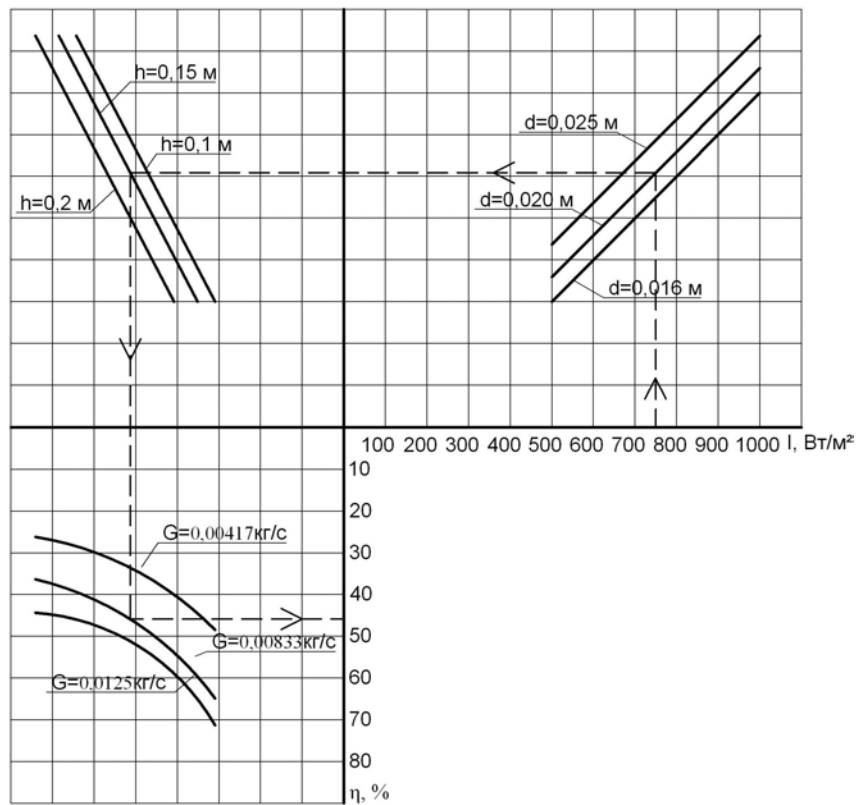


Рис. 4. Ефективність геліопанелі під час покриття каучуко-графітовим складом Графпласт КПК та використання трубок традиційної системи опалення TOPTERM MULTILAYER PIPE PEX/AL/PEX η .

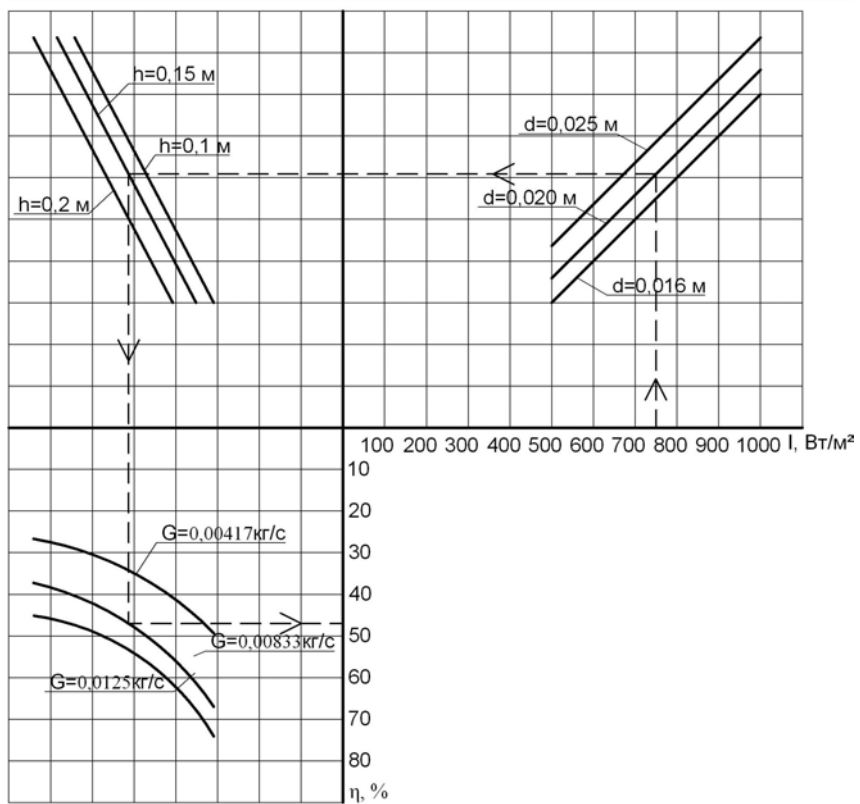


Рис. 5. Ефективність геліопанелі під час покриття каучуко-графітовим складом Графпласт КПК використання трубок підлогового опалення PRANDELLI/TUBORAMA 02 STOP η

Під час покриття геліопанелі каучуко-графітовим складом Графпласт КПК та використання трубок традиційної системи опалення TOPTERM MULTILAYER PIPE PEX/AL/PEX:

$$\eta_{\text{ГП}_3} = 45,16 - 2,18x_1 - 2,91x_2 + 8,67x_3 - 7,94x_4 - 1,09x_1x_3 + \\ + 0,73x_1x_4 - 1,46x_2x_3 + 0,97x_2x_4 + 0,67x_3x_4 + 0,36x_1x_3x_4 + 0,48x_2x_3x_4.$$

Під час покриття геліопанелі каучуко-графітовим складом Графпласт КПК та використання трубок підлогового опалення PRANDELLI/TUBORAMA 02 STOP:

$$\eta_{\text{ГП}_4} = 46,62 - 2,18x_1 - 2,91x_2 + 9,40x_3 - 8,43x_4 - 1,09x_1x_3 + \\ + 0,73x_1x_4 - 1,46x_2x_3 + 0,97x_2x_4 + 0,43x_3x_4 + 0,37x_1x_3x_4 + 0,48x_2x_3x_4.$$

Номограми на рис. 2–5 показують, що на ефективність роботи геліопанелі дуже впливає її конструкція. Геліопанелі з сучасних будівельних матеріалів ефективніші на 10 %. Середня ефективність геліопанелі 50 % і може досягати 70 %.

Висновки. На ефективність роботи геліопанелі дуже впливає її конструкція. Середня ефективність геліопанелі – 50 %. Геліопанелі з сучасних будівельних матеріалів ефективніші на 10 %. Усі дослідження показують, що використання геліопанелей є доцільним та потребує подальших досліджень з використанням сучасних будівельних матеріалів для підвищення ефективності їх роботи та зниження навантаження на покрівлю, оскільки вони прості у конструкціях, монтажі, експлуатації та дають змогу знизити енергоспоживання традиційних ресурсів.

1. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с. 2. Возняк О. Т. Основи наукових досліджень у будівництві: навч. посіб. / О. Т. Возняк, В. М. Желих. – Л.: В-во НУ “ЛП”, 2003. – 176 с. 3. Патент № 18978 UA МПК F24J 2/00. Сонячний тепловий колектор / С. Г. Соловйов // Промислова власність. – 2006. – №11. 4. Патент № 23662 UA МПК (2006) F24J 2/24 (2007.01), F24J 2/34 (2007.01), F24J 2/42. Двоконтурна безнасосна геліоустановка / Є. Х. Русов, О. М. Гоголь, Ф. П. Ржепішевський, М. І. Гоголь // Промислова власність. – 2007. – № 8. 5. Патент № 48720 UA 6 F24J 3/00. Сонячний колектор / А. Є. Денисова, А. С. Мазуренко, Аль Уста Айман // Промислова власність. – 2002. – № 8. 6. Соловйов С.М. Основи наукових досліджень: навч. посіб. / С.М. Соловйов. – К.: Центр навчальної літератури, 2007. – 176 с. 7. Heliothermal flat collector module having a sandwich structure: Пат. 7610911 США. / Frank Neumann, Markus Patschke, Marianne Schoennenbeck; Eckert Seamans Cherin & Mellott, LLP. – N 10/530384; Оубл. 11.03.2009. 8. Solar cell panel and solar energy collecting device: Пат. 6513518 В1 США. / Stéphane Girerd; Greer, Burns & Crain, Ltd. – N 09/674030; Оубл. 02.04.2003.